

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«_____» _____ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
вала-шестерні 1.1550-21.01-02 шляхом оптимізації конструкції
верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки
на фрезерній операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Вадим ОТЕНКО

Керівник

Артем ЄВТУХОВ

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	7
1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі.	
Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання	7
2 Аналіз технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі.....	14
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт	20
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	21
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	28
1.6 Висновок	34
Розділ 2 Проектування перспективного технологічного процесу виготовлення деталі	36
2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки	36
2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки	38
2.3 Розрахунок розмірів заготовки	44
2.4 Обґрунтування вибору схеми базування та закріплення заготовки.....	47
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування	62
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, ріжучого та допоміжного інструменту, контрольно-вимірювального інструменту та пристроїв.....	64
2.7 Визначення режимів різання.....	65
2.8 Технічне нормування технологічних операцій.....	69
2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	74
2.10 Висновок	85
Розділ 3 Проектування та оптимізація конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки	87
3.1 Проектування верстатного пристрою	87
3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу	95

3.3 Висновок	105
Висновки	107
Перелік джерел посилань	108

ВСТУП

Актуальність теми. «Вал-шестерня 1.1550-21.01-02» входить до складу мультиплікатора 1.1550-89.11-00 СК приводу диска 1.1550-89.05-00 СК сушарки розпилюючої. Сушіння розпиленням широко застосовується в хімічній промисловості для зневоднення концентрованих розчинів речовин. Розпилюючі сушарки широко використовують для сушіння хлористого вінілу, хлориду магнію, глинозему, барвників, меламіну, триполіфосфату натрію, хлористого алюмінію, стрептоміцину та інших продуктів. Тож удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей сушарок є актуальним завданням, що потребує комплексних рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення (тема НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «вала-шестерні 1.1550-21.01-02» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на фрезерній з ЧПК операції.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття поверхонь деталі;

4) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на фрезерній з ЧПК операції;

5) виконати дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «вала-шестерні 1.1550-21.01-02», операція фрезерна з ЧПК.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції фрезерній з ЧПК, структура та параметри операції фрезерної з ЧПК.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель пропонованої конструкції верстатного пристрою розроблено в пакеті Компас-3D. Дослідження пропонованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу виконано в програмному комплексі скінчено-елементного аналізу ANSYS Workbench.

Наукова новизна: в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний та динамічний аналіз пропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «вала-шестерні» на операції фрезерній з ЧПК, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації операції в цілому.

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

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 2022 р.

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базової технології виготовлення «вала-шестерні 1.1550-21.01-02», запропоновані технологічні рішення, спрямовані на вдосконалення існуючого технологічного процесу обробки заготовки. Спроектвані конструкції верстатного та контрольного-вимірювального пристроїв. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції пропонованого верстатного пристрою та фрезерної з ЧПК операції в цілому.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 13 найменувань, 109 сторінок основного тексту, 25 рисунків та 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання

У цій роботі розглядається «вал-шестерня 1.1550-21.01-02» «мультиплікатора 1.1550-89.11-00 СК" «приводу диска 1.1550-89.05-00 СК» сушарки розпилюючої.

Сушіння розпиленням широко застосовується в хімічній промисловості для зневоднення концентрованих розчинів речовин, у результаті готовий продукт виходить у вигляді порошків або гранул. При цьому матеріал, що підлягає висушуванню, розпорошується в сушильній камері за допомогою спеціальних пристроїв. Внаслідок утворення крапель поверхня матеріалу різко зростає. При цьому сушіння відбувається миттєво.

Розпилюючі сушарки широко використовують для сушіння хлористого вінілу, хлориду магнію, глинозему, барвників, меламіну, триполіфосфату натрію, хлористого алюмінію, стрептоміцину та інших продуктів. У них можливе диспергування паст із вмістом 65% твердої фази при в'язкості до 100000 П (середній діаметр диспергованих частинок 4 мкм), крім того, при сушінні в розпилюючих сушарках можна отримати матеріал бажаної зернистості, об'ємної насипної ваги тощо.

Як сушильний агент зазвичай використовують гаряче повітря, димові та інертні гази. Під час сушіння розпиленням матеріал не перегрівается і температура на поверхні зазвичай знаходиться в межах 60–70°C. Це пояснюється тим, що при малих розмірах частинок (до 4–5 мкм) випаровування йде дуже швидко і матеріал не встигає нагрітися за той короткий час, доки частка стикається з гарячими газами, що мають температуру до 1200°C. Незважаючи на те, що час сушіння 15–30 с, поверхня матеріалу не пересушується.

Якість продукту в розпилюючій сушарці є високою, так як він не піддається ні окисленню, ні термічному розкладанню. Готовий продукт виходить однорідним, продуктивність установок є значною. Установки працюють у безперервному циклі, що дозволяє провести автоматизацію процесу. Застосування розпилюючих сушарок дає можливість ліквідувати процеси фільтрації та центрифугування, спростити обслуговування сушарок.

Схему сушильної установки можна представити у наступному вигляді. Повітря вентилятором подається до сушильної камери, проходячи нагрівання. У камері гаряче повітря зустрічається з краплями продукту, розпорошеного за допомогою спеціального пристрою і відсмоктується вентилятором, проходячи попередньо осадковий пристрій, і викидається в атмосферу. Як осаджувальні пристрої використовують циклони, рукавні фільтри або зрошувані скрубери. Розпилення здійснюється або за допомогою дисків, що обертаються, або за допомогою механічних або пневматичних форсунок. Слід зазначити, що розпилювальні пристрої є найважливішими деталями сушильних установок, ефективна робота яких багато в чому залежить від них [1].

У цій роботі розглядається розпилюючий пристрій у вигляді диска з периферійними, радіальними соплами. Розпилення продукту відбувається за рахунок відцентрової сили, шляхом подачі розчину з продуктом в диск, що швидко обертається. Під дією відцентрової сили розчин рухається на периферію диска та за допомогою сопел виштовхується в сушильну камеру. Швидкість обертання диска становить від 4000 до 24000 об/хв. Окружна швидкість диска вибирається до 200 м/сек, діаметр диска – 230 мм. При 16 змінних соплах діаметром 6–8 мм та окружної швидкості 120 м/с продуктивність установки становить 11000 кг/год. Виходячи з наведеного вище, основним елементом розпилювального пристрою можна вважати «привід диска 1.1550-89.05-00 СК», що забезпечує необхідну швидкість обертання диска.

У цьому приводі диск обертається від електродвигуна, перебуваючи на кінці спеціального шпинделя, і зафіксований за допомогою шайб і гайок. Шпиндель отримує обертання від електродвигуна за допомогою шестерного зачеплення, що

є спеціальним «мультиплікатором 1.1550-89.11-00 СК», що забезпечує збільшення частоти обертання шпинделя вчетверо. Шестерні постійно піддаються примусовому змащуванню маслом і забезпечують швидкість обертання диска до 18000 об/хв. Для запобігання нагріванню підшипників «мультиплікатора» та шпинделя диска в приводі передбачено охолодження корпусу за допомогою спеціального змійовика, куди в процесі роботи подається охолоджувальне середовище, зокрема вода.

«Мультиплікатор 1.1550-89.11-00 СК» являє собою корпус, в якому вертикально на радіальних шарикопідшипниках встановлений вал, що з'єднується за допомогою пружної муфти з валом електродвигуна приводу розпилюючого диска. На валу, в нижній частині, встановлено шевронне колесо, що входить у зачеплення з «валом-шестернею 1.1550-21.01-02». У свою чергу, «вал-шестерня» встановлюється в корпусі «мультиплікатора» вертикально на двох роликівих радіальних підшипниках кочення. З «вал-шестерні» обертання передається безпосередньо на шпиндель розпилюючого диска.

