

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня **«магістр»**

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми **«Технології машинобудування»**

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення кришки

A1.7000.300.000-003 шляхом інтенсифікації операції контролю

торцевого биття

Здобувача групи

ТМ.м-21

(шифр групи)

Ярошенка Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Олександр ЯРОШЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

професор, д. пед. наук, професор Олександр АЛЕКСЄЄВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант  
з питань охоро-  
ни праці

ст. викладач, канд. техн. наук Віра ФАЛЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Олександр ІВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

**Суми – 2023**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 63 сторінках, включає 27 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 28 джерел.

Машинобудування в сучасному високотехнологічному світі характеризується багатомоноклатурністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції тому необхідно для збереження конкурентоздатності підприємства максимально знижувати собівартість виготовлення продукції, як за рахунок зменшення часу на виготовлення так і зменшення часу на контрольні операції, а також підвищення їхньої якості. Від контрольних операцій залежить чи буде деталь якісно перевірена і відповідно чи буде виконувати свої функції якісно у виробі. Впровадження будь-якого контрольного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та швидкості контролю, а отже інженерне розроблення і чисельне моделювання конструкції контрольно-вимірювального пристрою являє актуальну наукову й практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення виготовлення кришки А1.7000.300.000-003 шляхом інтенсифікації операції контролю торцевого биття.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення кришки.

**Предмет дослідження:** контрольний пристрій для визначення торцевого биття деталі «Кришка».

**Наукова новизна:** удосконалена методика проведення дослідження компонентів контрольно-вимірювального пристроїв на прикладі контролю торцевого биття деталі «Кришка» з метою визначення оптимальних параметрів елементів контрольного пристрою, при яких забезпечується необхідна точність вимірювання биття, мінімальні габаритні розміри та достатня жорсткість пристрою, а також його універсальність.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КРИШКА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ТОРЦЕВЕ БИТТЯ.

## ABSTRACT

The explanatory note is made on 63 pages, includes 27 drawings, 12 tables, bibliography from 28 sources.

Mechanical engineering in the modern high-tech world is characterized by a wide range of products and the instability of production volumes, therefore, in order to preserve the competitiveness of the enterprise, it is necessary to reduce the cost of manufacturing products as much as possible, both by reducing the time for manufacturing and reducing the time for control operations, as well as increasing their quality. Control operations depend on whether the part will be qualitatively checked and, accordingly, whether it will perform its functions qualitatively in the product. The introduction of any control device into the production process must be justified by the criteria of achieving the required accuracy and speed of control, and therefore engineering development and numerical modeling of the design of the control-measuring device is an actual scientific and practical task.

**The purpose of this work** is to improve the production of the cover A1.7000.300.000-003 by intensifying the end beating control operation.

**The object of research:** technological process of processing the cover.

**The subject of the study:** a control device for determining the end runout of the "Cover" part.

**Scientific novelty:** an improved method of conducting a study of the layouts of control and measuring devices using the example of control of the end runout of the "Cover" part in order to determine the optimal parameters of the elements of the control device, which ensure the necessary accuracy of runout measurement, minimum overall dimensions and sufficient rigidity of the device, as well as its universality.

TECHNOLOGICAL PROCESS, COVER, INTENSIFICATION, CONTROL DEVICE, FACE BEATING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ 8	8
1.1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	8
1.2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ УМОВ ТА ВИМОГ ДО КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАВДАНЬ ЩОДО ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	9
1.3 ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ ФОРМИ ВИРОБНИЦТВА.....	10
1.4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ.....	11
1.5 АНАЛІЗ БАЗОВОГО АБО ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	12
1.6 ВИСНОВКИ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	13
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	14
2.1 СКЛАДАННЯ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТІВ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО .....	14
2.2 ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ОТРИМАННЯ, РОЗРАХУНОК ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ НА ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕРВИННОЇ ЗАГОТОВКИ .....	15
2.3 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ .....	18
2.4 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР МОДЕЛЕЙ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ .....	21
2.5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ, РІЗАЛЬНОГО ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТІВ .....	22
2.6 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ.....	23
2.7 ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЦЕННЯ.....	29
2.8 ВИСНОВОК.....	45

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	46
3.1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	46
3.2 РОЗРОБЛЕННЯ 3D – МОДЕЛІ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ТА ЙОГО МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ.....	51
3.3 ВИСНОВОК.....	57
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	60

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Машинобудівна галузь постачає нову техніку у всі галузі народного господарства та визначає технічний прогрес країни і суспільства.

Зараз на виробничих підприємствах проводиться постійний пошук шляхів підвищення продуктивності праці, що виражається у впровадженні нових та більш ефективних технологічних процесів. Тому важливим є підвищення продуктивності виробництва в цілому є мінімізація основного та допоміжного норм часу на кожному з переходів у всьому технологічному процесі, не тільки механічних операцій але і контрольно-вимірювальних.

Зменшення часу випуску продукції передбачає усунення так званих «вузьких місць», тобто переходів на яких витрачається часу в декілька разів більше, ніж на інших переходах чи операціях, наприклад як контроль параметрів биття, на які встановлені жорсткі допуски.

Від контрольних операцій залежить чи буде деталь якісно перевірена і відповідно чи буде виконувати свої функції якісно у виробі. Впровадження будь-якого контрольного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та швидкості контролю, а отже інженерне розроблення і чисельне моделювання конструкції контрольно-вимірювального пристрою являє актуальну наукову й практичну задачу.

Тому для підвищення конкурентоздатності продукції, що випускається на підприємствах України актуальним завданням є зниження собівартості та підвищення продуктивності випуску деталей типу кришок, що містять точні допуски по торцевому биттю.

Контрольно-вимірювальні пристрої відіграють важливу роль у виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, особливо в умовах багатноменклатурного виробництва, яке вимагає швидкого переоснащення при переході до контролю деталей іншої номенклатури. Проблемою контрольних пристроїв, що проєктуються є надмірна їх металомісткість. Тому в останній час сучасні виробництва впроваджують контрольні пристрої, які забезпечують переналагодження на конт-

роль іншого типорозміру деталей і мають достатню жорсткість при мінімально можливій масі. Впровадження будь-якого контрольного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності контролю, що задана конструктором на кресленнях деталей, що можуть бути проконтрольовані у ньому, а отже це являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення виготовлення кришки А1.7000.300.000-003 шляхом інтенсифікації операції контролю торцевого биття.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення кришки.

**Предмет дослідження:** контрольний пристрій для визначення торцевого биття деталі «Кришка».

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Не має.

**Публікації.** Не має.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 63 сторінки, у тому числі 27 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 28 джерел на чотирьох сторінках.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ**

#### **1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації**

Деталь «Кришка» А1.7000.300.000-003, креслення якої наведено в додатку А, що запропонована для кваліфікаційної роботи є однією з найважливіших деталей насоса АНК 7000.300.000 і входить у вузол ущільнення торцеве.

Насоси типу АНК 7000.300.000 – аксіальні корпусні горизонтальні секційні, призначені для відкачування промислових вод і подачі рідин під високим тиском у трубопроводи до споживача від загальної магістрал без вмісту сірководню чи інших агресивних речовин. У насосі йде перетворення одержуваної від приводу динамічної енергії в потенційну енергію тиску, кінетичну енергію потоку рідини, що перекачується за рахунок взаємодії з рідиною поршнів ротора, які при впуску створюють вакуум, а під час нагнітання створюють високий тиск і подають рідину споживачу. При цьому швидкості обертання ротора, і відповідно осьові переміщення поршнів можуть досягати 20 м/сек.

Складальна одиниця «Ущільнення торцеве» призначене для утримання рідини під високим тиском у корпусі насосу, при цьому вузол має витримувати перепади тиску до 20-30 МПа.

Деталь «Кришка» призначена для можливості утримання гумових і лабіринтних ущільнень і забезпечує їх осьовий упор, а також базування і центрування відносно ротора.

Конструктивними особливостями деталі можна вважати наявність жорстких допусків торцевого і радіального биття, що обумовлені службовим призначенням.

Під час роботи деталь у самому насосі не зазнає ударних і циклічних навантажень та безпосередньо не контактує з рідиною.

Деталь і виріб, як і насос експлуатується в приміщеннях з помірними умовами в діапазоні температур від +5 до + 50 °С.

Сама деталь і виріб при роботі створюють шум на рівні 60-80 Дб.



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

Дана деталь «Кришка» А1.7000.300.000-003 відноситься до деталей типу кришок, так як відношення  $l/d < 1$  ( $64/260 < 1$ ). Деталь сама по собі є достатньо жорсткою, так як має досить велику товщину стінок майже по всьому об'єму, і в районі поверхонь закріплення на токарних операціях, тобто під час оброблення не буде деформуватися під дією сил закріплення (наприклад, в трикулачковому патроні). Внаслідок того, що деталь жорстка можна використовувати високоінтенсивні режими обробки на чорнових операціях.

Матеріал деталі – високолегована корозійностійка, жароміцна сталь 08X18H10T ДСТУ 5632-2016, що є важкооброблюваним матеріалом та відповідно вимагає застосування інструментів з високим періодом стійкості при забезпеченні швидкостей різання на високопродуктивному рівні. Також матеріал досить пластичний і в'язкий, тому необхідно застосовувати різальні інструменти з великими передніми кутами і малим радіусом при вершині.

Для аналізу в цьому пункті розглянемо поверхню торця  $\varnothing 260/180$  з шорсткістю за критерієм Ra 3,2 мкм, та величиною торцевого биття 0,03 мм відносно циліндричної поверхні  $\varnothing 180_{gb}$  призначена для базування вузла ущільнення торцеве на корпусі насоса і недопущення протікань рідини, тому вимоги до поверхні обґрунтовані.

До цієї поверхні застосовується особливі вимоги щодо точності розташування, так як це може привести до того, що базові поверхні будуть між собою знаходитися не перпендикулярно, що викличе перекося і протікання рідин.

Враховуючи важкодоступність і складність контролю торцевого биття відносно поверхні  $\varnothing 180_{gb}$  для виконання раціонального установаження заготовки, щоб забезпечити точність, економічність і продуктивність контролю цю операцію треба здійснювати на спеціальному контрольно-вимірному пристрої.

В цілому ж креслення виконане за усіма вимогами ЄСКД, на кресленні досить видів і перерізів для представлення форми деталі і можливості її виготовлення, також вказані всі розміри.

### 1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва по ГОСТ 3.1108-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о.}$ .

Виконаємо розрахунок  $K_{з.о.}$  програмним методом за допомогою ЕОМ, використовуючи у якості вхідних даних норми часу по виготовленню деталі із базового технологічного процесу на відповідних операціях (табл. 1.1). В таблиці час вказано лише на механічні операції. Річний обсяг випуку – 150 штук.

Таблиця 1.1 – Технологічний процес виготовлення деталі

Номер операції	Найменування операції	Штучно-калькуляційний час, хв
015	Токарно-гвинторізна	40
025	Токарно-гвинторізна	110
045	Радіально-свердлильна	45
060	Вертикально-свердлильна	25

За результатами розрахунку, які наведені в додатку Б,  $K_{з.о.} = 22$ , що говорить про те, що тип виробництва дрібносерійний, і раціонально обрати форму організації робіт – групову.

Характерні особливості групової форми організації робіт, а саме заготовки обробляються невеликими партіями, заготовки - в основному кування і лиття в піщано-глинисті форми. Устаткування використовується універсальне і спеціалізоване. В основному використовують універсальні верстати, також широко використовуються верстати з ЧПК. Устаткування розставляються по технологічним групам. Ріжучий та вимірювальний інструмент застосовують як стандартний, так і спеціальний.

Середня кваліфікація робітників вище, ніж в масовому виробництві, але нижче ніж в одиничному.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

В даному пункті будемо розглядати оцінку технологічності деталі «Кришка» А1.7000.300.000-003 саме в контексті майбутнього наукового дослідження, а саме контролю торцевого биття основної конструкторської бази – торця Ø260/180 відносно циліндричної поверхні Ø180g6, тому розглянемо стандартні пункти аналізу технологічності які стосуються саме цього питання:

– за матеріалом деталі. Дана деталь виготовлена з жароміцної, високолегованої корозійностійкої сталі марки 08X18H10T ДСТУ 5632-2016, що нетехнологічно, оскільки матеріал легований великою кількістю хрому та нікелю, тому є важкооброблюваним, але для операції контролю це не є перешкодою, тому з точки зору контролю деталь технологічна;

– за технологічністю геометричних форм поверхонь. Контроль торцевого биття поверхні відносно базової циліндричної поверхні у даному випадку викликає складнощі, оскільки контрольована поверхня не є суцільною, на ній присутні отвори, що не дає можливості встановити індикатор в будь-яку точку поверхні, а також деталь має бути розміщена вертикально, тобто треба використати індикатор з рухомою ніжкою або важільний механізм, що ускладнює сам контрольний пристрій і власне процес контролю тому за цим показником деталь є нетехнологічною;

– за проставленням розмірів. Щодо розмірів, то не всі розміри проставлені від однієї бази, що не зручно при виготовленні і контролі, А саме це лінійні розміри 15, 4, 10 мм. Витримування цих розмірів на операціях ускладнено, бо збільшується похибка базування, тому доцільніше було б поставити вищезазначені розміри від лівого торця деталі. Це дозволило б зменшити похибку базування і не призвело б до втрати точності деталі;

– за правильністю обґрунтування прийнятих значень граничних відхилень. На поверхні торця Ø260/180 не проставлені граничні відхилення, що означає, що допуски на ці поверхні за 14-м квалітетом, що передбачає одну стадію обробки, але величина биття 0,03 мм за одну стадію не може бути отримана, що характеризує нетехнологічність деталі за даним показником.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Даний пункт будемо виконувати на підставі базового технологічного процесу. У даному технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу, але є недоліки.

В даному пункті будемо розглядати саме недоліки типового технологічного процесу оброблення торця  $\varnothing 260/180$  на токарній чистовій операції, а також контролю цієї поверхні.

В базовому технологічному процесі оброблення торця  $\varnothing 260/180$  здійснюється на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 у трьохкулачковому патроні. При цьому спочатку виконується чорнова обробка, що наближує заготовку до форми готової деталі, адже первинна заготовка являє собою диск з отвором без ніяких сходинок. Потім на чистовій операції відбувається остаточне формування торця  $\varnothing 260/180$  за два проходи, щоб прибрати всі похибки форми та розташування за рахунок поступового уточнення. Тому загалом поверхня оброблялась 3 рази. Це все займало дуже багато часу за заводським технологічним процесом виготовлення. Верстат 16K20 також є морально застарілим з повільним як для сьогодення переміщенням робочих органів, малою жорсткістю та зношеністю основних вузлів враховуючи його вік.

Необхідність створення контрольно-вимірювального пристрою (КВП) для контролю торцевого биття пояснюється службовим призначенням деталі. В даний час контроль цього параметра здійснюється безпосередньо на верстаті після обробки, а остаточний контроль не проводиться через відсутність спеціального КВП. Так як контроль проходить відразу після обробки його не можна вважати об'єктивним, тому що є суттєві температурні похибки, а також внутрішні деформації від сил закріплення, що прикладені до заготовки. Також після отримання цієї поверхні деталь ще обробляється на свердлильних операціях, де теж є деформації.

Всі ці фактори в купі не дозволяють здійснювати контроль прогресивно. Тому пропонується спроектувати спеціальний КВП для контролю торцевого биття. Це у свою чергу дозволить суттєво підвищити загальну продуктивність, а також точність і якість контролю.

## **1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі**

Враховуючи проведений аналіз у попередніх пунктах, можна зробити проміжні висновки, щодо існуючої ситуації по технологічному процесу оброблення та контролю торця Ø260/180 для переходу до наступного розділу, а саме:

- у базовому технологічному процесі застосовуються застарілі верстати, верстатні пристрої, різальні та вимірювальні інструменти;

- матеріал деталі – корозійностійка важкооброблювана сталь, що накладає обмеження по режимам оброблення, тому для економії матеріалу і часу пропонується розрахувати і спроектувати заготовку, що за формою буде наближена до готової деталі;

- відсутність незалежного контролю на операції технічного контролю.

Враховуючи це, а також дрібносерійний тип виробництва пропонується:

- застосувати прогресивний токарний верстат з ЧПК для отримання поверхні торця Ø260/180, а також об'єднати дві свердлильні і розмічувальні операції в одну – комплексну на оброблюваному центрі з ЧПК для оброблення широкої номенклатури у дрібносерійному виробництві;

- чорнові та чистові операції токарного оброблення виконувати на різних верстатах;

- розробити спеціальний КВП для здійснення операції контролю торцевого биття торця Ø260/180 в ньому;

- застосувати твердосплавні інструменти з покриттям для оброблення корозійностійких важкооброблюваних сталей з великим вмістом хрому.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Вихідними даними для виконання цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь або груп поверхонь.

У багатьох випадках укрупнені операції включають переходи, що не можна виконати за один установ. Отже, необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування – диференціації або концентрації побудови операцій.

При проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати рекомендації [1].

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

- 005 Заготівельна. Штампування заготовки
- 010 Термічна обробка
- 015 Токарна чорнова. Чорнове точіння
- 020 Вертикально-свердлильна
- 025 Радіально- свердлильна
- 030 Слюсарна. Нарізання різей і зачистка задирок.
- 035 Токарна чистова. Чистове точіння.

Маршрут №2:

- 005 Заготівельна. Штампування заготовки
- 010 Термічна обробка
- 015 Токарна чорнова. Чорнове точіння
- 020 Токарна чистова. Чистове точіння
- 025 Вертикально- свердлильна
- 030 Радіально- свердлильна
- 030 Слюсарна. Нарізання різей і зачистка задирок.

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Штампування заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова. Чорнове точіння

020 Токарна чистова. Чистове точіння

025 Комплексна на обробному центрі. Свердління отворів і нарізання різей.

030 Слюсарна. Зачистка задирок.

Аналіз показав, що маршрут №3 найбільш вигідний з точки зору оброблення деталі, так як перші два маршрути абсолютно не враховували конфігурацію деталі і розташування її поверхонь, а також точність розташування, що вказана конструктором на кресленні.

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

Основним завданням цього пункту є визначення найбільш ефективного способу отримання заготовки. Так до даної деталі пред'являються вимоги, що вона має бути виготовлена з поковки III групи, то багато способів відпадають і залишаються лише методи поверхнево-пластичного деформування, а саме кування і штампування. Кування може бути на молотах і на пресах, але одразу відкинемо кування на пресах, так як там в основному обробляються великогабаритні заготовки.

Тому першим варіантом є отримання заготовки вільним куванням на молотах, так як це є в базовому технологічному процесі. Заготовка представляла собою кільце без уступів зовнішнім діаметром 290 мм, внутрішнім діаметром 80 мм і товщиною 80 мм та масою 25 кг. Таку заготовку попередньо обточують начорно з припуском  $3 \div 4$  мм на першій токарній операції.

Другим варіантом розглянемо спосіб отримання заготовки штампуванням на кривошипному гаряче штампувальному пресі (КГШП). Це більш точний метод, при якому припуски мінімальні, витрата матеріалу буде менше і не потрібно буде знімати великі припуски на попередній чорновій токарній операції.

Розрахуємо розміри заготовки і її масу за другим варіантом за відомою методикою і визначимо її масу. Процес розрахунків наведено у додатку В.

Визначимо собівартості заготовок за обома варіантами.

Розрахунок вартості заготовки, одержуваної вільним куванням на молотах

Вартість кованої заготовки визначаємо за формулою:

$$S_{\text{зар1}} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q_2 \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн. [2]} \quad (2.1)$$

де  $C_i = 150000$  грн. – ціна 1т заготовок;

$Q_2 = 25$  кг – маса заготовки за базовим технологічним процесом;

$k_T = 1$  – коефіцієнт, що залежить від точності заготовки;

$k_M = 1,83$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу (для сталі 08X18H10T);

$k_C = 0,9$  – коефіцієнт що залежить від групи складності (для другої групи складності);

$k_B = 0,75$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки (для сталі 08X18H10T);

$k_{\Pi} = 1$  – коефіцієнт що залежить від обсягу виробництва заготовок;

$q = 10,5$  кг – маса готової деталі;

$S_{\text{відх}} = 5000$  грн. – ціна 1т відходів.

$$S_{\text{зар1}} = \left( \frac{150000}{1000} \cdot 25 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1,83 \cdot 1 \right) - (25 - 10,5) \cdot \frac{5000}{1000} = 2063 \text{ грн.}$$

$$K_{M1} = \frac{10,5}{25} = 0,32.$$

Розрахунок вартості заготовки, одержуваної штампуванням на КГШП.

Вартість штампованої заготовки визначаємо за формулою 2.3:

де  $C_i = 250000$  грн. – ціна 1т заготовок;

$Q_2 = 15,5$  кг – маса штампованої заготовки;

$k_T = 1$  – коефіцієнт що залежить від точності штампованої заготовки;



$k_M = 1,83$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу (для сталі 08X18H10T);

$k_c = 0,9$  – коефіцієнт що залежить від групи складності (для другої групи складності);

$k_B = 0,8$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки (для сталі 08X18H10T);

$k_{II} = 1$  – коефіцієнт що залежить від обсягу виробництва заготовок.

$$S_{\text{зар1}} = \left( \frac{250000}{1000} \cdot 15,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,83 \cdot 1 \right) - (15,5 - 10,5) \cdot \frac{5000}{1000} = 1740,4 \approx 1741 \text{ грн.}$$

$$K_{M2} = \frac{10,5}{15,5} = 0,68.$$

Порівнюючи два варіанти видно, що маса штампованої заготовки менше, а коефіцієнт використання матеріалу більше, ніж кованої заготовки. І навіть кінцева собівартість штампованої заготовки менша, навіть при вартості штампованого матеріалу більшій ніж ковки.

Розрахунки показують, що в даних умовах дрібносерійного виробництва найбільш вигідним буде використання поковки штампованої на КГШП в якості вихідної заготовки. Розрахунок вартості чорнового оброблення заготовки за першим варіантом не проводимо, так як це не вплине на загальний результат, а саме поковка штампована все одно буде дешевше, ніж кування, ковані вільним куванням на молотах (різниця у вартості тільки збільшиться).

Отже в якості вихідної заготовки для деталі «Кришка» приймаємо поковку штамповану на КГШП.

Результати попередніх розрахунків штампованої поковки зводимо в таблицю В.1 (додаток В) та формуємо технічні вимоги, які вноситимуться в креслення.

Технічні вимоги:

1. Гр. II 08X18H10T твердість <179 НВ ГОСТ 25054 - 81.
2. Поковка штампована на КГШП ГОСТ 7505-89.
3. Клас точності - Т4, група сталі-М3, ступінь складності-С2, вихідний індекс-16.

4. Невказані радіуси закруглень - R 4...5 мм.
  5. Штампувальні ухили - 5-7 .
  6. Допустима величина зміщення по поверхні штампа - 1 мм.
  7. Допустимі відхилення по випуклості не більше 1,2 мм.
  8. Маркувати номер позиції ударним способом шрифтом 3...5 ДСТУ 2930 - 2008.
  9. Шорсткість поверхонь поковки Ra 50 мкм.
- Ескіз заготовки наведено на рисунку 2.1.

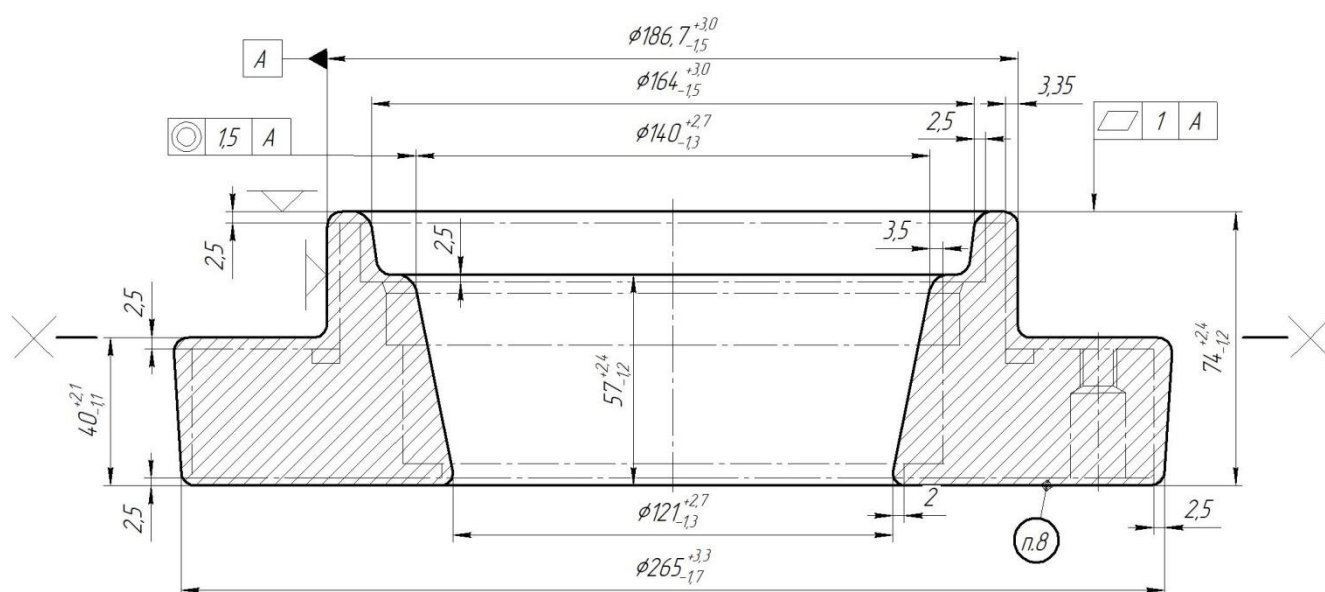


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

### 2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Для розгляду в цьому пункті магістерської роботи було прийнято 020 токарну з ЧПК операцію технологічного процесу, так як далі на даній операції формується допуск торцевого биття 0,03 мм, тому її доцільно вибрати для аналізу з точки зору похибки базування.

Розглянемо та призначимо схему базування на основі аналізу двох схем і їх порівняння з точки зору похибки базування, жорсткості при обробленні. Перший варіант операційного ескізу даної операції наведено на рисунку 2.2.

На даній операції заготовка встановлюється по лівому торцю – установча база (3 ступені волі), та зовнішньою поверхнею 260 мм – подвійна опорна база (2 ступені волі). Закріплення відбувається кулачками токарного патрона.

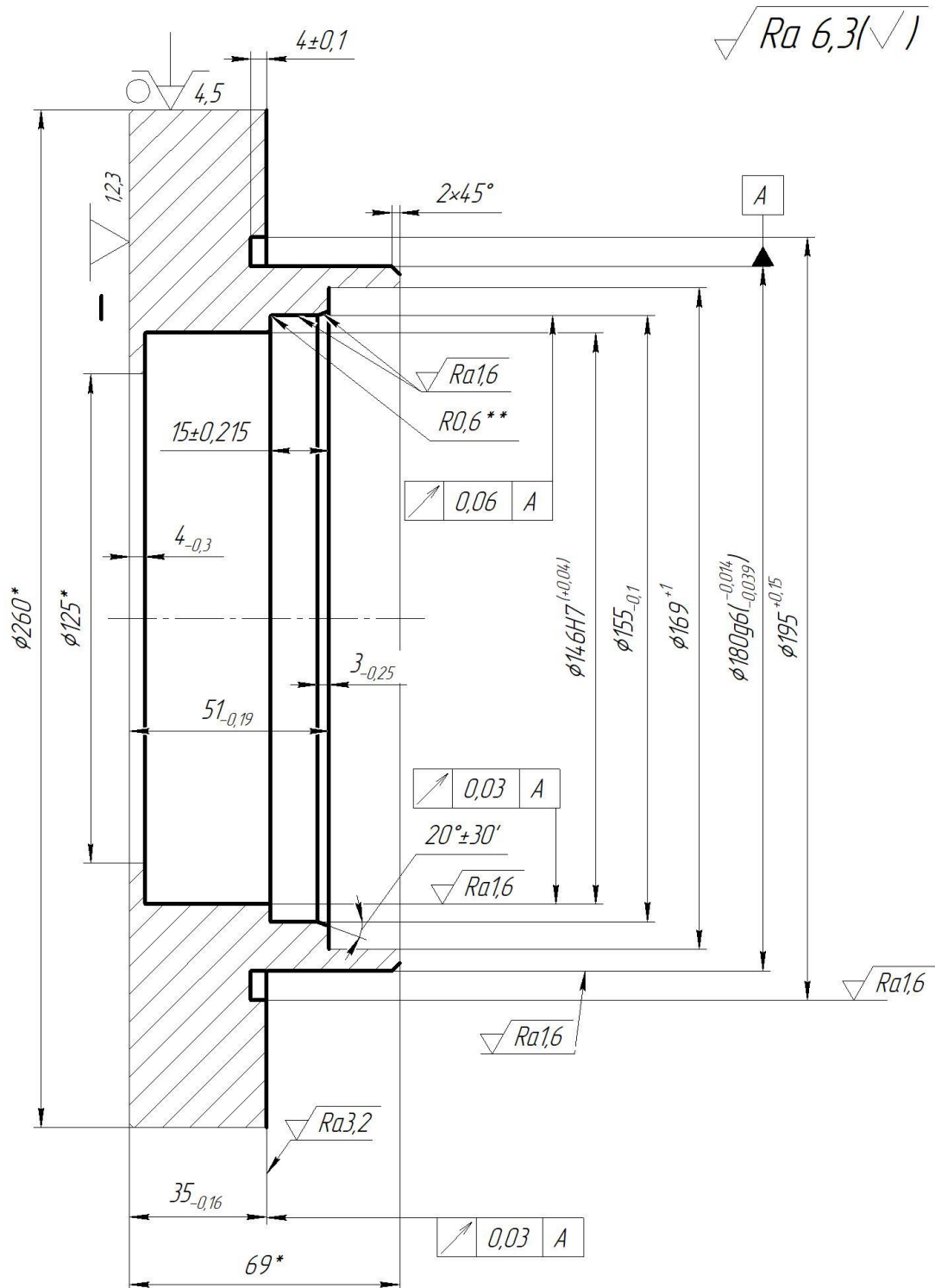


Рисунок 2.2 – Операційний ескіз токарної з ЧПК операції (варіант 1)

Другим варіантом схеми базування розглядаємо базування деталі також по лівому торцю, але в якості подвійної опорної бази приймаємо отвір  $\varnothing 125$ . Закріплення здійснюватиметься кулачками патрона на розтиск. При такому базуванні і закріпленні необхідно буде врахувати похибки і жорсткість під час оброблення. Операційний ескіз за другим варіантом на дану операцію наведено на рисунку 2.3.