Таким чином, однією з основних деталей «мультиплікатора 1.1550-89.11-00 СК» є «вал-шестерня 1.1550-21.01-02», що розглядається в цій роботі, див. рисунок 1.1. Ця деталь являє собою ступінчастий вал з перепадами діаметрів від 27 до 47 мм, що при загальній довжині 306 мм забезпечує співвідношення довжини валу до його діаметрів в межах: $L/D = 7-11$. Таким чином, конструкція валу є недостатньо жорсткою. Однак вертикальне розташування валу в процесі роботи дозволяє підвищити його експлуатаційну надійність.

Загалом «вал-шестерня» є поєднанням виконавчих, базових і вільних поверхонь.

Діаметральні ступені валу збільшуються від його кінців до середини, за винятком виїмки в його середній частині діаметром 38 мм між зубчастими вінцями. Останні розташовуються в середній частині валу та мають шевронний напрямок зуба. Нормальний модуль зачеплення $m_n = 1,5$ мм. Число зубів $z = 23$. Кут нахилу зубів $\beta = 38^\circ 21' 47''$. Ступінь точності 7–С згідно з ГОСТ 1643-81.

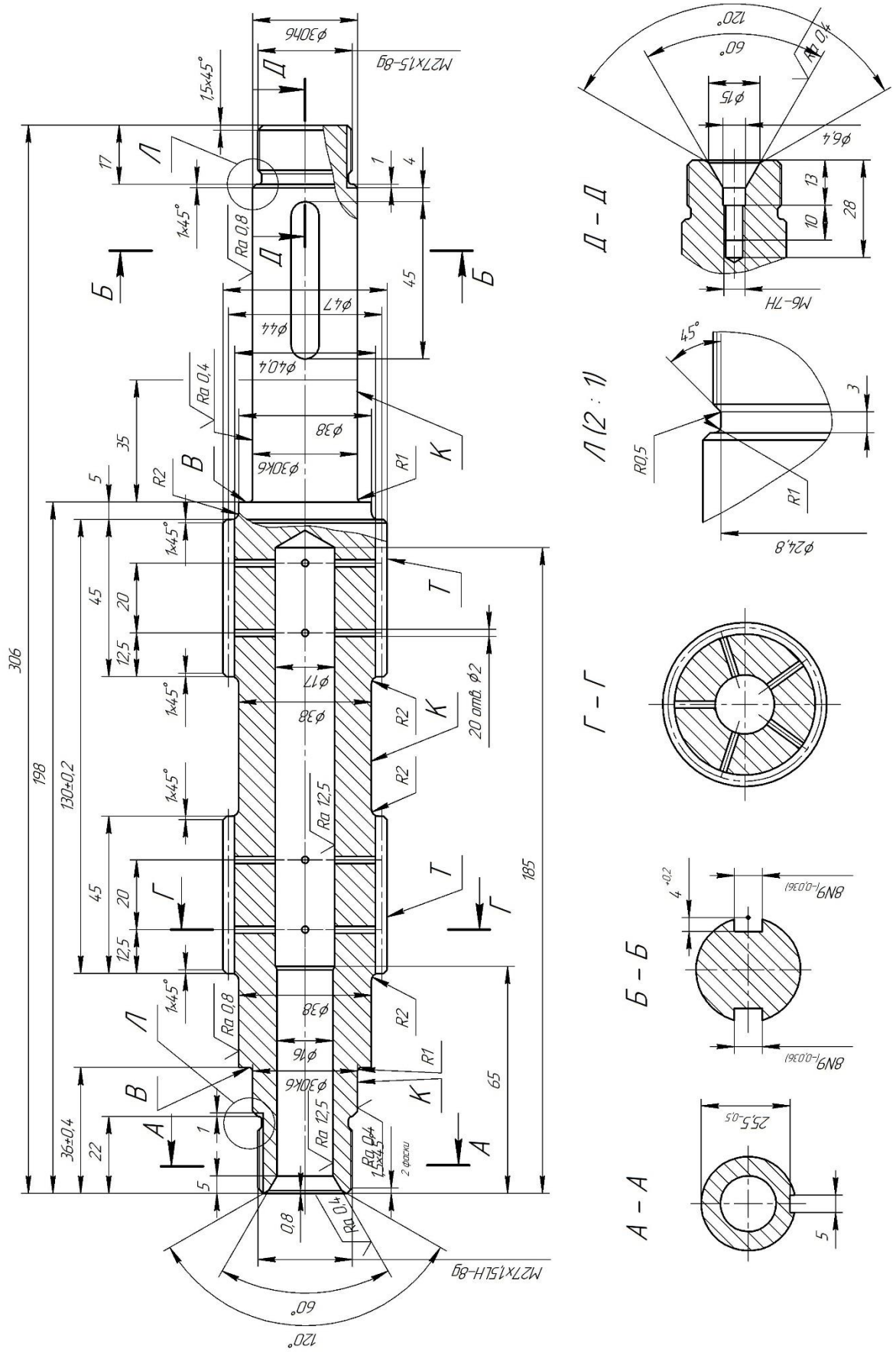


Рисунок 1.1 – Ескіз вала-шестерні

Саме за допомогою зубчастого зачеплення здійснюється основне службове призначення вузла – передача крутного моменту від електродвигуна до шпинделя розпилюючого диска, у зв'язку з чим зазначені поверхні можна класифікувати як виконавчі. В той же час, виїмка між зубчастими вінцями є вільною поверхнею.

Як основні конструкторські бази, що визначають положення «вал-шестерні» у вузлі «мультиплікатора», слугує комплект з двох циліндричних поверхонь: $\varnothing 30h6$, за якими вал, що розглядається, встановлюється в корпусі за допомогою двох роликів радіальних підшипників кочення. В результаті, зазначені поверхні реалізують подвійну напрямну базу, позбавляючи вал чотирьох ступенів свободи: двох поступальних і двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей X і Y. Як ще одну основну конструкторську базу деталі слід розглядати торець між циліндричними ступенями яким «вал-шестерня» спирається на нижній відбійник «мультиплікатора». Таким чином, зазначена поверхня є опорною базою, що позбавляє деталь ще одного (п'ятого) ступеня свободи: поступального переміщення вздовж осі Z (при вертикальному розташуванні деталі та осі Z. Вакантним залишається обертання деталі навколо власної осі Z.

По кінцях «вал-шестерні» виконані різьбові поверхні M27×1,5LN-8g та M27×1,5-8g. У верхній частині «вал-шестерні» за допомогою різьблення M27×1,5LN-8g встановлюється верхній відбійник «мультиплікатора», що фіксується від самовідгвинчування спеціальною шайбою 27.02.В ст.3 кп.019 ГОСТ 11872-80, лапка якої загинається в паз шириною 5 мм на різьбовій частині деталі. У нижній частині деталі за різьбленням M27×1,5-8g встановлюється спеціальна гайка, що фіксує від поздовжніх зсувів «обойму зубчасту». Остання встановлюється на циліндричній поверхні «вал-шестерні» 30h6 і фіксується від провороту за допомогою двох шпонок, встановлених у пазах шириною 8N9, довжиною 45 мм і глибиною 4 мм. Саме через «обойму зубчасту» обертання з «вал-шестерні» мультиплікатора передається на «муфту зубчасту» і далі на шпиндель розпилюючого диска сушильної установки. У свою чергу гайка фіксується від самовідгвинчування також спеціальною шайбою 27.02.В ст.3 кп.019 ГОСТ 11872-80 з лапкою, що загинається в паз шириною 5 мм на різьбовій

частині деталі. Крім того, між нижнім роликівим радіальним підшипником на $\varnothing 30k6$ та циліндричним ступенем $\varnothing 38$ на «вал-шестерні» встановлено нижній відбійник. Таким чином, всі вищезгадані поверхні є допоміжними конструкторськими базами «вал-шестерні».

Між різьбовими та циліндричними поверхнями деталі M27/ $\varnothing 30k6$ та M27/ $\varnothing 30h6$ виконані зарізьбові канавки: $\varnothing 24,8 \times 3$; R0,5; R1,0; $\angle 45^\circ$ для виходу різьбового різця при нарізанні різьблення M27 $\times 1,5$ LH-8g та M27 $\times 1,5$ -8g.

У верхній частині «вал-шестерні» з торця виконано центральний ступінчастий отвір $\varnothing 16/\varnothing 17$ загальною глибиною 185 мм і двадцять з'єднаних з ним радіальних отворів $\varnothing 2$ (4 ряди по 5 отворів у кожному по колу зубчастих вінців). Останні отвори розташовані по два ряди на кожному зубчастому вінці через 20 мм один від одного та на відстані 12,5 мм від верхніх торців зубчастих вінців. Всі вищевказані отвори призначені для підведення до зубчастих вінців шевронного зачеплення мастила, для чого в центральний отвір «вал-шестерні» вводиться спеціальний патрубков, що підводить мастило.

Для зниження концентрації напружень у місцях переходів циліндричних поверхонь «вал-шестерні» між ними виконані радіусні переходи: R0,5; R1,0; R2,0. Крім того, на зовнішніх поверхнях всіх циліндричних щаблів деталі виконані фаски: $1,5 \times 45^\circ$ та $1 \times 45^\circ$, які, до того ж, полегшують складання останньої з іншими деталями.

Для підвищення точності механічної обробки «вал-шестерні», за рахунок усунення похибки базування, зручності та простоти закріплення, на деталі у верхній частині по центральному отвору з $\varnothing 16$ виконано внутрішній конус з кутом 60° та шириною робочої поверхні 5 мм. Для запобігання робочої поверхні конуса від ударів, задирок та інших пошкоджень, перед ним на тому ж внутрішньому діаметрі виконано запобіжний конус шириною 0,8 мм та з кутом 120° . У свою чергу, в нижній частині деталі по її осі передбачено центровий отвір $\varnothing 6,4$ з робочим конусом під кутом 60° , діаметром 15 мм і глибиною 13 мм. Крім того, в отворі на довжині 10 мм нарізано різьблення M6-7H і зовні виконано запобіжний

конус з кутом 120° . Загальна глибина центрального отвору – 28 мм. Таким чином, зазначені поверхні отворів є технологічними базами, які використовують під час механічного оброблення заготовки. Різьбова частина центрального отвору призначена для установки в нього «рим-болта», що дозволить підвішувати «вал-шестерню» у вертикальному положенні під час його азотації та термооброблення.

Інші поверхні «вал-шестерні» є вільними та визначають його зовнішню конфігурацію та габаритні розміри.

Розглянута деталь в процесі експлуатації працює в порівняно важких умовах циклічних, знакозмінних навантажень, передаючи значні крутні моменти від електродвигуна приводу сушильної установки до шпинделя розпилюючого диска. Виходячи з умов роботи «мультиплікатора» приводу диска, крутний момент, на «вал-шестерні» передається від поверхні зубчастого зачеплення $\varnothing 47$, розташованої в 63 мм від верхнього торця деталі, до циліндричної поверхні $\varnothing 30h6$, розташованої в 17 мм від нижнього торця вала. В результаті вал працює на кручення практично по всій своїй довжині, а саме – на довжині 226 мм. При цьому частота обертання валу досягає 18000 об/хв., а максимальна маса частин, що обертаються, досягає 50 кг. У зв'язку з цим, в моменти пуску і зупинки розпилюючої установки, при подачі продукту, «вал-шестерня» сприймає крім розтягнення ще й великі інерційні крутильні навантаження.

У процесі експлуатації «вал-шестерня» може піддаватися і незначним вібраційним навантаженням. Пов'язано це з тим, що під час обертання шпинделя при подачі продукту, що переміщається від центру на периферію розпилюючого диска, по радіальним каналам – соплам останнього, виникають відцентрові сили, що приводять, у разі невірноваженості мас обертових частин, особливо в моменти зміни швидкості обертання (зупинках), до виникнення вібрацій, які від шпинделя через «муфту зубчасту» і «обойму зубчасту» передаються на «вал-шестерню».

У процесі експлуатації необхідно стежити за тиском масла, що підводиться до шестерень, що обертаються, «мультиплікатора». Періодично слід перевіряти нагрівання корпусу підшипників, яке не повинно перевищувати 80°C .

Посадкові, як й інші поверхні «вал-шестірні 1.1550-21.01-02» не повинні мати подряпин, задирки, вм'ятини, вибоїни, слідів значного зношування та корозії.

2 Аналіз технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі

Технічні вимоги на виготовлення деталі характеризують основні параметри якості, що перевіряють під час остаточного контролю або випробуванні. Перед конструктором стоїть відповідальне завдання – визначити номенклатуру технічних вимог та їх допустимі відхилення. Він виділяє ті параметри, які достатньою мірою характеризують їх якість, визначає граничні значення цих параметрів. Тим самим конструктор ставить перед виробництвом технологічні завдання, які мають гарантуватись усім ходом виробничого процесу.

Виходячи із службового призначення деталі «вал-шестерня 1.1550-21.01-02» можна відзначити, що остання є одним з основних елементів приводу розпилюючого диска сушильної установки, що працює в порівняно складних умовах знакозмінних, циклічних навантажень, і до неї пред'являються досить жорсткі технічні вимоги щодо якості виготовлення поверхонь. Зокрема, «вал-шестерня» виготовляється із високоякісної високолегованої сталі 38Х2МЮА ГОСТ 5632-72. Зазначена сталь використовується для виготовлення особливо відповідальних деталей з високою твердістю та зносостійкістю при незначних деформаціях, що працюють в умовах складнонапруженого стану або динамічних впливів. Вибір матеріалу для цієї деталі цілком обґрунтований, оскільки він застосовується для деталей із загальною підвищеною міцністю, що працюють при високих швидкостях та середніх питомих тисках, зокрема, для виготовлення шпинделів, валів, зубчастих коліс та інших подібних деталей, що працюють у вузлах з підшипниками кочення [2].

Це сталь із вмістом вуглецю – до 0,38%, близько 2% хрому; 1,5% молібдену й близько 1,5% алюмінію. Твердість сталі за Брінеллем (НВ) в межах (235–277) кгс/мм², межа міцності $\sigma_B = 75$ кгс/мм², межа текучості $\sigma_T = 60$ кгс/мм²,

відносне подовження $\delta_5 = 13\%$, відносне звуження $\psi = 40\%$, ударна в'язкість $\alpha_n = 5,0 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$.

З огляду на досить навантажені умови експлуатації деталі обґрунтовано висувається до неї вимога: поковка Гр. III НВ223...262 ГОСТ 8479-70. Відповідно до цієї вимоги поковка деталі має піддаватися наступним видам випробувань: визначення твердості, з умовами комплектування партії – поковки однієї марки сталі, що пройшли термічну обробку за однаковим режимом. При цьому, як характеристики придатності визначають твердість поковок, яка повинна бути в межах 223–262 НВ. Тут слід зазначити, що згідно з ГОСТ 8479-70 для III групи поковок усі вони на 100% повинні піддаватися зазначеним випробуванням на перевірку твердості. Така вимога цілком обґрунтована, оскільки «вал-шестерня», працюючи у порівняно складних умовах знакозмінних, циклічних навантажень, визначає працездатність та експлуатаційну надійність всього вузла «мультиплікатора» приводу диска сушильної установки. Вихід її з ладу спричиняє поломку всього приводу сушильної установки.

Робоче креслення «вал-шестерні 1.1550-21.01-02» дає повне уявлення про конфігурацію деталі, розміри всіх її поверхонь і точність їх виготовлення, шорсткість, точність взаємного розташування поверхонь.