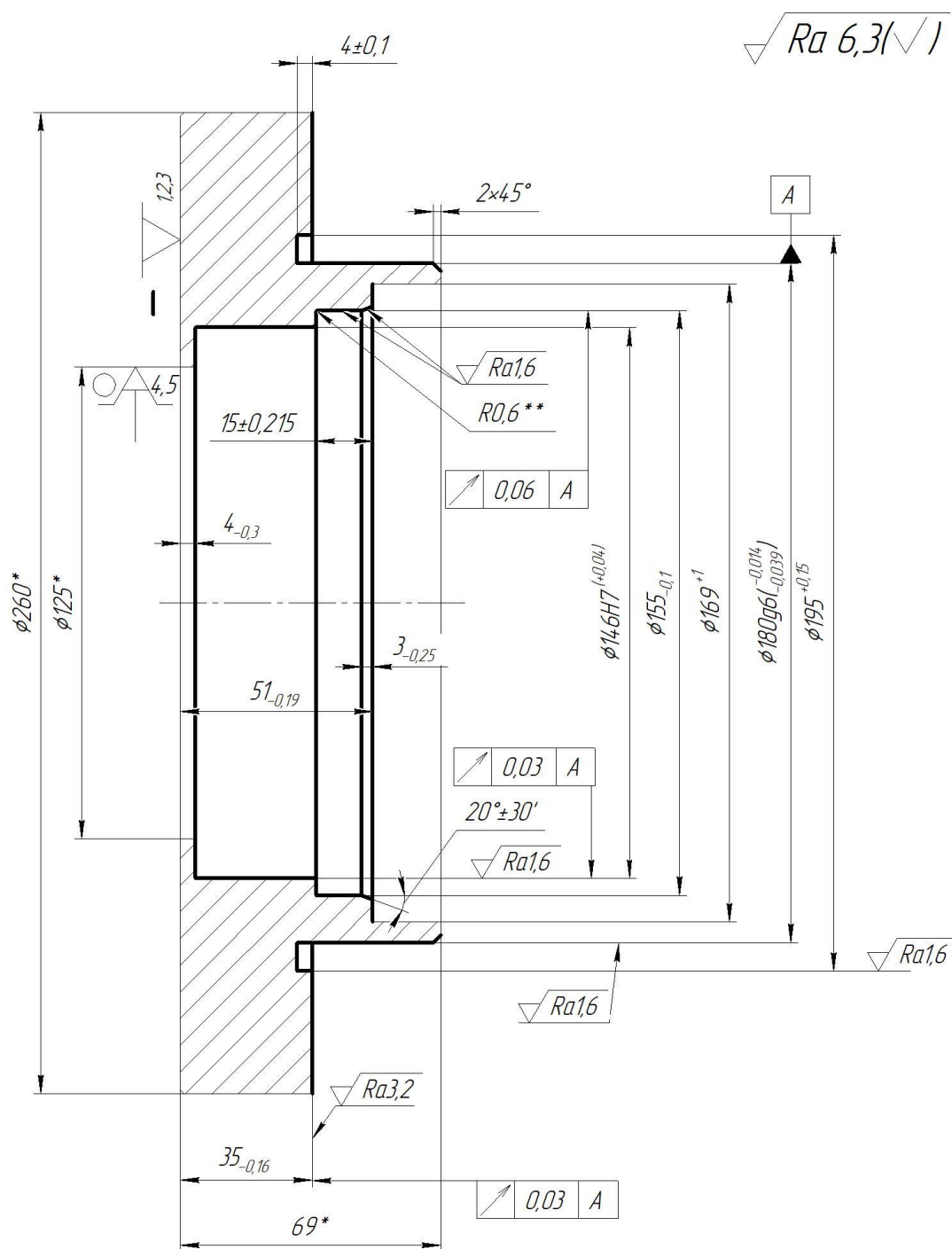


Рисунок 2.3 – Операційний ескіз токарної з ЧПК операції (варіант 2)

Аналізуючи дві схеми базування деталі за критерієм зручності і надійності установки приймаємо варіант установки на рис. 2.2, бо у другому варіанті базування відбувається по пояску шириною 4 мм, що не достатньо жорстко та може викликати вібрації і в такому разі досягнення допуску торцевого биття 0,03 мм може бути під великим питанням. Але необхідно визначити похибку базування для двох варіантів за лінійними розмірами. У якості розміру, на який буде впливати похибка базування розглянемо розміри  $4 \pm 0,1$ .

– за першим варіантом  $\varepsilon_{64} = T_{35} = 0,16 < T_4 = 0,2$  мм – тому в цьому варіанті браку немає;

– за другим варіантом  $\varepsilon_{64} = T_{35} = 0,16 < T_4 = 0,2$  мм – тому в цьому варіанті браку немає.

Отже з точки зору лінійних розмірів в обох варіантах браку не буде, але остаточно приймаємо перший варіант схеми базування з точки зору надійності і жорсткості.

#### 2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для операції 020 – токарна з ЧПК пропонуємо використовувати металорізальний верстат моделі Leaderway 650, паспортні дані якого були взяті з [5].

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться чистове точіння та досягнення допусків биття і прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Потужність даного обладнання становить 18 кВт, що достатньо для операції.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстата моделі Leaderway 650

Параметри	Чисельні дані
Найбільший діаметр обробленої заготовки, мм:	
- над передньою захисною стінкою	650
- над супортом	290
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір шпindelю, мм	58

Найбільша довжина обробленої заготовки, мм	1262
Частота обертання шпинделю, об/хв	0-3000
Кількість швидкостей шпинделю	б/р
Подача супорта, мм/хв: - повздовжня - поперечна	14 м / хв 14 м / хв
Кількість ступенів подач (регулювання без сходинок)	б/р
Потужність електричного двигуна головного привода, кВт	18
Габаритні розміри l x b x h, мм	3089x2405x2320
Маса, кг	6268

Такі габарити робочого простору дозволять встановити пристрій та обробити заготовку із заданою точністю.

## **2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів**

Виходячи з типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосувати систему універсально складальних пристроїв (УСП).

Для установки і закріплення деталі на операції 020 в якості пристрою використовуємо трикулачковий патрон із розточеними на Ø260 мм та довжину 30 мм кулачками. Патрон із пневматичним приводом. Трикулачковий патрон був обраний з огляду на дрібносерійний тип виробництва. У даному пристрої шляхом нескладної переналагодження можуть оброблятися деталі подібні до заданої (диски, фланці з  $l/d < 1$ ).

Для встановлення та закріплення деталі на операції 020 як пристосування використовуємо пристосування аналогічні операції 015.

Для обробки заданих поверхонь на операції застосовуємо такі різальні інструменти:

- різець прохідний завзятий MCLNR2525K12 з BK8 – для точення зовнішніх поверхонь та підрізання торців;

- різець розточувальної прохідний упорний S40MCLNR з BK8 – для розточування внутрішніх поверхонь та підрізання торців;

- різець канавковий спеціальний для обробки торцевої канавки з BK8.

Допоміжні інструменти для даної операції не потрібні, тому що всі ріжучі інструменти безпосередньо встановлюються в різцетримач верстата.

Для контролю розмірів на операції 020 - токарна з ЧПУ застосовуємо універсальний шкальний міряльний інструмент, а саме штангенциркуль ШЦ-II-300-0,05 ДСТУ 166-2009, мікрометр МК200-1 ДСТУ 6507-2010, нутромір мікрометричний НМ50-178 ДСТУ 10-2008. Застосування яких обумовлено дрібносерійним типом виробництва. Інструмент був підібраний з умови, щоб похибка вимірювання була менше 0,33 найменшого допуску розміру на цій операції. Зробимо розрахунок правильності вибору для мікрометра, так як їм буде контролюватись найточніший розмір  $\varnothing 180g6(-0,014;-0,039)$  мм. Третя частина допуску на який дорівнює

$$0,025 \cdot 0,33 = 0,008\text{мм.}$$

Похибка виміру даного вибраного мікрометра за ДСТУ 6507-2010 становить  $3 \text{ мкм} = 0,003\text{мм}$ , що менше третини допуску контрольованого розміру і задовольняє умову.

## 2.6 Розрахунок режимів різання

В даному пункті виробляємо розрахунок режимів різання на операції 020 – токарна з ЧПК. Причому розрахунок режимів різання аналітичним методом виконуємо на основний перехід підрізання торця  $\varnothing 260/\varnothing 180$ , так як на даній поверхні отримується допуск тоцевог обиття 0,03 мм, який і буде аналізуватися в майбутньому інженерному дослідженні. Розрахунок проводимо по [4], а на інші поверхні табличним методом і зводимо в таблицю 2.2 за рис. 2.2.

Вихідні дані: на токарному з ЧПК верстаті проводиться чистове точіння торця деталі. Оброблюваний матеріал – сталь 08X18H10T з границею міцності  $\sigma_B$  – 570 МПа.

Геометричні параметри різця:

- головний кут у плані  $\varphi = 93^{\circ}$ ;
- допоміжний кут у плані  $\varphi_1 = 7^{\circ}$ ;
- кут при вершині  $\varepsilon = 80^{\circ}$ ;
- матеріал різця-твердий сплав ВК8.

Глибина різання при підрізуванні торця  $t = 0,5$  мм.

Подача:  $S = 0,12-0,23$  мм / про [4], приймаємо менше значення подачі  $S = 0,12$  мм / об - за рекомендаціями виходячи з марки оброблюваного матеріалу (корозійностійка сталь 08X18H10T). Прийняте значення подачі зменшуємо в 0,75 рази, оскільки обробка ведеться з ударами [4].

Отже подача при підрізуванні торця

$$S=0,12*0,75=0,09 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання при підрізуванні торця визначаємо за формулами [4]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/хв,} \quad (2.3)$$

де  $C_v = 108$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$y = 0,3$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$x = 0,06$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$p = 0,1$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$m = 0,27$  – коефіцієнт у формулі швидкості різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];



$T = 90$  хв – період стійкості фрези при обробці корозійностійкої сталі 08X18H10T [4];

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови обробки.

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV}, \quad (2.4)$$

де  $K_{MV}$  – поправочний коефіцієнт на оброблюваний матеріал [4];

$K_{ИV} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт на інструментальний матеріал [4];

$K_{ПV} = 1,0$  – поправочний коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки [4].

Коефіцієнт  $K_{MV}$  визначаємо за формулою:

де  $n_v = 1,0$  – показник ступеня, що враховує групу сталі по оброблюваності для фрезерування [4];

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{570}\right)^{1,0} = 1,12.$$

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт  $K_v$  за формулою 2.4:  
 $K_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12.$

Визначаємо швидкість різання за формулою 2.3:

$$V = \frac{108}{90^{0,27} \cdot 0,5^{0,06} \cdot 0,09^{0,3}} \cdot 1,12 = 100,14 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя для забезпечення допустимої швидкості різання за формулою:

$$n = \frac{1000 V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 100,14}{3,14 \cdot 260} = 112 \text{ об/хв.}$$

Подачу  $S = 0,09$  мм/об і частоту обертання шпинделя  $n = 112$  об/хв не округляем до паспортних даних.

Визначаємо силу різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.5)$$

де  $K_p = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_\epsilon}{750}\right)^n = 0,792$  – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [4];

$C_p = 105$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від виду обробки, оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4, с. 273];

$y = 0,6$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$x = 0,75$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

$n = 0,75$  – коефіцієнт у формулі сили різання, що залежить від оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу [4];

Визначаємо силу різання за формулою 2.5:

$$P_z = 10 \cdot 105 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 0,09^{0,6} \cdot 100^{0,75} \cdot 0,776 \approx 187 \text{ Н.}$$

Найбільша сила подачі столу верстата 10000 Н, отже сили, що виникають при обробці, привід подач витримає.

Потужність різання при точінні визначаємо за формулою 2.6:

$$N = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{187 \cdot 100}{1020 \cdot 60} = 0,95 \text{ кВт.}$$

Потужність різання при точінні не перевищує потужності верстата кВт,  $N = 0,95 < N_B \cdot \eta = 18 \cdot 0,9 = 16,2$  кВт, отже обробка можлива.

Визначаємо основний час  $T_o$  за формулою 2.7:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.7)$$



Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу.

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

Визначаємо допоміжний час  $T_g$  на 020 операції за формулою:

$$T_B = T_{B.уст} + T_{B.оп} + T_{B.вим}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

де  $T_{B.уст} = 0,65$  хв – допоміжний час на установку і зняття заготовки [6 с.53];

$T_{B.оп} = 1,2$  хв – допоміжний час для здійснення операції;

$T_{B.вим} = 1,7$  хв – допоміжний час на вимірювання.

Тоді допоміжний час  $T_g$  за формулою 2.8:

$$T_B = 0,65 + 1,2 + 1,7 = 3,55 \text{ хв.}$$

Визначення штучного часу  $T_{шт}$ :

$$T_{шт} = (\sum T_o + T_B \cdot K_{ТВ}) \cdot (1 + a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}/100), \text{ хв} \quad (2.9)$$

де  $a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}$  – час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби, що дорівнює 8% [6];

$K_{тв}=1,23$  – поправочний коефіцієнт на допоміжний час в залежності від розміру партії оброблюваних деталей і серійності виробництва.

Тоді штучний час  $T_{шт}$ :

$$T_{шт} = (6,81 + 3,55 \cdot 1,23) \cdot \left(1 + \frac{14}{100}\right) = 15,41 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт-к} = \left(T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{N}\right), \text{ хв} \quad (2.10)$$

де  $N=19$  шт. – кількість деталей в партії;

$T_{пз}=28,6$  хв – підготовчо-заключний час, хв.

Тоді штучно-калькуляційний  $T_{шт-к}$  час за формулою 2.10:

$$T_{шт-к} = \left( 15,41 + \frac{28,6}{19} \right) = 17,48 \text{ хв.}$$

## 2.7 Проектування засобів технологічного оснащення

В кваліфікаційній роботі магістра розробляється контрольно-вимірювальний пристрій для контролю параметру торцевого биття торця Ø260/Ø180 деталі «Кришка» на операції технічного контролю.

Згідно з завданням необхідно виконати контроль торцевого биття торця Ø260/Ø180 мм щодо циліндричної поверхні бази А, з допуском 0,03 мм згідно креслення деталі (додаток А).

Річна програма випуску  $N=150$  деталей. Це відповідає дрібносерійному типу виробництва. Такт випуску деталей при двозмінній роботі дорівнює 1606 хвилин згідно з пунктом, що свідчить про невисоку інтенсивність процесу обробки. При заданому періоді виробництва виробів 5 років (60 місяців) і при суцільному контролі КВП повинен здійснити 750 циклів для перевірки запланованого обсягу випуску.

Відповідно до завдання контроль торцевого биття буде проводитися остаточно після всіх операцій.

Уточнення і аналіз точності параметрів контрольованої поверхні.

Точність розміру.

Як уже встановлено, номінал контрольованого розміру 35 мм. Він повинен відповідати точності 14-го квалітету, так як вказано в технічних вимогах креслення деталі. Розмір охоплюється, отже поле допуску його буде h14. Верхнє відхилення його згідно ДСТУ 25347-2011  $es = 0$ ; нижнє відхилення  $ei = -620$  мкм. Отже допуск  $T = 620$  мкм. Остаточно проставимо розмір 35h14 (0; -0,62) мм на рис. 2.7.

Точність форми.

На кресленні не оговорений допуск форми контрольованої поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівні відносної

геометричної точності А (нормальна відносна геометрична точність) 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від площинності складе

$$T_{\square}=0,6 \cdot T_{35}=0,6 \cdot 620=372\text{мкм.}$$

Отже по ДСТУ 24643-2011 приймаємо найближче менше стандартне значення 250 мкм, що відповідає 12-й ступені точності.

Точність розташування поверхонь.

Конструктором обговорений допуск торцевого биття торця деталі, який становить 0,03 мм, а згідно з ДСТУ найближчий стандартний менший допуск дорівнює 0,025 мм, що відповідає 6-му ступеню точності.

Ступінь шорсткості.

Згідно креслення, конструктором задана шорсткість контрольованої площини за критерієм  $R_a = 3,2$  мкм.

Висновок: під час контролю торцевого биття часні відхилення від площинності, зокрема увігнутість і опуклість, при повороті деталі (при контролі) на  $360^\circ$  можуть не показати реальне торцеве биття поверхні, а ось неправильна форма поверхні (хвилястість) покаже величину биття.

Вибір схеми контролю.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базові можуть дві: зовнішня циліндрична поверхня  $\varnothing 180$  мм, яка і задана конструктором на кресленні як база і, яка не тільки є найточнішою поверхнею на деталі, але і ще є основною конструкторською базою разом з контрольованою поверхнею в складальному вузлі. Також у якості базової має бути застосована і торцева поверхня  $\varnothing 195/180$  мм. Тобто умова, що конструкторська база збігається з вимірювальною базою виконується. Проведемо уточнення і аналіз точностних параметрів цих поверхонь.

Точність розмірів.

– зовнішня циліндрична

Як уже встановлено, номінал розміру базової поверхні 180 мм. Він відповідає точності 6-го квалітету, так як вказано конструктором на кресленні деталі. Поле допуску розміру  $g_6$ . Верхнє відхилення  $es = -0,014$  мм; нижнє відхилення  $ei = -0,039$  мм. Отже допуск  $T = 25$  мкм. Остаточню проставимо розмір  $\varnothing 180 (-0,014; -0,039)$  мм.

– торець

Номінал розміру базової поверхні 4,1 мм (за кресленням). Його відхилення за кресленням одне  $(+0,1; 0)$  мм, що відповідає допуску в районі 11-12-го квалітету. Поле допуску приймаємо H11. Верхнє відхилення його згідно ДСТУ 25347-2011  $es = 0$  мкм; нижнє відхилення  $ei = 0,075$  мм. Отже допуск  $T = 75$  мкм. Остаточню проставимо розмір  $4,1 (+0,075; 0)$  мм.

Точність форми.

На кресленні не оговорені допуски форми базової поверхні. На цій поверхні будуть виникати такі відхилення форми: відхилення циліндричності і відхилення від круглості, окремими випадками якого є овальність і огранювання, а також часті відхилення профілю поздовжнього перерізу – конусообразність, бочкообразність, седлообразність, хоча ці відхилення в більшій мірі притаманні деталям типу валів. Тому визначимо допуск круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу, які пов'язані з допуском на розмір і складають при рівній відносній геометричній точності A (нормальна відносна геометрична точність) 30% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу складе

$$T_{O/O'} = 0,3 \cdot T_{180} = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мкм.}$$

Отже приймаємо найближче менше значення 5 мкм, що відповідає 4-му ступеню точності.

На кресленні не обговорений допуск форми даної поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівній відносній геометрич-

ній точності А 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від площинності складе

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{4,1} = 0,6 \cdot 75 = 45 \text{ мкм.}$$

Отже приймаємо найближче менше стандартне значення 40 мкм, що відповідає 8-му ступеню точності.

Ступінь шорсткості.

Згідно креслення параметри шорсткості  $\text{Ø}180g6$  – 1,6 мкм за критерієм Ra і торця 1,6 мкм за критерієм Ra. Це відповідає точносним вимогам.

Вибір і обґрунтування схеми базування.

Складемо порівняльну таблицю кількісно-точнісних параметрів базової і контрольованої поверхонь. Вона дозволить прийняти обґрунтоване рішення про придатність розглянутих поверхонь в якості базових.

Таблиця 2.7 – Точнісні параметри поверхонь

Найменування точнісного показника	Контрольована поверхня	Базові поверхні	
		$\text{Ø}180g6$	торець $\text{Ø}195/\text{Ø}180$
1. Точність розміру (квалітет)	14	6	11
2. Точність форми (ступінь точності)	12	4	8
3. Точність розташування поверхонь (ступінь точності)	6	4	8
4. Ступінь шорсткості	Ra=3,2мкм	Ra=1,6мкм	Ra=1,6мкм

Висновок: з таблиці видно, що параметри базових поверхонь: точність розміру, форми – вище, а ступінь шорсткості нижче, ніж аналогічні параметри контрольованої поверхні, отже за даними показниками ці поверхні можна прийняти в якості базових. Точність розташування поверхні  $\text{Ø}180g6$  вище ніж контрольованої, тому за цим показником цю поверхню також можна прийняти в якості базової. Точність розташування торця аналогічна точності розташування контрольованої поверхні, що для базових поверхонь незадовільно, проте кращого варіанту



ніж дана поверхню на деталі немає, тому це віднесемо до зауважень конструктору.

Так як деталь базується установкою в стакан і установкою по торцю, а також притискається зверху притискачем, то похибка базування безпосередньо впливає на точність вимірювання. Деталь буде позбавлена п'яти ступенів свободи (установча і подвійна опорна бази). Дана схема дозволить поєднати конструкторську і вимірювальну бази, в результаті чого похибка базування зведеться до нуля, що було описано вище.

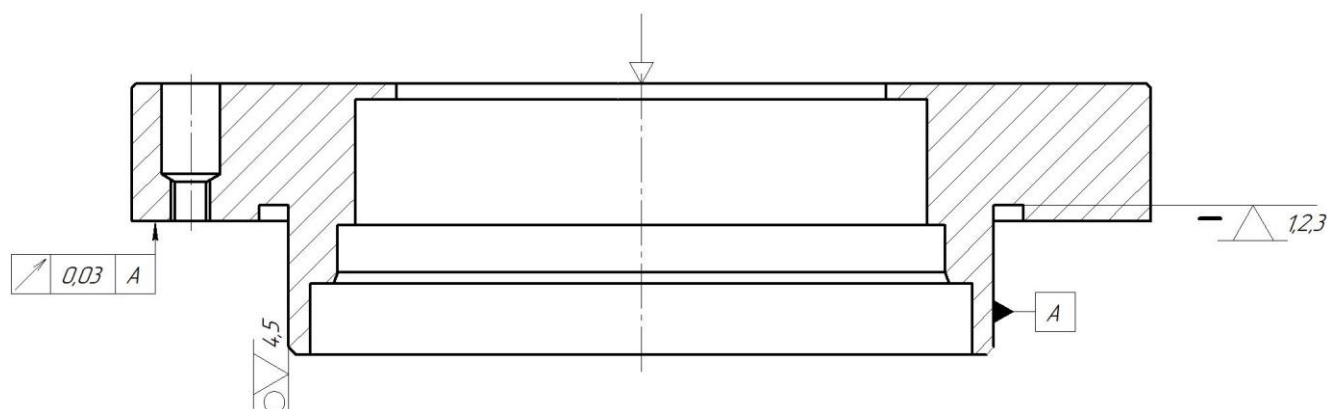


Рисунок 2.7 – Схема базування деталі на контрольній операції

Вибір і обґрунтування схеми закріплення.

Деталь при контролі розташовується вертикально. Закріплення контрольованої деталі необхідно для фіксації базування і запобігання випадкових зрушень під час контролю. Як механізм закріплення використовуємо швидкозмінну шайбу, яка піджимається рифленою гайкою вручну з силою не більше 10Н. Похибка закріплення при використанні даної схеми дорівнює нулю.

Вибір контактного або безконтактного методу вимірювання.

При контактних вимірах вимірювальний наконечник притискається до поверхні вимірюваної деталі. У загальному випадку можуть бути точковий, лінійний і поверхневий контакти. Необхідно прагнути до створення точкового контакту, в даному випадку плоска деталь – сферичний наконечник. Однак внаслідок наявності вимірювального зусилля точковий контакт викликає змінання вимірюваного виробу в точці контакту.

При безконтактних вимірюваннях чутливий елемент безпосередньо не контактує з вимірюваною деталлю, що усуває знос вхідного елемента і забезпечує мале вимірювальне зусилля, що дуже важливо при контакті з деталями з м'яких металів і сплавів. Однак безконтактні прилади (пневматичні, оптичні) чутливі до забруднення деталі і необхідні додаткові заходи по її очищенню.

Тому при виборі контактного і безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі високі ( $HV = 197$ ,  $\sigma_b = 570$  МПа,  $\sigma_T = 216$  МПа) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 5 мм, типу НР з твердосплавної вставкою по ДСТУ 11007-2006.

Дана величина радіусу сфери наконечника обрана виходячи з міркувань, що при таких параметрах наконечника площі контакту буде достатньо для виконання умови незмінання поверхні деталі, а також зменшення ймовірності виникнення похибки внаслідок збільшення забруднення зони контакту.

З огляду на твердість контрольованої поверхні і допуск контрольованого параметра 0,06 мм, геометричні параметри наконечника орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 5Н. В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}}, \quad (2.12)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника. При твердому сплаві  $k = 0,81$ ;

$P_{yc}$  – вимірювальне зусилля, Н;

$r$  – радіус наконечника, мм.

Тоді похибка від вимірювального зусилля:

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

Вибір статичного або динамічного методу контролю.

При статичному режимі контрольована деталь в процесі вимірювання нерухома щодо установчих елементів КВП і результат вимірювання визначається, коли всі елементи приладу прийшли в стан спокою.

У нашому випадку деталь для здійснення контролю вимагає повороту навколо своєї осі на  $360^\circ$ , так як інакше проконтролювати з даною точністю (торцеве биття) неможливо, тому далі розглядати плюси і мінуси динамічного контролю не має сенсу. Тому в нашому випадку приймаємо динамічний режим контролю.

Вибір розташування деталі при контролі.

Реалізація переміщення деталі щодо елементів КВП в процесі налагодження та контролю, а саме обертання навколо власної осі на  $360^\circ$ , буде здійснюватися без особливих зусиль з боку контролера, так як стакан буде з'єднаний з фланцем, який встановлений на опорах кочення (рис. 2.8), що варто відзначити як позитивний момент в конструкції КВП.

Вибір засобу вимірювання.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і надійностних характеристик, якими має володіти засіб вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина виробничого допуску контрольованого параметра  $T_{пр} = 30$  мкм:

$$[\Delta_{ИЗМ}] = k \cdot T_{пр}, \quad (2.13)$$

де  $k$  – відносна похибка вимірювання, яка залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра (для 6-го ступеня точності  $k = 0,25$ ).

Тоді:

$$[\Delta_{ИЗМ}] = 0,25 \cdot 30 = 7,5 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ДСТУ 8.051-2001 рекомендується прийняти  $[\Delta_{ИЗМ}] = 6$  мкм.

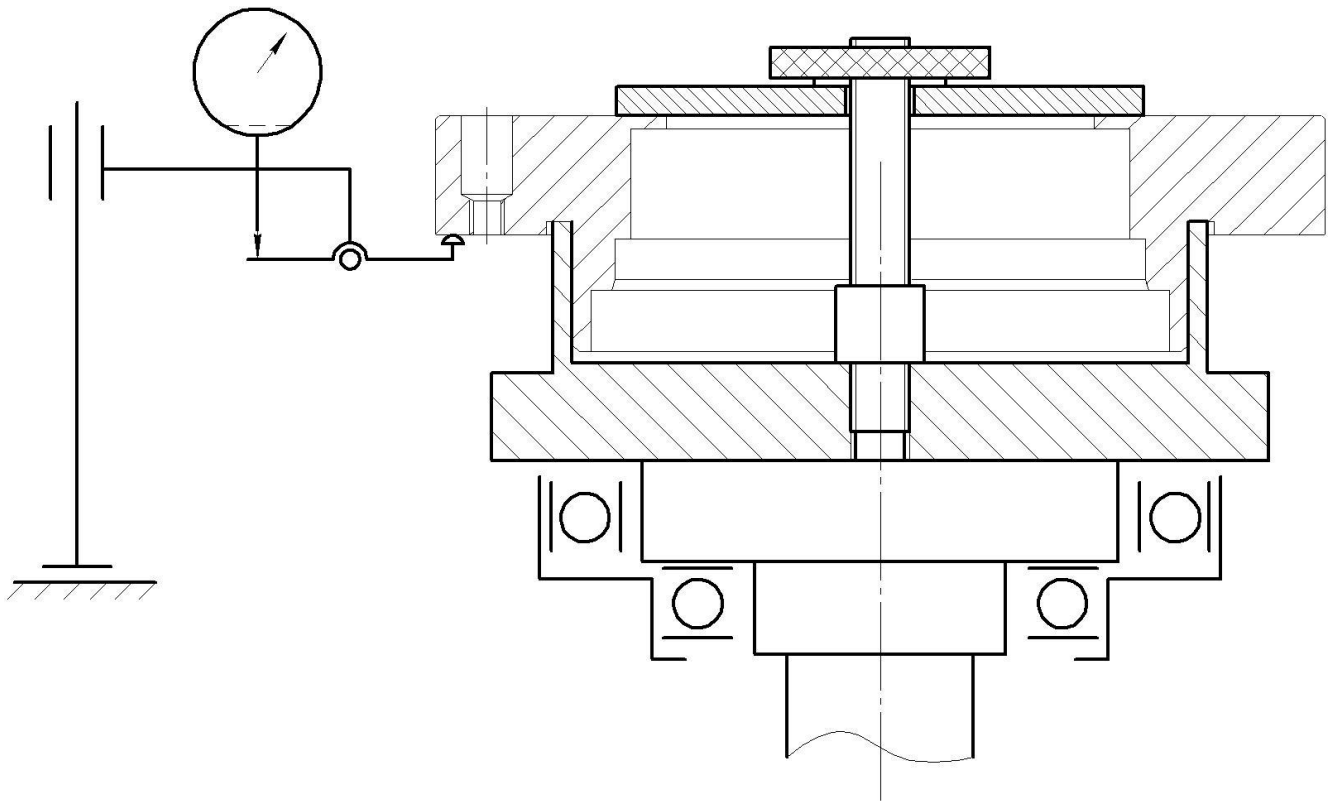


Рисунок 2.8 – Схема контролю деталі при базуванні її в стакані

Визначимо допустиму похибку засоби вимірювання (інструментальну похибку):

$$[\Delta_{ин}] = (0,6 - 0,8) \cdot [\Delta_{изм}] \quad (2.14)$$

Приймаємо коефіцієнт 0,6:

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

Ціна поділки розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки засобу вимірювання:

$$[c] = (0,5 - 2) \cdot [\Delta_{ин}] \quad (2.15)$$

Приймаємо коефіцієнт 1, тоді:

$$[c] = 1 \cdot [\Delta_{ин}] = 1 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали  $[a]$  приймається з рекомендацій [14] рівний від 0,9 до 2,5 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруд-

нити зчитування показань засобу вимірювання, а більше не доцільно. Тому приймаємо  $[a] = 1$  мм, як найбільш поширене в практиці.