Найбільш точно виготовляються поверхні «вал-шестерні» та IT6: $\varnothing 30k6$ та $\varnothing 30h6$. Як уже зазначалося вище, див. п. 1.1 цієї пояснювальної записки, «вал-шестерня» встановлюється всередині корпусу «мультиплікатора» приводу розпилювального диска сушильної установки в роликівих підшипниках кочення. Внутрішні кільця підшипників встановлюються на «вал-шестерні» по перехідній посадці на $30k6$, що є загальноприйнятою посадкою для підшипників кочення [2]. Зазначені посадки забезпечують надійне центрування «вал-шестерні» в корпусі «мультиплікатора», забезпечуючи мінімально можливе відхилення (ексцентриситет) осей деталей, що несуть зубчасті вінці. Ці поверхні є основними конструкторськими базами і такі високі вимоги до точності їх розмірів (за IT6), шорсткості поверхонь у межах $0,4 \text{ мкм Ra}$, радіального биття в межах $0,01 \text{ мм}$, що відповідає 5 ступеню точності та СТ РЕВ 636-77, цілком обґрунтовані. Зниження

точності за радіальним биттям, навіть до 0,02 мм, при частоті обертання деталі близько 18000 об/хв. може призвести до виникнення підвищених інерційних навантажень, вібрацій та розбивання посадкових поверхонь «вал-шестерні» і, отже, виходу з ладу всього «мультиплікатора». А ось шорсткість зазначених поверхонь дещо завищено. Тут цілком достатньо без шкоди для службового призначення деталі шорсткості в межах (0,8–1,6) мкм Ra.

По IT6 виготовляється і поверхня $\varnothing 30h6$, що служить допоміжною конструкторською базою для установки на «вал-шестерні» «обойми зубчастої» приводу шпинделя, на якому і кріпиться розпилюючий диск сушильної установки. При цьому забезпечується посадка з мінімальним «нульовим» зазором $\varnothing 30H7/h6$ що цілком обґрунтовано, так як зазначений мінімальний зазор визначає надійне високоточне центрування і водночас розбірне з'єднання сполучених деталей. При такій посадці зводиться до мінімуму відхилення від співвісності осей «вал-шестерні» і сполученої «обойми зубчастої», що і забезпечує надійні умови експлуатації внаслідок досить високого ступеня центрування великих мас деталей, що швидко обертаються. Відповідає даній точності розміру та шорсткість зазначеної поверхні в межах 0,8 мкм за критерієм Ra.

Обґрунтовано жорсткі вимоги пред'являють і до шевронних вінців «вал-шестерні»:

- ступінь точності: 7-С ГОСТ 1643-81;
- допуск на радіальне биття зубчастого вінця: 0,036 мм;
- допуск на колювання довжини загальної нормалі: 0,022 мм;
- граничне відхилення окружного кроку: $\pm 0,014$;
- пляма контакту за висотою 50%;
- пляма – пляма контакту за довжиною 70%.

Високий ступінь точності зубчастого вінця, допуски радіального биття і плями контакту забезпечують плавність роботи шевронного зачеплення, низьке зношування по бокових поверхнях зубів, відсутність надмірних вібрацій і, отже, високу експлуатаційну надійність зубчастого зачеплення, що дуже важливо під час обертання «вал-шестерні» з частотою до 18000 об/хв.

Обґрунтовано задано і допуск на торцеве биття між циліндричними ступенями $\varnothing 38/\varnothing 30k6$, що дорівнює 0,01 мм, що відповідає 5-му ступеню точності за СТ РЕВ 636-77. Саме з цього торця «вал-шестерня» спирається на нижній відбійник і торець роликового підшипника кочення «мультиплікатора», фіксуючись в осьовому положенні при вертикальному положенні. В результаті до мінімуму зводяться дисбаланси обертових мас, що мають великі відцентрові сили та інерційні навантаження, внаслідок виникнення осьових вібрацій, що призводить до підвищеного зношення поверхонь сполучених деталей і виходу їх з ладу. З цієї точки зору дещо завищена шорсткість зазначеної поверхні – 3,2 мкм Ra. Тут слід знизити шорсткість до (1,6–0,8) мкм за критерієм Ra.

З цих міркувань цілком обґрунтовано задані і вимогу радіального биття поверхні Т щодо посадкових поверхонь К, див. малюнок 1.1, не більше 0,01 мм (5-а ступінь точності згідно з СТ РЕВ 636-77). Вказана вимога визначає допустимі радіальні вібрації «вал-шестірні» та гарантує високу експлуатаційну надійність роботи зубчастого вінця, запобігає розбиванню посадкових поверхонь $\varnothing 30k6$ у підшипниках кочення. Крім того, обмежується передача радіальних коливань через «обойму зубчасту» на шпindelь диска, що сприятливо позначається на працездатності останнього.

Приєднувані до «вал-шестерні» «верхній відбійник» і «обойма зубчаста» встановлюються на вал і фіксуються за допомогою спеціальних гайок по різьбових частинах деталі: M27×1,5-8g і M27×1,5LN-8g . Крок 1,5 мм і ліве різьблення різьбових з'єднань M27 задані обґрунтовано, так як такий дрібний крок при великих діаметрах різьблення та їх напрямком забезпечує досить надійні умови проти самовідгвинчування приєднаних деталей. А ось 8-го ступеня точності, на наш погляд, недостатньо. Тут, враховуючи екстремальні умови роботи «вал-шестірні» за частотою обертання, незважаючи на нерухомість різьбового з'єднання, слід підвищити точність до 6-го ступеня. Щодо шорсткості різьбових поверхонь слід зазначити, що остання виконується по 3,2 мкм Ra, чого цілком достатньо для нерухомого, і в той же час розбірного з'єднання. Враховуючи відповідальність зазначених з'єднань, їхню велику вагу та вимоги підвищеної

експлуатаційної надійності, на різьбових поверхнях деталі виконані пази для загинання лапок стопорних шайб, що оберігають від самовідгвинчування зазначені гайки. Ширина останніх виконується з точністю по IT14, чого цілком достатньо.

Обґрунтовано задано і точність циліндричних ступенів «вал-шестерні» в його середній частині IT14 – $\varnothing 38$. Зазначені поверхні – вільні, і такої точності цілком достатньо. А ось шорсткість цих поверхонь коливається від 0,8 мкм до 3,2 мкм Ra. Тут, враховуючи велику частоту обертання деталі, слід знизити шорсткість всіх вільних поверхонь до 0,8 мкм Ra, оскільки в процесі роботи навколо поверхонь з великою шорсткістю виникають турбулентні потоки повітря, що призводять до виникнення небажаних осьових і радіальних вібрацій деталі.

Для передачі крутних моментів від «вал-шестерні» до «обойми зубчастої» на циліндричній поверхні 30h6 виконані два шпонкові пази шириною 8N9. Це забезпечує нормальний тип шпонкового з'єднання по перехідній посадці, що задане цілком обґрунтовано. Враховуючи відповідальність з'єднань, що сполучаються, і неприпустимість виникнення бічних зазорів, що призводять в моменти пуску та зупинки приводу диска до «розбивки» шпонкових з'єднань і виходу їх з ладу, до ширини шпонкового паза (його бічних стінок) можна було б пред'явити і більш жорсткі вимоги, зокрема, за відхиленням їх від симетричності щодо осей зовнішніх діаметрів. Шорсткість бічних поверхонь пазів та їх основи – 3,2 мкм Ra. Глибина аналізованих пазів визначається розміром $4^{+0,2}$ мм, що з допуском 0,2 мм відповідає IT13–IT14. Тут слід зазначити, що допуски на розмір, що визначає глибину пазів, відповідає стандарту. Найближчий стандартний допуск на вказаний розмір IT13 дорівнює 0,18 мм, а по IT14 – 0,3 мм. Такі недотримання стандарту відзначаються і деяких інших розмірів деталі. Зокрема, на лінійний розмір $36 \pm 0,4$ мм (допуск 0,8 мм) найближчий стандартний допуск дорівнює 0,62 мм згідно з IT14. Таке недотримання стандартних допусків, з погляду є неправомірним.

Враховуючи високу твердість робочих поверхонь деталі, необхідність їх підвищеної зносостійкості, обґрунтовано задано таку вимогу: азотувати, глибина шару $\geq 0,3$ мм, твердість $Hv \geq 700$.