Межа вимірювання за шкалою  $[A]$  повинна перевищувати допуск  $T_{np}$ , щоб зняття показань здійснювалось без зайвих турбот. Тому приймаємо:

$$[A] = 2 \cdot T_{np} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювання засобу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Для відносних вимірювань цілком достатньо прийняти  $[B] = 1$  мм.

Допустиму варіацію показань приймаємо  $[W] = 2$  мкм.

Вимірювальна умова  $P_{yc}$  обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля було прийнято в попередній роботі, отже прийmemo його як допустимий  $[P_{yc}] = 5$  Н.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлено величиною  $[\Delta P] = 1$  Н [14].

Встановлюється необхідний ресурс (показник експлуатаційної надійності) засобу вимірювання, який визначається кількістю вимірювальних циклів  $[K]$  і ймовірністю безвідмовної роботи засоби вимірювання  $[q]$  (%).

Ймовірність безвідмовної роботи  $[q] = 85\%$ , виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальної промисловістю.

Кількість вимірювальних циклів дорівнює 1500 циклів (вимір деталей протягом 5 років). Отже приймаємо  $[K] = 1500$  циклів.

Згідно сталим цінами на контрольно-вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання СІ:  $[L] = 250$  грн.

Пошук засобу вимірювання по заданим обмеженням.

Після того як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним і надійностного показниками, можна приступити до пошуку засоби вимірювання. Прийнятним вважається засіб вимірювання, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим:

Здійснюємо пошук засобу вимірювання за таблицями ричажно-зубчастих вимірювальних головок. Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Для уникнення необхідності застосування важельних механізмів застосуємо індикатор з рухомою ніжкою, яка може повертатися в просторі для здійснення контролю. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA Lateral 01810013, з наступними параметрами:  $A = 400$  мкм,  $B = 2$  мм,  $P_{yc} = 2$ Н,  $\Delta P_{yc} = 0,7$ Н,  $W = 1$  мкм,  $K = 165000$ ,  $q = 95\%$ ,  $C = 1800$  грн.

Порівняємо ці значення з допустимими (розрахунковими), приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\begin{aligned} \Delta_{ин} = 3 \text{ мкм} < |\Delta_{ин}| = 3,6 \text{ мкм}; & c = 2 \text{ мкм} < |c| = 3,6 \text{ мкм}; a = 2 \text{ мм} > |a| = 1 \text{ мм}; \\ A = 400 \text{ мкм} > |A| = 60 \text{ мкм}; & B = 2 \text{ мм} > |B| = 1 \text{ мм}; P_{yc} = 2 \text{ Н} < |P_{yc}| = 5 \text{ Н}; \\ \Delta P = 0,7 \text{ Н} < |\Delta P| = 1 \text{ Н}; & W = 1 \text{ мкм} < |W| = 2 \text{ мкм}; K = 165000 > |K| = 1500; \\ q = 95 \% > |q| = 85 \% ; & C = 200 \text{ грн.} < |C| = 250 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA Lateral 01810013, що має такі метрологічні характеристики:

Інші індикаторні головки мають надлишкову точність та меншу надійність. Тому остаточно вибираємо індикатор TESA Lateral 01810013.

Розробка кінематичної схеми КВП.

На схемі в спрощеному вигляді зображені основні механізми (функціональні вузли) КВП. Схема дає поняття про характер переміщення, граничні положення, видах зв'язків. Кінематична схема зображена на рис. 2.9.

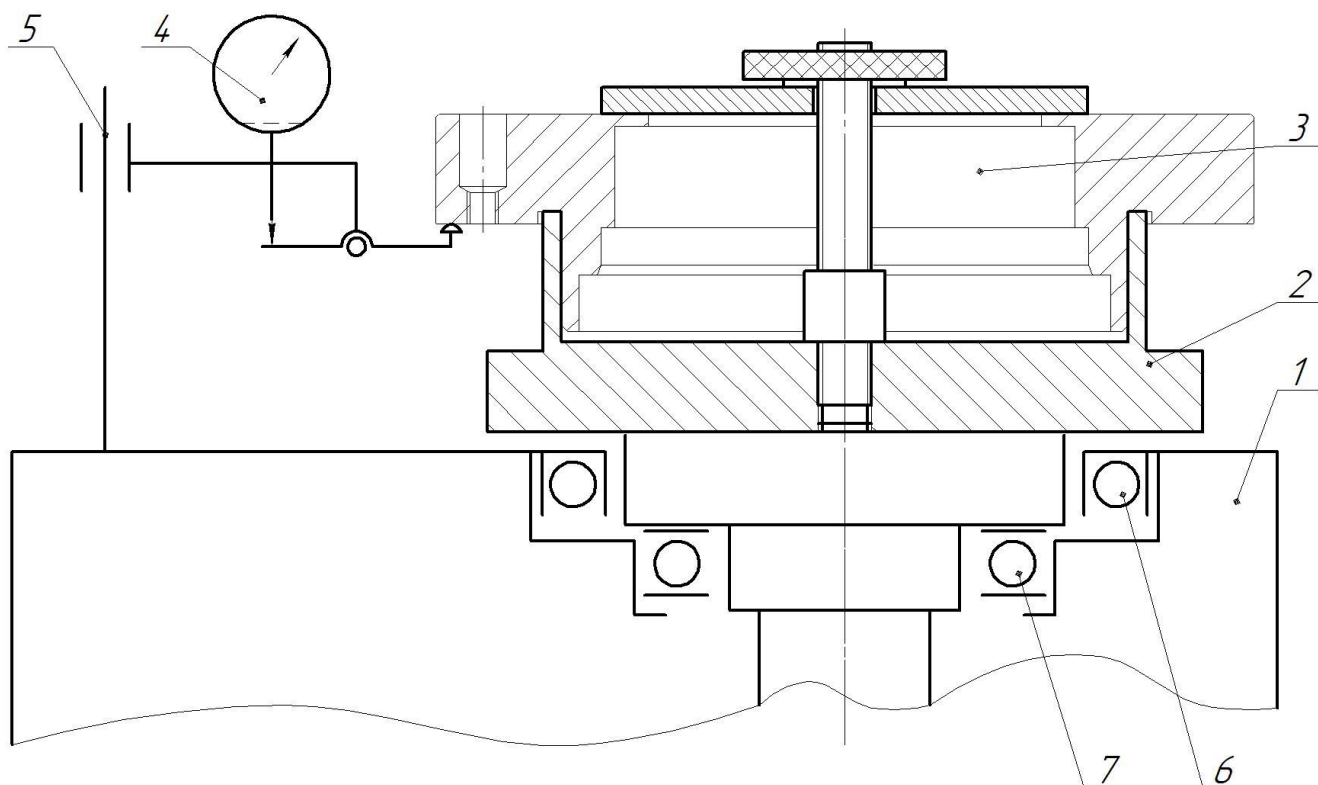


Рисунок 2.9 – Принципова схема контролю торцевого биття:

- 1 – корпус; 2 – оправка; 3 – шайба швидкозмінна; 4 – індикатор; 5 – стійка;  
6 – підшипник радіальний; 7 – підшипник упорний.

Розробка ескізу функціонального вузла.

Реалізуючи даний крок розробимо ескіз функціонального вузла, що викликає найбільший інтерес з точки зору важливості його роботи в КВП і складності проектування.

Наведемо ескіз функціонального вузла обертання деталі (рис. 2.10, 2.11), згідно з принциповою кінематичною схемою і схемою розміщення елементів КВП з використанням опор кочення, що відрізняються від опор ковзання меншими втратами на тертя і більшої технологічності, як в процесі виготовлення і складання, так і в процесі експлуатації. На ескізі проставимо посадки опор кочення на вал і в корпус, а також інші необхідні для збірки посадки. На рисунку 2.10 в конструкції приймемо два наполегливіх і один радіальний кулькові підшипники різних розмірів, а на рисунку 2.11 два радіально-упорних підшипника з конічними роликами для того, щоб вибрати люфти.

Як видно з рисунка 2.10 функціональна одиниця містить досить велику кількість оригінальних деталей, підшипників, а також складну конструкцію вала і корпусу в порівнянні з функціональним вузлом, зображеним на рисунку 2.11. На рисунку 2.11 корпус має наскрізний отвір, а вал всього лише два ступені, також два підшипника замість трьох, як в першому випадку.

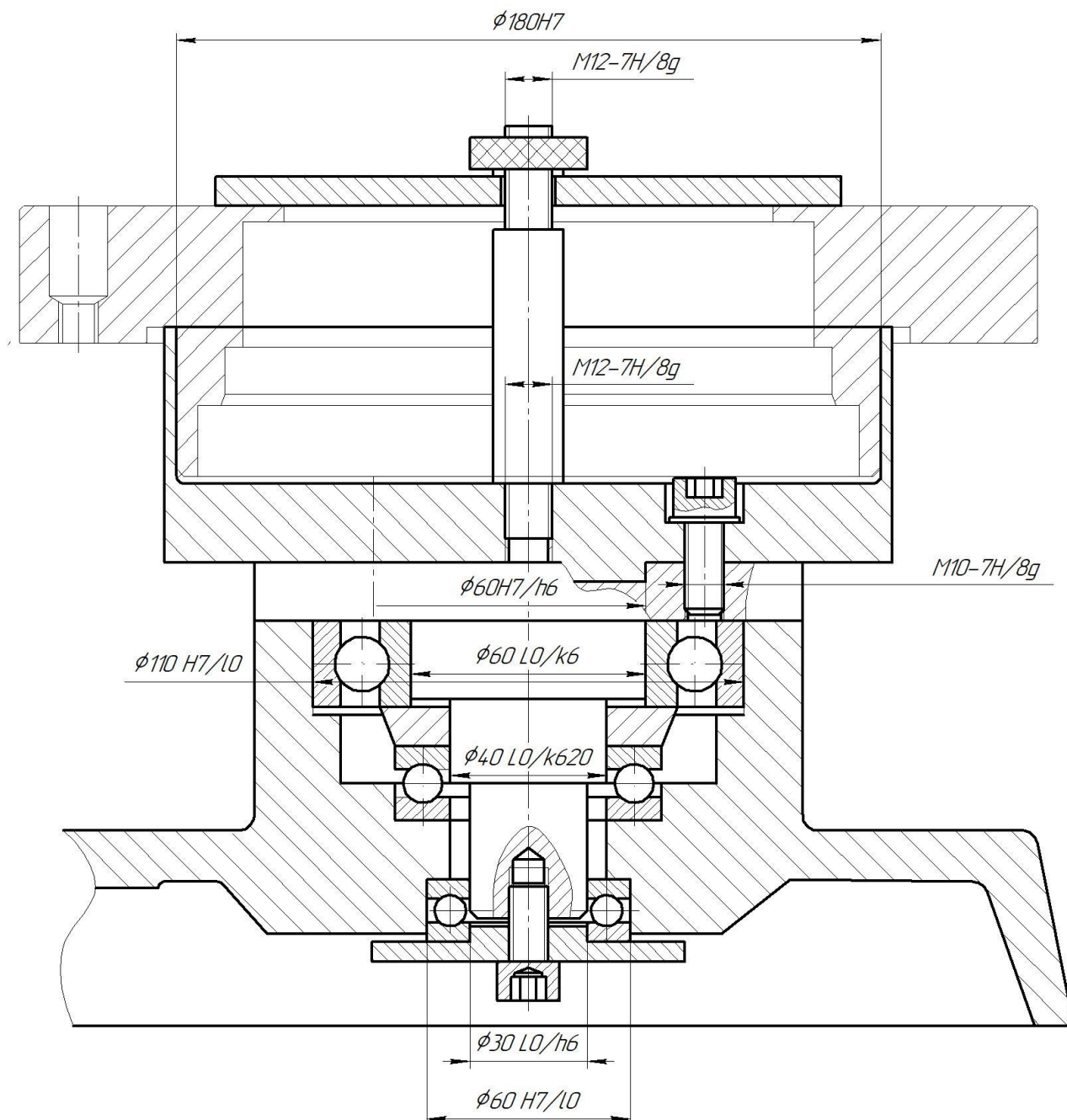


Рисунок 2.10 – Ескіз функціонального вузла з радіальними і упорними підшипниками

Контроль параметра – торцевого биття, буде забезпечений в обох випадках з достатньою точністю, так як осьове биття більшого упорного підшипника 1,8



мкм, а радіально-упорного 2 мкм (при торцевому битті контрольованої поверхні 60 мкм), тому як більш технологічний варіант приймаємо другий ескіз функціонального вузла, зображений на рисунку 2.11.

### Розрахунок фактичної сумарної похибки КВП

Визначення сумарної фактичної похибки вимірювання КВП – один з найбільш важливих і відповідальних етапів проектування, на підставі якого визначають можливість КВП здійснювати контроль заданих параметрів з необхідною точністю і достовірністю.

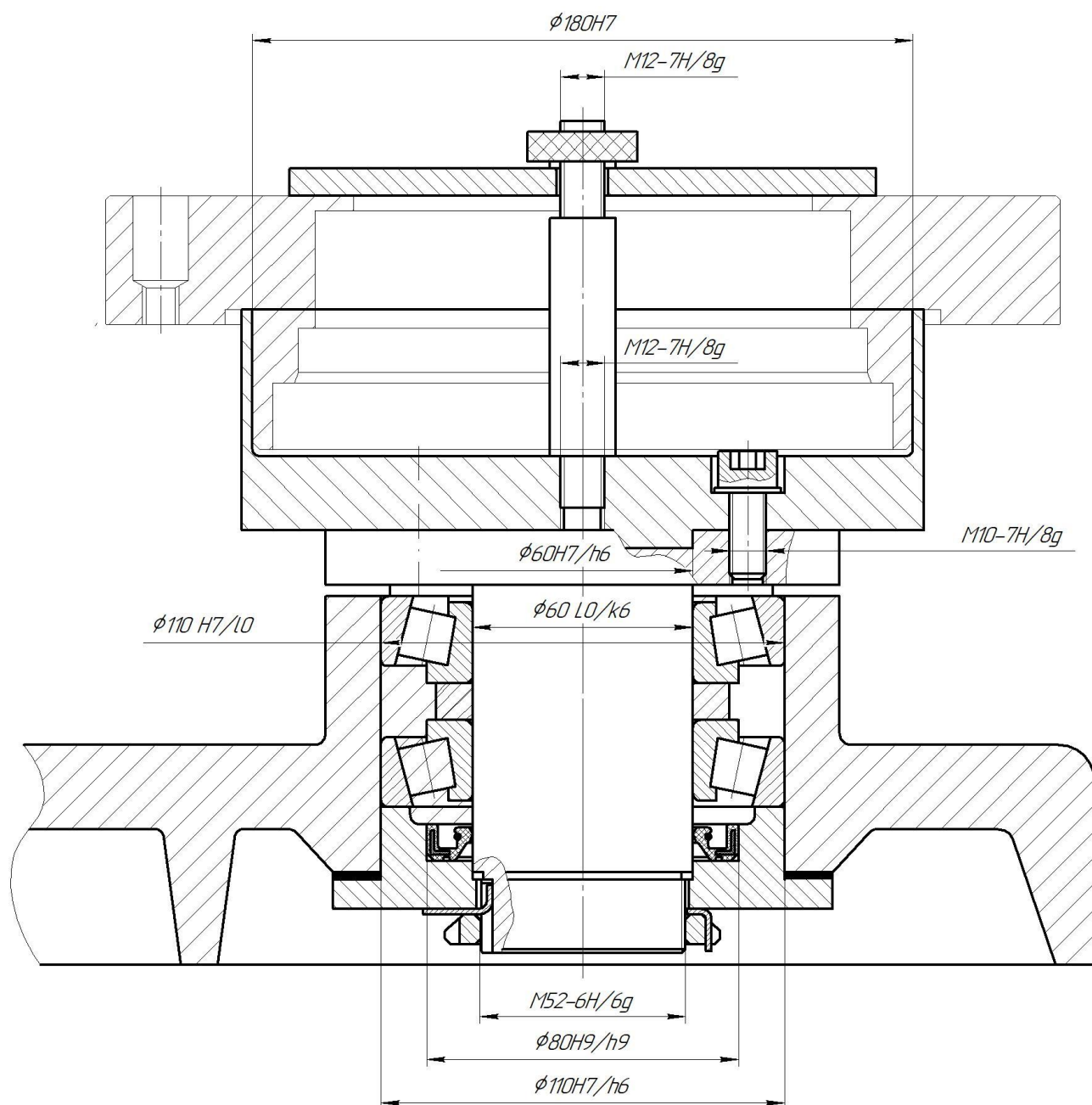


Рисунок 2.11– Ескіз функціонального вузла з радіально-упорними підшипниками

А для цього необхідно, щоб сумарна фактична похибка вимірювання КВП не перевищувала допустиму похибку вимірювання:

$$\Delta_{\phi} \leq [\Delta_{\text{ИЗМ}}] \quad (2.16)$$

Фактична похибка КВП визначається за формулою:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{\Delta_{\text{ИИ}}^2 + E^2 + \Delta_{\text{Э}}^2 + \Delta_{\text{УС}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_p^2}, \quad (2.17)$$

де  $\Delta_{\text{ИИ}} = 3$  мкм – похибка засобу вимірювання;

$E$  – похибка установки;

$\Delta_{\text{Э}} = 0$  – похибка міри або еталона, так як при контролі беремо еталон;

$\Delta_{\text{УС}}$  – похибка від вимірювального зусилля;

$\Delta_t = 0$  – похибки від температурних деформацій, цієї похибкою можна знехтувати, оскільки контроль деталей буде проводитися не відразу після їх виготовлення і доставки на стіл ВТК, а з витримкою певного часу, для того щоб температура деталі і температура всього КВП зрівнялася;

$\Delta_p$  – похибка передавальних пристроїв.

Похибка установки визначається як:

$$E = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_3^2 + E_{\text{нр}}^2}, \quad (2.18)$$

де  $E_{\delta} = 0$  – похибка базування, визначена раніше;

$E_3 = 0$  – похибка закріплення, яка дуже мала, тому що сила закріплення дорівнює приблизно 10Н, що при тиску через шайбу швидкозмінний практично не вплине на деталь, так як її твердість за кресленням 179НВ;

$E_{\text{нр}}$  – неточності виготовлення елементів пристрою.

Неточності виготовлення елементів пристосування визначаємо за формулою:

$$E_{\text{нр}} = \sqrt{E_{\text{нр}_1}^2 + E_{\text{нр}_2}^2}, \quad (2.19)$$

де  $E_{np1} = 2$  мкм – похибка, що виникає внаслідок осьового биття в радіально-упорних підшипниках 7212 ГОСТ 27635-87, клас точності 0 [15], яка безпосередньо впливає на показання при контролі торцевого биття;

$E_{np2} = 0$  – похибка, що виникає внаслідок неточності розташування індикатора щодо контрольованої деталі, похибкою можна знехтувати оскільки вимірювання відносні;

$$E_{np} = \sqrt{2^2 + 0^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Похибка установки:

$$E = \sqrt{0^2 + 0^2 + 2^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Похибка вимірювального зусилля визначаємо за формулою:

$$\Delta_{\delta\ddot{y}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{5}} = 0,323 \text{ мкм.}$$

Так як в конструкції КВП не має важеля, то  $\Delta_{P4} = 0$ .

Фактична похибка КВП:

$$\Delta_{\Phi} = \sqrt{3^2 + 2^2 + 0^2 + 0,323^2 + 0^2 + 0^2} = 3,62 \text{ мкм.}$$

$\Delta_{\Phi} = 3,62 \text{ мкм} < \Delta_{ИЗМ} = 6 \text{ мкм}$  - отже показання КВП достовірні.

Визначення впливу похибок вимірювання на результати контролю.

Для визначення впливу похибок вимірювання на результати контролю необхідно встановити залежності між похибкою вимірювання, ймовірністю неправильного приймання бракованих деталей  $m$  і відбракування придатних деталей  $n$ , ймовірнісною величиною граничного виходу розміру за межу поля допуску  $C$  у неправильно прийнятих деталях і коефіцієнтом точності методу вимірювання:

$$k = [\Delta_{ИЗМ}] / T_{np} = 6 / 30 = 0,2 .$$

Отже при  $k = 0,2$  з таблиці [13] вибираємо імовірнісні граничні кількості неправильно розбракованих деталей і величин виходу за межі поля допуску величина виходу розміру за межі поля допуску,  $C = 8\%$ , при допуску 60 мкм:

$$C = 0,08 \cdot 60 = 4,8 \text{ мкм};$$

Кількість неправильно прийнятих деталей при контролі коливань розмірів  $m = 1,6\%$ , при кількості перевірених деталей за 5 років  $N \text{ рік} = 750$  штук

$$m = 0,016 \cdot 1500 = 24 \text{ шт.};$$

Кількість неправильно забракованих деталей при контролі коливань розмірів  $n = 2\%$ , при кількості перевірених деталей за 5 років

$$n = 0,02 \cdot 750 = 15 \text{ шт.}$$

Техніко-економічний ефект від застосування КВП.

В даному пункті відзначимо лише те, що КВП для контролю заданого параметра на підприємстві не має, отже спроектований КВП, який відноситься до II групи складності (включаючи в себе 35 деталей), вартість якого дорівнює приблизно 10500 грн. Буде виправданим рішенням.

Розробка технічних вимог на виготовлення КВП.

Введення в виробництво більш досконалого засобу контролю дуже вигідно для виробництва. Так само слід враховувати безліч факторів, пов'язаних з підвищенням якості і надійності вимірювання, тому необхідно грамотно скласти технічні вимоги та проставимо їх на креслення.

Результати вимірювання служать основою для прийняття рішення про регулювання елементів технологічного процесу.

Спроектований КВП призначений для контролю готової продукції та забезпечений необхідною документацією, в якій висвітлюються результати перевірок, здійснюваних метрологічною службою підприємства відповідно до встановлених локальними перевірочними схемами: при випуску з виробництва, при експлуатації.

## 2.8 Висновок

Таким чином у розділі удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка» у якості заготовки була прийнята поковка штампована на КГШП, так як вона більш економічно вигідна, ніж вільна ковка на молоті.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Докладно виконано аналіз схем базування та закріплення заготовки на операції 020 токарна з ЧПК, на якій отримується допуск торцевого биття, який і є об'єктом дослідження. При цьому визначені похибки базування, призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування аналізованої операції.

Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття з обґрунтуванням і точнісними розрахунками, та виконано його робоче креслення, що дозволить виконати 3D – модель та провести його інженерне дослідження.

## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Аналіз стану досліджень у галузі проектування, виготовлення та дослідження контрольно-вимірювальних пристроїв

У сучасному машинобудуванні контроль якості виробів дуже важливий. Особливо велика роль контролю під час виробництва за принципом повної взаємозамінності. Застосування універсальних вимірювальних інструментів і калібрів малопродуктивно, але завжди забезпечує потрібну точність і зручність контролю. Контрольні пристрої підвищують продуктивність праці контролерів, покращують умови їх роботи, підвищують якість та об'єктивність контролю. Контрольні пристрої застосовують для перевірки заготовок, деталей і вузлів машин. Пристрої для контролю деталей застосовують на проміжних етапах обробки (міжопераційний контроль) і для остаточного приймання, виявляючи точність розмірів, взаємного положення поверхонь і правильність їхньої геометричної форми [16].

Важливість контролю підтверджується різноманіттям наукових праць у яких розглядається:

- моніторинг еволюції точності розмірів і властивостей деталей в процесах формування її геометричних параметрів з контрольованими властивостями;
- аналіз точності базування під час контролю;
- аналіз впливу шорсткості поверхні на результати контролю, як базової так і контрольованої поверхонь;
- створення принципів автоматизованого контролю на робочому місці і його точність;
- деформації під час контролю і після зняття внутрішніх напружень деталі;
- забезпечення дотримання норм і правил під час контролю параметрів відносного розміщення поверхонь;
- контроль процесів складання і готових складальних одиниць на предмет похибок їх взаємного розміщення.

Зокрема у роботі [17] розглядається контроль складальних одиниць після їх складання роботами. Дослідження здебільшого зосереджено на металевих частинах високої жорсткості, які непридатні для складання деталей низької жорсткості. Крім того, коли складання здійснюється звичайним методом, то контроль пропускної здатності та кількість параметрів, які потрібно налаштувати, є значною, і може виникнути нестабільна контактна сила. У цьому дослідженні запропоновано два алгоритми, а саме контроль пропускної здатності зі змінною жорсткістю (ACVS) і контроль пропускної здатності з адаптивною жорсткістю (ACAS), які підходять для роботизованого складання деталей з низькою жорсткістю. Відповідно після введення даних видів контролю при складанні доведено, що похибки положення елементів та поверхонь у збірці зменшились на 50-60% в залежності від розміру елемента. Для елементів великих розмірів зменшення похибок складало навіть до 80%.

Дослідження вчених Chen та Yang [18] спрямовані на те що вирішується питання досягнення високої точності та швидкого реагування, а також контроль зусилля з низьким перевищенням за рахунок методу активного контролю похибок профілю оброблюваної деталі, що є важливими для гарантування точності видавлення матеріалу та якості поверхні при роботизованому шліфуванні. Результати контролю похибок форми після шліфування показують, що максимальна похибка керування зусиллям сумісного кінцевого контролера з керуванням зусиллям зменшується на 70% порівняно з похибкою жорсткого кінцевого контролера з керуванням зусиллям, а перевищення контролю зусилля зменшується з 30% до майже 0 за тієї самої швидкості відповіді. Максимальна та середня абсолютні похибки глибини шліфування за допомогою розробленого кінцевого контролера зменшуються на 57,2% та 58,6% відповідно порівняно з традиційним жорстким кінцевим контролером, а середня шорсткість поверхні готової деталі зменшується на 19,2%.

У роботі Jin та ін. [19] показали дослідження нового процесу та методу контролю площинності тонкостінних деталей може стати важливою теоретичною та прикладною основою для високоточного та високоякісного виготовлення тонкос-

тінних компонентів в аерокосмічній та інших областях. Запропоновано метод контролю площинності на основі фіксації льодом для фрезерування тонкостінних деталей плоских деталей із тонкостінного алюмінієвого сплаву 7075. Суть методу полягає в застосуванні низької температури приблизно  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до плоскої тонкостінної деталі за допомогою морозильної ванни для утримання заготовки на місці, щоб контролювати площинність після процесу торцевого шліфування тонкої стінки. Після фіксації за допомогою льоду під час оброблення результати контролю показали зменшення відхилення від площинності від 5,8% до 40,3%; площинність процесу обробки зменшується зі збільшенням товщини заготовки від 15,6% до 65,0%.

Під час виготовлення деталей не менш важливим аспектом є і контроль затиску та деформацій що виникають після нього. В роботі [20] розглядається складання та обслуговування тонкостінних деталей з температурою плавлення  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  де використовується адаптивна системи затиску, яка могла б регулювати положення затиску, коли матеріал був рідким, відповідно до напруження та зняття деформації після грубої обробки. Після цього деформацію заготовки можна було усунути під час чистової обробки. Порівняно з аналогом, що використовує традиційне вакуумне пристосування, максимальна деформація та відхилення від площинності зменшені на 82,0% та 72,9% відповідно, що проконтрольовано за допомогою спеціального пристрою, таким чином ефективно покращуючи точність виготовлення тонкостінних деталей.

Оскільки останні тенденції у виробничих інженерних дисциплінах демонструють чіткий розвиток сталого, а також економічно ефективного проектування процесів формування, методи контролю отриманих таким методом заготовок набувають все більшої актуальності. Тому у роботі [21] вчені розробили спеціальних контрольний пристрій з трьома індикаторами та дослідили відхилення форми та взаємного розміщення поверхонь заготовки, які проходять у майбутньому механічне оброблення та які залишаються необробленими. Однак для успішного встановлення замкнутого циклу контролю властивостей та систематичне розуміння взаємності розмірів після формування та властивостей кінцевого продукту. Та-



кож ця робота досліджує еволюцію точності розмірів, а також властивостей продукту для ряду процесів формування.

У роботі [22] автори розробили спеціальний КВП для контролю геометричних відхилень гнутих деталей довільної форми оскільки, наприклад, залишкові напруги сильно впливають на наступні етапи процесу. У цій роботі пропонується багатопараметрична структура керування зі зворотним зв'язком, яка здатна контролювати як геометрію заготовки за допомогою КВП, так і вибрані механічні властивості матеріалу.

Автори у роботі [23] після процесу оброблення контролюють паралельність поверхонь деталей низької жорсткості. При цьому спочатку вони контролюються допуск паралельності до оброблення, а потім контролюють його після шліфування одразу і через добу після того як заготовка була підвішена вертикально, щоб уникнути деформації від власної ваги.

Процеси контролю биття і його вплив на показники якості поверхонь також досліджувалися у [24 та 25], де у першій роботі розглядалось биття інструменту та його наслідки, як важлива область дослідження в рамках моделювання, імітації та контролю сил при фрезеруванні. Биття інструменту призводить до того, що ріжучі кромки інструменту відчувають нерівномірні зусилля під час фрезерування. Цей факт також впливає на довговічність інструменту та погіршує якість поверхні заготовки. У цій статті представлено процедуру для зменшення ефекту биття інструменту шляхом його початкового контролю перед обробленням та вивірки і встановлення у межах допустимих значень. Змодельовані та експериментальні результати, представлені в цій статті, демонструють ефективність і переваги цієї нової процедури корекції биття інструменту за допомогою спеціального КВП. У другій же роботі радіальне биття вимірювалось на спеціальному стенді, де встановлювалась оправка з інструментом окремо, причому оправка ще і мала можливість балансування.