Для торців «вал-шестерні» задані: центровий отвір та центрові фаски. Фаска виконується з робочим конусом 60° , шорсткістю $0,4$ мкм Ra та запобіжним конусом 120° . Отвір виконується з діаметром $6,4$ мм, робочим конусом 60° з $\varnothing 15$, шорсткістю $0,4$ мкм Ra, запобіжним конусом 120° та різьбовим отвором М6-7Н. Такі отвори необхідні для базування та закріплення заготовлі «вал-шестерні» у процесі її механічного оброблення. При цьому центровий отвір з різьбленням у нижньому торці валу необхідний для його підвішування під час азотування та термічного оброблення, що повністю відповідає умовам його подальшої експлуатації внаслідок вертикального розташування в «мультиплікаторі».

На ступенях «вал-шестерні» виконуються фаски під кутом 45° та радіусні переходи. Це цілком обґрунтовано, тому що місця зміни діаметральних розмірів є концентраторами напружень, внаслідок чого, за наявності великих знакозмінних, циклічних навантажень у них можуть розвиватися втомні тріщини, що призводять до поломки валу та виходу з ладу всього приводу.

На «вал-шестерні» є дві зарізьбові канавки шириною 3 мм, які служать для виходу інструменту під час нарізання різьблення. Разом з тим, на «вал-шестерні» по поверхнях $\varnothing 30k6$ і $\varnothing 38$ не передбачені канавки для виходу шліфувального кола під час їх оброблення шліфуванням. Це необґрунтовано і не дозволить забезпечити необхідну розмірну точність зазначених поверхонь в кінці ступенів, що шліфуються.

Інші технічні вимоги, переважно, задані правильно. На кресленні достатньо видів та розрізів для однозначного розуміння конструкції деталі. Розглянута деталь виконує основну функцію в роботі вузла приводу диска, а значить такі жорсткі вимоги щодо точності розмірів, точності взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості цілком обґрунтовані та відповідають рівню виробництва виробів хімічного машинобудування.

1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Під час аналізу та проектування оптимального технологічного процесу виготовлення деталі необхідно обов'язково враховувати тип виробництва виробів. Згідно з ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується «коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, що показує відношення всіх різних операцій, що виконуються підрозділом впродовж місяця, до робочих місць». За попередніми розрахунками коефіцієнт закріплення операцій, враховуючи заводські норми штучно-калькуляційного часу за операціями механічного оброблення заготовки «вала-шестерні» та річний обсяг випуску виробів $N_p = 400$ шт. становить 34,24, що відповідає дрібносерійному типу виробництва [3].

При дрібносерійному типі виробництва вироби виготовляються партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією та типорозмірів виробів, що запускаються у виробництво одночасно. Для даного типу виробництва характерно різноманітне технологічне обладнання та оснастка: верстати універсальні та з числовим програмним керуванням, оснастка універсальна, стандартизована з механізованим та ручним приводом. Обладнання розташовується, переважно, за групами верстатів: токарних, фрезерних, розточувальних, шліфувальних, зубообробних тощо. Середня кваліфікація основних виробничих робітників при цьому зазвичай вища, ніж у масовому виробництві, але нижча, ніж у одиничному та становить 3, 4 та 5 розряди. Для допоміжних робітників – це також розряди 3–5.

Серійне виробництво є значно економнішим, ніж одиничне, оскільки краще використання спеціального обладнання та оснащення (за рахунок великих партій оброблюваних деталей) дозволяє зменшити собівартість продукції.

Для умов дрібносерійного виробництва вибираємо групову форму організації робіт, що характеризується формуванням «предметно-замкненої» ділянки, орієнтованої на виготовлення виробів, близьких за своїми конструкторськими та технологічними ознаками.

Партію запуску виробів визначимо за спрощеною формулою згідно з рекомендаціями [4]:

$$n = (N_p \cdot a) / 259,$$

де $a = 24$ – періодичність запуску, в днях [4];

$$n = (400 \cdot 24) / 259 = 37,1 \text{ шт.}$$

Беремо $n = 38$ шт.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Чим менша трудомісткість і собівартість виготовлення виробу, тим більше воно є технологічним. В цілому аналіз технологічності конструкції деталі спрямований на підвищення продуктивності праці, зниження витрат та скорочення часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт виробу при забезпеченні необхідної якості виробу, дотриманні безпечних умов праці та екології виробництва.

Аналіз матеріалу аналізованої заготовки «вал-шестерні 1.1550-21.01-02» показує, що використання для її виготовлення високоякісної високолегованої сталі 38Х2МЮА ГОСТ 5632-72 цілком обґрунтовано і пояснюється високими вимогами міцності, що пред'являються до поверхонь деталі в процесі. для виготовлення особливо відповідальних деталей з високою твердістю та зносостійкістю при незначних деформаціях, що працюють в умовах складнонапруженого стану або зазнають динамічних впливів.

Хімічний склад сталі 38Х2МЮА ГОСТ 5632-72, її структура та фізико-механічні властивості, див. п. 1.2 цієї роботи, продиктовані умовами експлуатації «вал-шестерні», що працює в умовах складнонапруженого стану циклічних, знакозмінних навантажень, що піддаються динамічним впливам. Деталь працює у

навантаженому стані при передачі крутних моментів, обертаючись з частотою до 18000 об/хв. У цих умовах необхідно мати матеріал з високим тимчасовим опором розриву і досить в'язкою серцевиною, що дозволяє працювати на розтягування-стискання з крученням. До того ж, поверхні деталі, особливо зубчастого зачеплення повинні мати високу твердість і зносостійкість. Така сталь порівняно важко оброблювана, у зв'язку з чим вона недостатньо технологічна для механічного оброблення як лезовим та і абразивним інструментом. Однак при використанні твердих двокарбідних сплавів типу ТК (Т5К10; Т15К6) можна отримати необхідну точність і шорсткість поверхонь.

До заготовки пред'являють порівняно жорсткі вимоги щодо групи випробувань: поковка Гр. III НВ223...262 ГОСТ 8479-70 [5], що цілком обґрунтовано досить навантаженими умовами її експлуатації, але не технологічно з точки зору її виготовлення, оскільки потребує додаткових трудовитрат на організацію випробувань заготівлі, що ускладнює технологічний процес механічної обробки. В результаті знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість.

Що стосується методу отримання заготівлі «вал-шестерні» – поковки вільним куванням на молотах з прокату, в умовах дрібносерійного виробництва забезпечується вигідний розкрій матеріалу з досить невисокою собівартістю одержання заготовки, що є технологічним фактором. Звичайно, набагато простіше виготовляти такі заготовки з прокату, проте, при цьому є велика перевитрата порівняно дорогого за вартістю матеріалу. Тому це питання залишається відкритим до обґрунтування вибору методу отримання заготовки, який ми зробимо в подальшому.

За геометричною формою поверхонь «вал-шестерні» її конструкція досить проста та технологічна. Максимальний діаметр деталі в середній частині під зубчасті вінці шестерень – $\varnothing 47$, а мінімальний – по краях – $\varnothing 27$. Таким чином, деталь виконується з невеликими по діаметру перепадами зовнішніх щаблів, що збільшуються від країв до її центру. При цьому відсутні різкі переходи між циліндричними ступенями валу, до того ж між ними виконуються фаски та

радіусні переходи, що усуває концентратори напружень, підвищує його експлуатаційну надійність і означає технологічність, див. рисунок 1.1.

Простановлення розмірів «вал-шестірні» виконана чітко, дозволяє поєднати технологічні та вимірювальні основи і тим самим, усунувши похибки базування, підвищити точність механічної обробки поверхонь валу.

Рациональна конфігурація поверхонь деталі, їх якість дозволяє в процесі як отримання заготовки, так і під час механічного оброблення використовувати високопродуктивне обладнання та інструмент, проводити оброблення ряду поверхонь напрохід.

Разом з тим, у конфігурації валу є і ряд нетехнологічних елементів. Насамперед, це стосується його довжини. Відношення довжини валу до його діаметральних розмірів коливається в таких межах: $l/d = 7-11$. Таким чином, деталь є недостатньо жорсткою, що не дозволить використовувати під час її механічного оброблення високопродуктивне багаторіздцеве обладнання, підвищені режими різання. Через це знижується продуктивність обробки, підвищується її собівартість.

До нетехнологічних конструктивних елементів деталі слід віднести обробку в її лівій частині глибокого, центрального, глухого, ступінчастого отвору, діаметральні розміри якого зростають з віддаленням від торця деталі, а відношення довжини до діаметра знаходиться в межах: $l/d = 11-12$. Це вимагатиме застосування або спеціального інструменту, або спеціального налагодження обладнання, що знизить продуктивність та підвищить собівартість обробки.

В умовах дрібносерійного виробництва нетехнологічним слід вважати й обробку метричних різьблень з дрібним кроком та різним напрямком витків різьблення: $M27 \times 1,5-8g$ та $M27 \times 1,5LH-8g$, які нарізають малопродуктивним багатопрхідним методом за допомогою різьбового різця. До того ж, при ширині зарізьбової канавки 3 мм необхідно додатково занижувати швидкість поздовжньої подачі різьбового різця для запобігання інструменту від поломок внаслідок його удару об наступний ступінь після виходу за різьбову частину деталі.

З цих умов застосування малопродуктивних методів обробки,

нетехнологічним слід вважати і обробку закритих з одного боку пазів шириною 5 мм на різьбових ступенях заготовки, а також закритих з обох сторін шпонкових пазів шириною 8N9. Пов'язано це з тим, що, з одного боку, для їх обробки не можна скористатися високопродуктивними дисковими фрезами, у зв'язку з чим використовуємо фрези, що встановлюються в шпиндель фрезерного верстата. При цьому обробка здійснюється методом врізання на всю глибину паза з подальшою однопрохідною обробкою на поздовжній подачі та застосуванням занижених режимів різання, оскільки застосування спеціальних різьбофрезерних верстатів нерентабельне в умовах дрібносерійного виробництва. В цьому випадку можливе використання лише шпонкових фрез, що дозволяють застосовувати відповідну подачу для врізання фрези на глибину паза. З іншого боку, нетехнологічним є і те, що обробка пазів шириною 5 мм здійснюється на різьбових частинах шийок, що може призвести до зниження точності різьблень внаслідок спотворення їх витків при фрезеруванні і потребує додаткового малопродуктивного, ручного слюсарного калібрування різьблення. У результаті це також знижує продуктивність обробки, зростає її собівартість.

Знижує технологічність конструкції деталі і недостатня уніфікація конструктивних елементів деталі, що часто повторюються, таких як фасок, радіусів заокруглень. Зокрема, з десяти фасок більше половини мають різні розміри: $1 \times 45^\circ$; $1,1 \times 45^\circ$; $1,5 \times 45^\circ$. З двох зарізьбових канавок з розмірами: ширина 3 мм, радіуси заокруглень R0,5 і R1, кут фаски 45° , останні виконуються в «дзеркальному відображенні», що вимагатиме або виготовлення двох спеціальних канавкових різців, або додаткової переустановки заготовки. Велика різноманітність конструктивних форм спостерігається і при забезпеченні радіусних переходів між циліндричними шаблями деталі: R0,5; R1; R2; що також вимагатиме виготовлення канавкових і підрізних різців з такою ж різноманітністю радіусів при вершині різця. У результаті зростають витрати на виготовлення різальних інструментів, ускладнюються операційні налагодження із залученням більшої кількості різців, зростає кваліфікація робітників та собівартість обробки.

Нетехнологічним є виготовлення та «виїмка» в середній частині деталі між

двома зубчастими вінцями і перепадом діаметрів від $\varnothing 47$ до $\varnothing 38$. Її виготовлення не можливе «напрохід», а, отже, знадобиться багатопрохідна обробка даного ступеня підрізними різцями з переустановкою заготовки, або застосуванням правого та лівого підрізних різців та зміни напрямку їх подачі. Ускладнює механічне оброблення та свердління двадцяти радіальних отворів між зубцями шестерень. При цьому необхідно застосовувати малопродуктивну, ручну розмітку цих отворів та їх свердління на радіально-свердлильному верстаті. У результаті, знову ж таки знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість.

Знижує технологічність конструкції деталі та зустрічний напрямок кутів нахилу зубчастих вінців, що вимагатиме або різних черв'ячних фрез (з протилежними нахилами витків їх зубів), або переустановки заготовки. Все це знижує точність обробки зубчастих вінців, а за рахунок збільшення допоміжного часу на переустановку заготовки знижує продуктивність обробки, підвищує її собівартість.

Підвищує трудомісткість механічної обробки заготовки і висока точність розмірів деяких її поверхонь, зокрема, $\varnothing 30h6$, $\varnothing 30k6$, низька шорсткість у межах (0,8–0,4) мкм Ra на циліндричних поверхнях заготовки $\varnothing 30h6$, $\varnothing 30k6$, $\varnothing 38$ а також на робочих конусах центрових отворів, високі вимоги щодо точності взаємного розташування поверхонь, такі як радіальне биття поверхонь $\varnothing 30k6$, $\varnothing 47$ та торцеві биття поверхонь В, див. рисунок 1.1 щодо загальної осі деталі (її центрів) у межах 0,01 мм. Для забезпечення зазначених вимог під час механічного оброблення необхідно використовувати додаткові чистові етапи, що вимагатиме застосування більш точного обладнання, технологічного оснащення, а в результаті зростають витрати праці, час оброблення, що знижує продуктивність обробки та підвищує її собівартість.

В іншому, за своєю конфігурацією, деталь є технологічною і труднощів під час її механічного оброблення не передбачається.

На кресленні деталі використовується комбінований метод проставлення розмірів, що забезпечує зручність у їх вимірюванні під час механічного оброблення. У загальному випадку розмірні ланцюги забезпечують однозначне

визначення всіх конструктивних елементів деталі.

Враховуючи високу точність розмірів ряду оброблюваних поверхонь і точність їх взаємного розташування, під час механічного оброблення слід максимально дотримуватися принципів суміщення і сталості баз, а також намагатися обробляти максимально можливу кількість поверхонь з однієї установки.

З точки зору складання необхідно відзначити, що деталь знаходиться у вузлі мультиплікатора приводу диску розпилувального пристрою сушильної установки і може легко зніматися та встановлюватися під час експлуатації (ремонт).

Тепер виконаємо кількісне оцінювання технологічності конструкції «вал-шестерні» згідно за ГОСТ 14.205-83.

Рівень технологічності деталі за точністю оброблюваних поверхонь визначають за формулою [2]:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{cp}},$$

де T_{cp} – середній квалітет розмірної точності оброблюваних поверхонь деталі.

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де T_i – квалітет розмірної точності;

n_i – кількість розмірів з T_i квалітетом точності.

$$T_{cp} = \frac{6 \cdot 3 + 7 \cdot 3 + 8 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 1 + 13 \cdot 3 + 14 \cdot 53}{67} \approx 12,96.$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{12,96} \approx 0,92 > [0,8].$$

Коефіцієнт точності розмірів перевищує нормативний показник 0,8, тобто. деталь можна вважати технологічною за цією ознакою [4].

Рівень технологічності деталі за шорсткістю оброблених поверхонь визначимо за формулою

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}},$$

де $Ш_{cp}$ – середній рівень шорсткості оброблених поверхонь деталі.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де $Ш_i$ – рівень шорсткості поверхні;

n_i – кількість поверхонь з $Ш_i$ рівнем шорсткості.

$$Ш_{cp} = \frac{0,4 \cdot 4 + 0,8 \cdot 2 + 3,2 \cdot 59 + 12,5 \cdot 2}{67} \approx 3,24.$$

В результаті маємо

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{3,24} \approx 0,69 < [0,8].$$

Коефіцієнт шорсткості поверхонь не перевищує нормативний показник 0,8, тобто деталь можна вважати нетехнологічною за цією ознакою.