Дослідження [26] присвячено контролю якості поверхні обробленої деталі після операції торцевого фрезерування в залежності від геометрії ріжучого інструменту та похибки інструменту. У цій роботі представлена чисельна модель

для прогнозування профілю поверхні та шорсткості поверхні як функції цих факторів, що включає алгоритм генерації випадкових значень, який дає змогу визначити зміну шорсткості поверхні за значеннями, які можуть бути прийняті інструментом. помилки. Ця робота зосереджена на ріжучих інструментах з круглими пластинами та впливі похибок інструменту, таких як радіальні та осьові биття, для контролю яких було розроблено спеціальний КВП.

Висока точність сучасних машин зумовлює використання в контрольних пристроях вимірювачів високої точності і важливість правильного вибору принципової схеми та конструкції пристосування для контролю. Підвищення точності вимірювання може призвести до ускладнення та подорожчання пристосування та зниження його продуктивності. Для перевірки невеликих і середніх деталей застосовують стаціонарні КВП, а для великих - переносні. Поряд з одномірними знаходять широке застосування багатовимірні пристосування, де за одну установку перевіряють кілька параметрів. Контрольні пристрої повинні забезпечувати задану точність і продуктивність контролю, бути зручними в експлуатації, простими у виготовленні, надійними при тривалій роботі та економічними.

Авторами статті [27] проведені дослідження в галузі проектування контрольних пристроїв та запропоновано використовувати принцип «форми затискних елементів» та величини сил закріплення, для визначення їх оптимального місця положення на деталі та залежно від цього оптимальну величину сили закріплення при контролі. Результатом є розроблення програмних додатків, що дозволяють з'єднувати даний алгоритм із бібліотеками затискних елементів та проводити підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з параметрами під конкретну деталь.

У роботі [28] авторами розроблена скінченноелементна модель контрольного пристрою із деталлю, що дозволяє визначати похибки поверхонь деталі залежно від точності контролю та проводити їх автоматизовану оптимізацію. При цьому модель враховує зміну коефіцієнта тертя між пристроєм та деталлю у результаті та величину мікронерівностей на контактуючих поверхнях.

Аналіз літературних джерел показав, що у даний час науковці займаються розрахунками та розробкою моделей процесів взаємодії поверхонь КВП та деталі, а також дослідженням точності установки при зміні параметрів пристрою. Також багато уваги приділяється методам активного контролю та управління даним процесом. Проте недостатньо уваги приділяється дослідженню стабільності та жорсткості самих КВП, адже у металообробних цехах, де зазвичай на окремих дільницях і розміщені столи відділу технічного контролю виникає багато зовнішніх збурень, що спричинені роботою обладнання. Також в сучасних умовах важливо приділити увагу зниженню металомісткості КВП при забезпеченні достатньої точності у межах певного діапазону розмірної групи контрольованих деталей, що є актуальною задачею.

### **3.2 Розроблення 3D – моделі контрольно-вимірювального пристрою та його модальний аналіз**

Для виконання розрахунків чисельного моделювання на початковому етапі була виконана побудова 3D – модель контрольно-вимірювального пристрою разом із деталлю (рис. 3.1). Модель будувалась з максимальним спрощенням усіх елементів з метою забезпечення більш швидких розрахунків, щоб не використовувати впусту ресурси комп'ютера, але при цьому не щоб не втрачалась їх точність. При проектуванні будемо використовувати правила, алгоритми та аксіоми досягнення максимальної жорсткості, а саме:

- вильоти в конструкції повинні бути мінімальними;
- маса деталей повинна прямувати до мінімуму;
- габарити повинні зменшуватися за принципом «знизу – вгору».

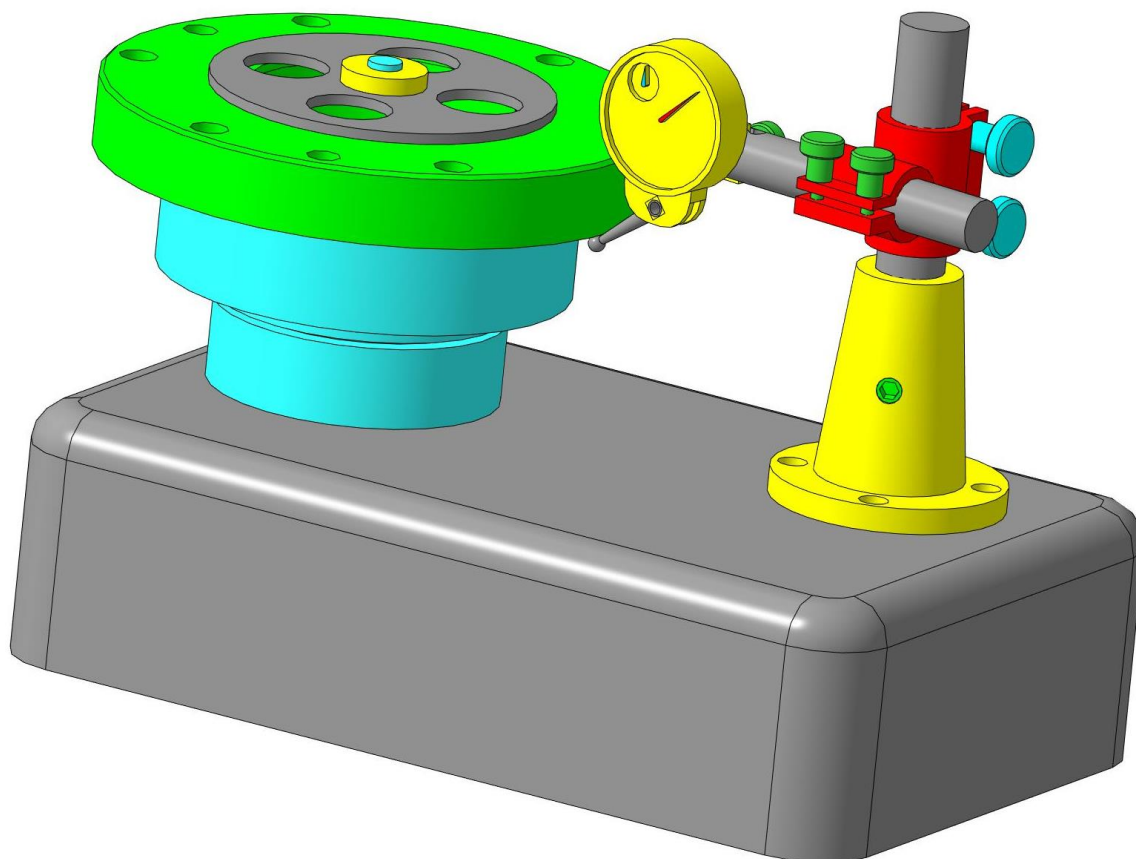


Рисунок 3.1 – Спроектований КВП із деталлю (3D-модель)

Для подальшого аналізу окремо було виконано збереження індикаторної стійки з метою виявлення її власних коливань і порівняння із загальними коливаннями конструкції (рис. 3.2).

Так як відділ технічного контролю знаходиться неподалік цехів або безпосередньо в цеху то, щоб запобігти виникненню резонансу в процесі вимірювання тому, що це може вплинути на точність вимірювання за допомогою вбудованого модуля в програмному комплексі ANSYS виконаємо інженерне дослідження спроектованого КВП та визначимо частоти власних коливань КВП і потім порівняємо з частотами, що можуть виникати при роботі цеху. За допомогою цих результатів буде можливість за необхідності удосконалити пристрій щоб запобігти резонансу і підвищити точність вимірювань.

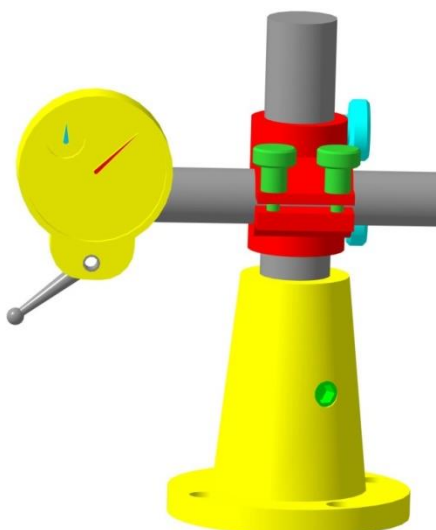


Рисунок 3.2 – 3D-модель стійки з індикатором

Так як у конструкції ВП усі деталі виготовлені зі сталі 40Х з термообробкою до 40...45 HRC, то механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наступні:

- модуль пружності  $E$ , ГПа – 200;
- коефіцієнт Пуасона  $\mu$  – 0,3;
- густина  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – 7850;
- межа міцності при розтягуванні [ $\sigma_{\text{розт}}$ ], МПа – 1020;
- межа міцності при стисненні [ $\sigma_{\text{ст}}$ ], МПа – 1340;
- межа текучості  $\sigma_T$ , МПа – 940.

Для визначення частот власних коливань КВП умовно розділимо його на дві частини. Під час досліджень граничними умовами було закріплення КВП за нижньою поверхнею основи, що імітує встановлення на стіл ВТК, а також всі поверхні об'єднані між собою шляхом об'єднання вузлів з типом контакту «Bonded», що виключає можливі переміщення. Типи контактів «Bearing» задані в місцях установлення підшипників з указанням параметрів їх жорсткості  $C$  та  $C_0$  за технічними характеристиками кожного з них. Ілюстрації скінчено-елементної сітки КВП зображено на рис. 3.3. Розміри сітки на деяких деталях відрізняються для отримання більш точних результатів, та більш якісного відображення можливих деформацій.

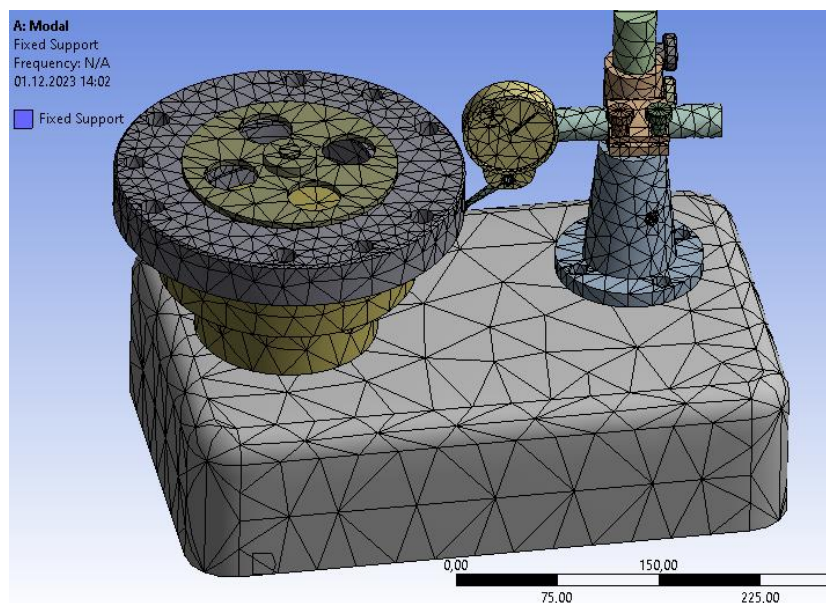


Рисунок 3.3 – КВП із скінчено-елементною сіткою

Окремо розглянемо коливання стійки з індикатором на рис. 3.4 – 3.6 зображені ілюстрації коливань стійки, та всього КВП рис. 3.7 – 3.9. наведено форми власних коливань досліджуваного вимірювального пристрою.

Аналізуючи отримані результати та величини коливань при яких відбуваються деформації можна зробити висновок, що розроблений КВП буде нормально функціонувати і коливання обладнання в цеху ніяк не вплинуть на точність вимірювання.

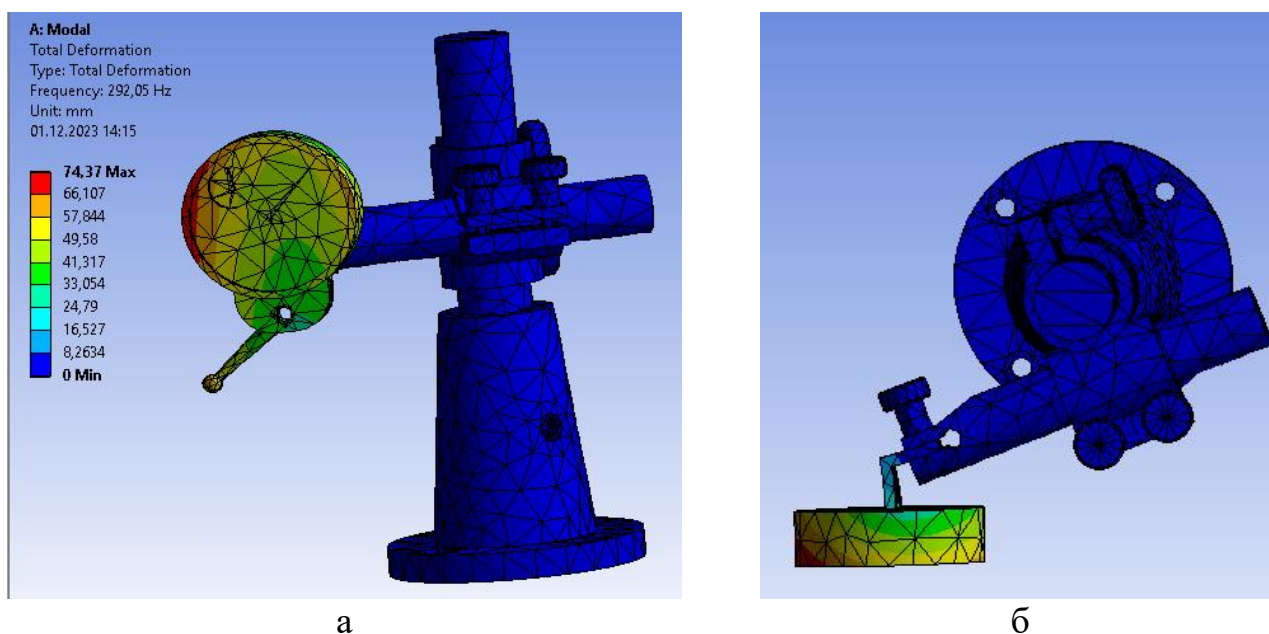
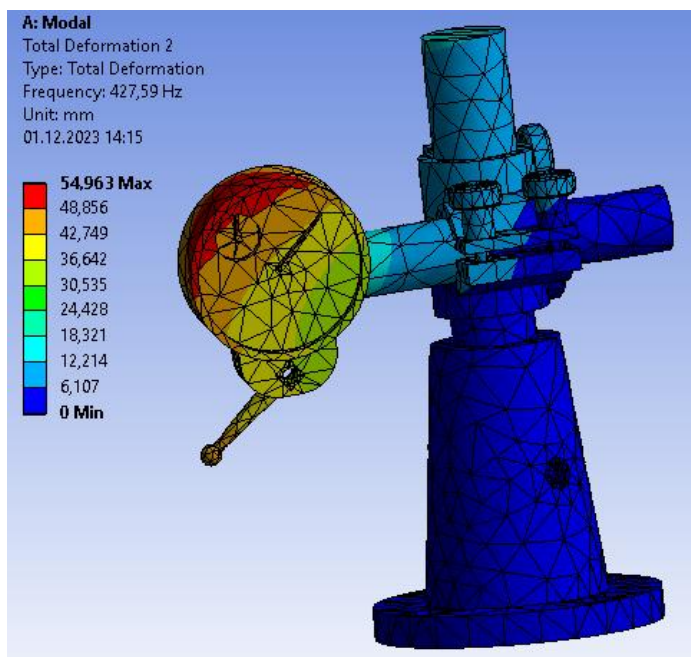
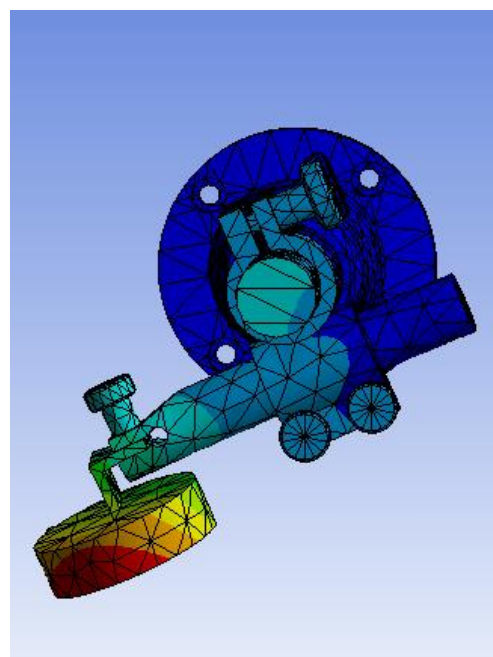