Рівень технологічності конструкції деталі за використанням матеріалу визначимо за формулою

$$K_{в.м} = \frac{M_{\partial}}{M_3} = \frac{4,1}{8,3} \approx 0,49,$$

де $M_з = 4,1$ кг – маса заготовки (за базовим варіантом);

$M_д = 8,3$ кг – маса деталі.

Таким чином, в результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що в цілому деталь «вал-шестерня 1.1550-21.01-02» є технологічною, як під час виготовлення заготовки, так і під час її подальшого механічного оброблення та складання.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для проєктування оптимального варіанту маршруту механічного оброблення заготовки виконаємо аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення «вал-шестерні 1.1550-21.01-02». З цією метою складемо таблицю 1.1, в якій зазначимо найменування та короткий зміст операцій базового технологічного процесу, відзначимо особливості базування заготовки та використовуване металорізальне обладнання.

Аналіз таблиці 1.1 показує, що «вал-шестерня» виготовляється на базовому підприємстві з використанням 19 операцій. При цьому, у технологічній документації використовується маршрутно-операційний опис технологічного процесу з довільною формою опису переходів (без дотримання правил системи технологічної документації) та операційних ескізів, без вказівки режимів різання та моделей металорізального обладнання. Крім того, оформлення маршрутних карток не відповідає встановленим стандартам, що знижує рівень технологічного забезпечення механічного оброблення заготовки, а значить і якість виробництва зазначених деталей. Неправильно вказується найменування операцій – не враховуються найменування металорізального устаткування. У технологічному процесі не вказуються міжопераційні розміри заготовки, не вказуються припуски, що знімаються, глибина різання, відсутні допуски на оброблювані розміри, не вказується базування і технологічне оснащення. Більше того, у технологічному процесі взагалі не вказано прорізання канавок шириною 3 мм для виходу інструменту під час нарізання різьблень M27×1,5.

Таблиця 1.1 – Короткий зміст базового технологічного процесу

№ з/п опер.	Найменування операції	Зміст операції	Базування	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Заготовча	Поковка	–	Молот
010	Термічна	Відпалювання – зняття внутрішніх напружень	–	Піч
015	Токарна	Чорнова обробка. Установ А. Підрізати торець з одного боку, свердлити центровий отвір А4. Установ Б. Точити поверхні заготовки з одного боку з припуском 2,5 мм на бік. Установ В. Підрізати торець з іншого боку, свердлити центровий отвір А4. Установ Г. Точити поверхні заготовки з іншого боку з припуском 2,5 мм на бік.	В патроні з упором в торець В патроні з упором в торець із заднім центром -«- -«-	Токарно-гвинторізний верстат мод. 1К62
020	Термічна	Нормалізація поверхонь заготовки	–	Піч
025	Токарна	Чистова обробка. Установ А. Підрізати торець з боку Ø16, свердлити центровий отвір А4. Установ Б. Точити поверхні заготовки остаточно з одного боку з припуском 0,5 мм на бік по Ø47, Ø30k6, М27×1,5-ЛН-8g. Установ В. Підрізати торець з іншого боку, свердлити центровий отвір А6,4, Ø5, ∠60° та ∠120°, нарізати різьблення М6-7Н. Установ Г. Точити поверхні заготовки остаточно з іншого боку з припуском 0,5 мм на бік по Ø47, Ø30k6, Ø30h6, М27×1,5-8g.	В патроні з упором в торець. В патроні з упором в торець із заднім центром. В патроне с упором в торець. В патроні з упором в торець із заднім центром	Токарно-гвинторізний верстат мод. 1К62
030	Розмічування	Розмітити 2 пази 8N9 й 2 пази шириною 5 мм.		Плита для розмічування
035	Фрезерна	Фрезерувати з переустановкою 2 паза 8N9	За зовнішніми поверхнями в призмах з упором в торець	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6P13
040	Шліфувальна	Шліфувати остаточно поверхні Ø47 й з припуском 0,1 мм на бік – Ø30k6 й Ø30h6	В центрах	Кругло-шліфувальний півавтомат мод. 3M151

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
045	Токарна	Свердлити центральний отвір $\varnothing 16 \times 185$, розточити в $\varnothing 17 \times 120$ й $\angle 60^\circ \times 5$ и $\angle 120^\circ$	В патроні з упором в торець	Токарно-гвинторізний верстат мод. 1К62
050	Зубофрезерна	Фрезерувати зубці $m=1,5$ мм, $z=23$, $\angle 38^\circ 21'$	В центрах	Зубофрезерний півавтомат мод. 5К32
055	Розмічування	Розмітити 20 отворів $\varnothing 2$		Плита для розмічування
060	Свердлильна	Свердлити з переустановами 20 отворів $\varnothing 2$	За зовнішніми поверхнями у призмах з упором в торець	Радіально-свердлильний верстат мод. 2М55
065	Контрольна	Контролювати основні розміри деталі	–	Стіл ВТК
070	Термічна	Азотування поверхонь заготовки	–	Піч
075	Токарна	Чистова обробка. Установ А. Правити центровий отвір й галтелі з одного боку. Установ Б. Точити $\varnothing 27$ остаточно і нарізати різьблення $M27 \times 1,5-LH-8g$. Установ В. Правити центровий отвір й галтелі з іншого боку. Установ Г. Точити $\varnothing 27$ остаточно і нарізати різьблення $M27 \times 1,5-8g$.	В патроні з упором в торець. В центрах. В патроні з упором в торець. В центрах	Токарно-гвинторізний верстат мод. 1К62
080	Фрезерна	Фрезерувати з переустановом 2 пази шириною 5 мм	За зовнішніми поверхнями у призмах з упором в торець	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6Р13
085	Шліфувальна	Шліфувати остаточно поверхні $\varnothing 30k6$ и $\varnothing 30h6$	В центрах	Круглошліфувальний півавтомат мод. 3М151
090	Маркування	Маркувати номер заказу й номер креслення	–	Верстак
095	Контрольна	Контролювати основні розміри деталі	–	Стіл ВТК

Подальший аналіз існуючого технологічного процесу механічної обробки «вал-шестерні» показує таке. Заготівлю для деталі «вал-шестерні» отримують як поковку вільним куванням на молотах з подальшим термообробленням для зняття внутрішніх напружень, що виникають під час заготівельної операції, і другим

термічним обробленням після чорнової токарної операції. Такий метод отримання заготовлі є досить простим, відповідає дрібносерійного характеру виробництва та груповій формі організації робіт. При цьому спостерігається порівняно високий коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м} = 0,49$.

Порівнюючи базовий (заводський) технологічний процес з типовим [6], можна відзначити, що на перших операціях обробляють поверхні, які надалі стануть базовими. Зокрема, підрізаються з обох боків торці заготовки, свердляться центрові отвори, а також проточуються зовнішні циліндричні поверхні з припуском під чистову обробку. Тут слід зазначити, що, на наш погляд, усі токарні операції, за винятком №045 є надмірно сконцентрованими (кожна з них складається з 4 установів). І пов'язано це лише з дворазовим підрізанням торців заготовки та їх центруванням, хоча для забезпечення точності габаритного розміру 306 мм за IT14 достатнім є одноразове підрізання.