Рисунок 3.3 – Ілюстрація першої власної частоти для стійки:

а – вид спереду; б – вид зверху



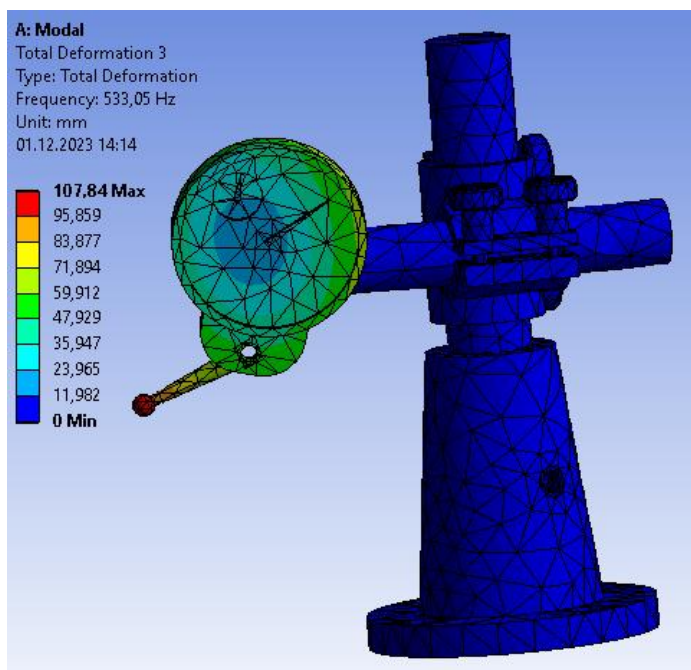
а



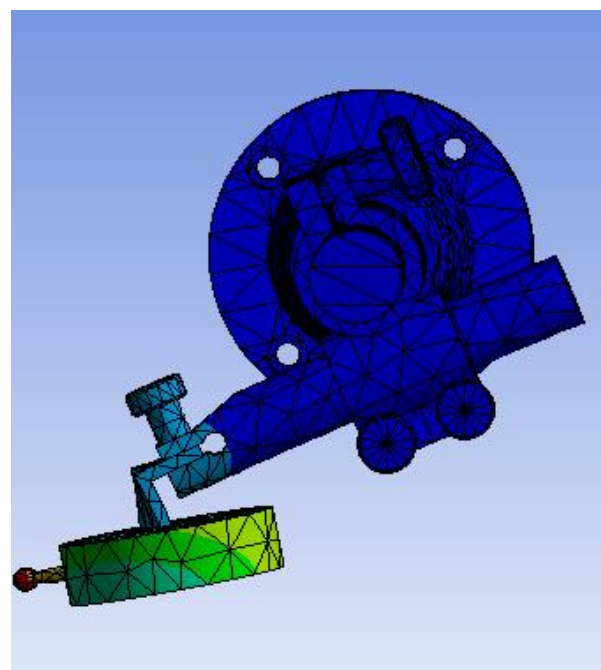
б

Рисунок 3.4 – Ілюстрація другої власної частоти для стійки:

а – вид спереду; б – вид зверху



а



б

Рисунок 3.5 – Ілюстрація третьої власної частоти для стійки:

а – вид спереду; б – вид зверху

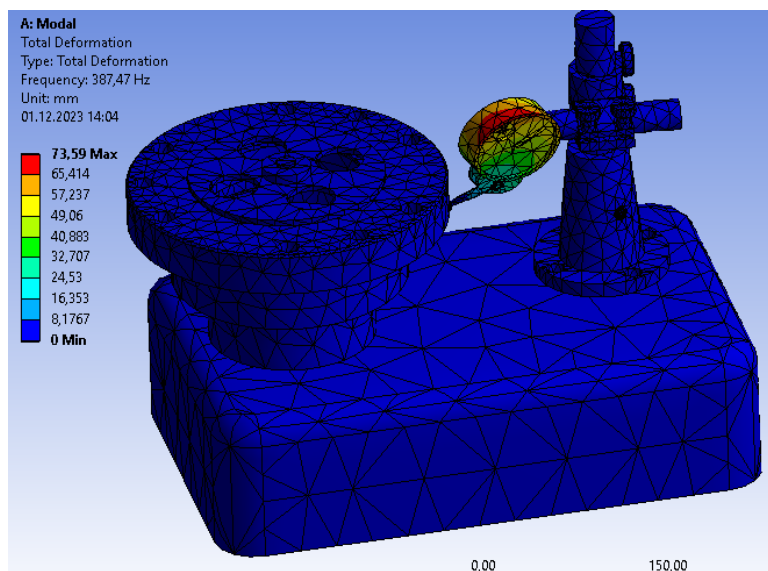


Рисунок 3.6 – Ілюстрація першої власної частоти для всього КВП

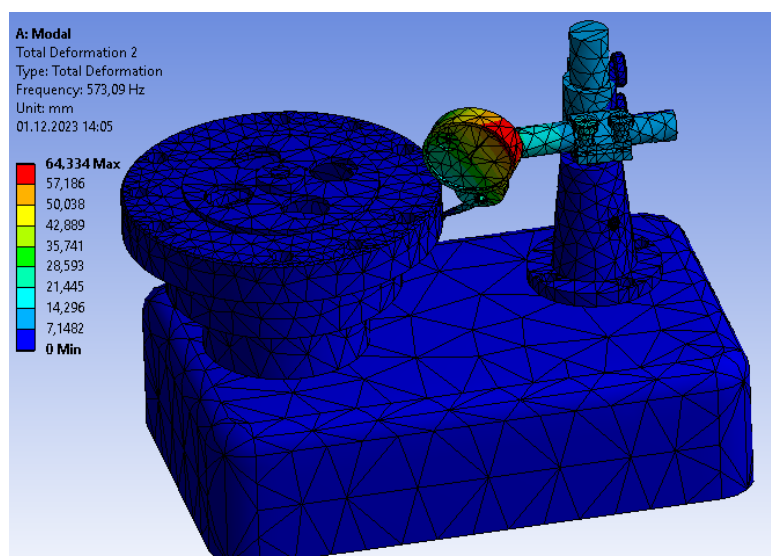


Рисунок 3.7 – Ілюстрація другої власної частоти для всього КВП

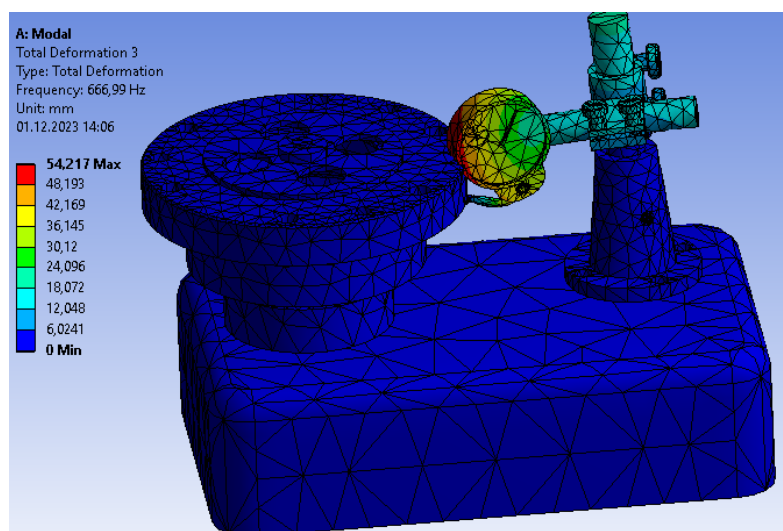


Рисунок 3.8 – Ілюстрація третьої власної частоти для всього КВП



Також результати модального аналізу дозволяють зробити висновок, що найбільш податливим елементом КВП є стійка. Так як під час розрахунків не виникло помилок, та в принципі модель відповідає законам фізики і теоретичної механіки, бо раціонально можна передбачити, що консольно закріплені елементи на певному вильоті будуть коливатися більше, так як і показали результати інженерного аналізу, тому розрахунки виконано вірно і модель є адекватною. Оптимізація конструкції не потребує, адже зменшення товщини стінок КВП та базових поверхонь конструктивно недоцільно через ускладнення технології виготовлення вихідних заготовок деталей КВП та зменшення його жорсткості. Виготовлення КВП з легких сплавів збільшило би поріг виникнення коливань, але він і так не буде досягнутий, адже обладнання яке може працювати в цеху створює частоти на рівні 50-80 Гц, у виключних випадках до 150 Гц.

### **3.3 Висновок**

1. На основі методик та аналізу сучасного стану розробок в галузі проектування та застосування контрольно-вимірювальних пристроїв виконано кількісний та якісний аналіз контрольної операції, що дозволило перейти до проектування КВП.
2. Базуючись на алгоритмах та рекомендаціях, щодо проектування контрольно-вимірювальних пристроїв сконструйовано КВП для контролю торцевого биття кришки, створені його 3D моделі для подальшого аналізу та досліджень.
3. Проведено чисельне моделювання модального аналізу в програмному середовищі Ansys Workbench. Було виявлено моди коливань, що дозволить попередити появу резонансу та встановлено, що граничні частоти обертання обладнання в цеху не досягнуть до першої власної частоти, тому даний контрольний пристрій можна використовувати в механообробних цехах будь-якої промисловості.

## ВИСНОВКИ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення кришки А1.7000.300.000-003 шляхом інтенсифікації операції контролю торцевого биття.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було виконано наступний обсяг робіт:

- аналіз первинної інформації, який включав у себе характеристику і особливості машини, вузла, деталі, технічні вимоги до неї, визначення типу виробництва, розрахунок технологічності та огляд базового технологічного процесу з виявленням недоліків та постановкою завдання на удосконалення;

- виконано удосконалення базового технологічного процесу виготовлення деталі в частині підбору оптимального маршруту оброблення, розрахунку первинної заготовки за техніко-економічними показниками, призначено схеми базування, які забезпечують мінімальні похибки та дотримання розмірів на аналізовану операцію, для якої також підбрані сучасні металорізальні верстати, різальний та вимірювальний інструменти, та розраховані режими оброблення;

- для аналізованої операції за класичними методиками розрахунок спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій для досліджуваного параметра торцевого биття в роботі.

У результаті в існуючий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК. В якості заготовки було прийнято поковка на КГШП та спроектований контрольно-вимірювальний пристрій і до токарної з ЧПК операції, на якій і отримується дане торцеве биття розроблена карта операційного налагодження.

У розділі наукового дослідження розглянуті питання проектування контрольно-вимірювального пристрою для ефективного, якісного і продуктивного контролю параметру торцевого биття кришки. Визначені моди коливань запропонова-

ного контрольно-вимірювального пристрою та теоретично встановлено, що при даній сфері застосування у металообробних цехах резонанс не виникне.

У додатку «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання пожежної безпеки промислових підприємств та виконаний розрахунок природнього та штучного освітлення, який дозволяє підібрати освітлення для цеху, де виготовляється деталь «Кришка».

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
4. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
5. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.
6. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102с.
7. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 156 с.

8. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення важелів та вилок : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ , 2013. – 56 с.

9. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення валів : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 198 с.

10. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.

11. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» / укладачі : Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 136 с.

12. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

13. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

14. Паливода Ю. Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / укладачі : Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.

15. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

16. Automated control device configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // *Computer-Aided Design*. – 2019. – Vol. 41. – P. 150–158.
17. Assembly of low-stiffness parts through admittance control with adaptive stiffness / I. Yoon, M. Na, J. Song // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2024. – Vol. 86. – P. 102678–102689.
18. Robotic compliant grinding of curved parts based on a designed active force-controlled end-effector with optimized series elastic component / H. Chen, J. Yang // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2024. – Vol. 86. – P. 102646–102661.
19. Study on the control method of flatness of thin-walled parts milled from 7075 aluminum alloy based on ice-fixation / G. Jin, Q. Zhan, W. Li, Z. Li, H. Lin // *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*. – 2023. – Vol. 3. – P. 563–573.
20. An adaptive clamp system for deformation control of aerospace thin-walled parts / W. Zhou, F. Yu, J. Zhang, et. al. // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – Vol. 107. – P. 115–125.
21. Monitoring the evolution of dimensional accuracy and product properties in property-controlled forming processes / S. Stebner, J. Marchin, B. Arian, et. al. // *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100133–100148.
22. A Structure for the Control of Geometry and Properties of a Freeform Bending Process / A. Ismail, D. Maier, S. Stebner, et. al. // *IFAC-PapersOnLine*. – 2021. – Vol. 54. – P. 115–120.
23. Ultra-precision time-controlled grinding for flat mechanical parts with weak stiffness / Z. Sun, C. Guan, Y. Dai, et. al. // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2023. – Vol. 99. – P. 105–120.
24. Dynamic analysis of runout correction in milling / E. Cifuentec, H. Garcia, M. Villasenor, A. Idoipe // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2010. – Vol. 50. – P. 709–717.

25. Novel real-time monitoring method of depths of cut and runout for milling process utilizing FFT analysis of cutting torque / K. Lee, T. Hayasaka, E. Shamoto // Precision Engineering. – 2023. – Vol. 81. – P. 36–49.
26. Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools / P. Franco, M. Estrems, F. Faura // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2014. – Vol. 44. – P. 1555–1565.
27. Clamping force optimization for minimum deformation of workpiece by dynamic analysis of workpiece-control device system / S.Selvakumar, K. P. Arulshri, K. P. Padmanaban, K. S. Sasikumar // World Applied Sciences Journal. – 2020. – Vol. 17. – P. 541–561.
28. Cheng B. Analysis and synthesis of controlling dynamic stability in control process accounting for material removal effect : PhD Thesis. – Alabama Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2017.