Також можна зазначити, що після другого термічного оброблення йде чистова токарна операція, а потім розмічування, фрезерна та шліфувальна операції, що відповідає загальноприйнятим рекомендаціям щодо складання технологічних процесів [6]. Однак, надалі відбувається порушення принципу поетапності, оскільки після чистових токарної та шліфувальної операцій знову відбувається чорнова обробка на токарній операції зі свердлінням та розточуванням центрального отвору, зубофрезерної та свердлильної операцій. В результаті, за рахунок великих сил різання та закріплення спотворюються вже раніше оброблені поверхні. Однак, цей захід є вимушеним, оскільки фрезерування пазів після чистової токарної операції дозволяє уникнути поломок різців, якби обробка циліндричних шийок точінням здійснювалася з ударами об стінки фрезерованих пазів. Зубофрезерна операція виконується після шліфування циліндричних поверхонь $\varnothing 47$, що підвищує точність обробки зубчастих вінців, а свердлильна операція проводиться за свердлінням отворів $\varnothing 2$ у западинах між зубами шестерень. Винятком є токарна операція №045, яку можна було б виконати до токарної чистової операції №025.

Завершує технологічний процес механічного оброблення «вал-шестерні»

термічна операція з азотуванням поверхонь заготовки, з подальшою чистою токарною операцією з нарізування різьблення, фрезеруванням пазів шириною 5 мм на різьбових ділянках і остаточним шліфуванням найбільш точних шийок за IT6: $\varnothing 30k6$ й $\varnothing 30h6$. І тут відбувається порушення принципу поетапності, оскільки після чистових операцій знову відбувається чорнове оброблення на фрезерній операції з обробки пазів шириною 5 мм. Однак, знову ж таки, цей захід є вимушеним, оскільки фрезерування пазів до нарізання різьблення на чистовій токарній операції призвело б до поломок різьбових різців, якби обробка точінням здійснювалася з ударами об стінки фрезерованих пазів. На останніх операціях проводиться маркування заготовки та остаточний контроль.

За цим технологічним процесом заготовка відповідає кресленню щодо фактичних припусків на оброблення. Усі технічні вимоги можна забезпечити. У той же час, з технологічного процесу не ясно, як потрібно базувати заготовку на жодній операції. Тут можна лише здогадуватися про застосовувані схеми базування, про що зазначено у графі 4 таблиці 1.1. Тому, при базуванні на токарних та шліфувальних операціях використовуємо зовнішні циліндричні поверхні з упором у торець у патроні або в центрах, відповідно, а на фрезерних та свердлильних операціях, також по зовнішніх циліндричних поверхнях з упором у торець, але у призмах.

Подальший аналіз існуючого технологічного процесу та порівняння його з типовим показує, що у ньому передбачено достатню кількість етапів обробки найбільш точних поверхонь деталі по 6 квалітету точності. Для обробки $\varnothing 30k6$ та $\varnothing 30h6$ передбачено чотири етапи: чорнове та чистове точіння, чорнове та чистове шліфування, а при обробці шийок під різьблення застосовується три етапи, причому останній необхідний для зняття азотованого шару перед нарізуванням різьблення. Інші поверхні обробляються у два етапи: чорнове та чистове точіння.

У аналізованому заводському технологічному процесі перед фрезерною та свердлильною операціями використовується ручне розмічування, що при її виключенні, за рахунок застосування автоматичних верстатів із ЧПУ, є резервом удосконалення у перспективному технологічному процесі. Застосування

спеціальних пристроїв дозволить повністю відмовитися від розмічувальних операцій та уникнути малопродуктивної, ручної праці.

Аналіз токарних операцій 015, 025 та 075 показує, що вони надмірно концентровані, про що ми вже говорили вище. Тут для обробки заготовки використовується по 4 установи, причому для їх реалізації необхідно застосування різного технологічного оснащення: патрона, переднього та заднього центрів. Це надмірно ускладнює операцію, збільшує допоміжний час на встановлення та закріплення заготовки та підготовчо-заклучний час на встановлення та переналагодження технологічного оснащення. Все це знижує продуктивність обробки та підвищує її собівартість. Виходячи з цього, для перспективного технологічного процесу механічної обробки заготовки «вал-шестерні» слід передбачити оптимальне завантаження зазначених операцій, передавши частину обробки на інші, менш завантажені токарно-гвинторізні операції. Як видно з вищесказаного, у аналізі структур технологічних операцій також криються великі резерви для удосконалення технології механічної обробки заготовки.

На всіх операціях заводського технологічного процесу використовується універсальне обладнання та технологічне оснащення. Тут для механізації та автоматизації дрібносерійного виробництва було б бажано ширше використовувати верстати з ЧПК, яких у заводському технологічному процесі немає. Це дозволило б знизити кваліфікацію робітників та підняти продуктивність обробки, повністю усунувши ручну працю та зменшивши собівартість механічної обробки заготовки.

Таким чином, проведений аналіз показує, що базування, використовуване обладнання та оснащення, в основному, відповідають заданій програмі випуску та прийнятій формі організації дрібносерійного виробництва. Верстати розміщуються за видами обладнання. Заготовки встановлюються на верстати та транспортуються між операціями вручну за допомогою кран-балок та ручних візків. Разом з тим, тут необхідно зазначити, що обладнання, що застосовується на операціях обробки «вал-шестерні», в основному вироблене у 70–80 роки минулого століття і є застарілим як морально, так і фізично, що створює об'єктивні труднощі

при забезпеченні необхідної якості оброблюваних поверхонь.

У заводському технологічному процесі як ріжучий інструмент застосовується нормалізований, універсальний інструмент: прохідні, підрізні, різьбові та розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву Т5К10 і Т15К6, свердла, зенківки та кінцеві фрези із швидкорізальної сталі Р6М5, шліфувальні круги з електрокорунду нормального 15А. Виняток становлять випадки, коли поверхні неможливо обробити стандартним інструментом. Це спеціальні канавкові різці для оброблення поверхонь канавок.

Як вимірювальний інструмент застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів і лінійок, зразків шорсткості, а для вимірювання точності розмірів згідно з ІТ6 застосовуються також і граничні калібри, що, однак, небажано для умов дрібносерійного виробництва. Все це, загалом, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь «вал-шестерні», як за точністю розмірів, так і за точністю їх форми та взаємного розташування поверхонь, їх шорсткістю.

1.6 Висновок

За результатами аналізу базового технологічного процесу виготовлення «вала-шестерні» виявлені такі його недоліки:

1) спосіб отримання заготовки вільним куванням на молотах характеризується низькою точністю поверхонь та великими припусками й напусками. Під час проектування перспективного технологічного процесу слід розглянути більш продуктивні та точні методи отримання поковок. Остаточне рішення щодо способу отримання заготовки слід приймати тільки після техніко-економічного обґрунтування;

2) базовий технологічний процес характеризується наявністю операцій розмічування, що реалізуються вручну та потребують високої кваліфікації робітників. Слід розглянути можливість усунення операцій розмічування за

рахунок використання верстатів з ЧПК та (або) спеціальних верстатних пристроїв;

3) базовий технологічний процес характеризується широким використанням універсальних верстатів та верстатних пристроїв. Засоби автоматизації як такі не використовуються. Слід розглянути можливість використання сучасних верстатів з ЧПК та верстатних пристроїв з механізованими приводами закріплення заготовки;

4) токарні операції характеризуються високим рівнем концентрації за рахунок великої кількості установів. Слід розглянути можливість оптимізації структури таких операцій, зокрема, за рахунок збільшення їх кількості.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки

У заводському технологічному процесі заготовку «вал-шестерні» отримують у вигляді поковки круглого перерізу діаметром 65 мм із гарячекатаного прутка. Перед безпосереднім виготовленням заготовку піддають термічному обробленню відпалюванням для зняття внутрішніх напружень. Трудомісткість одержання такої заготовки є невеликою і при цьому спостерігаються високі коефіцієнти використання матеріалу: $K_{в.м} = 0,49$.

В якості альтернативних варіантів одержання заготовки і з метою економії матеріалу можна розглянути способи її отримання у вигляді поковки вільним куванням на молотах з відмінною конфігурацією заготовки від заводського варіанта та одержання заготовки з круглого прокату. Це дозволить підвищити коефіцієнт використання матеріалу (для поковки) та зменшить обсяги подальшого механічного оброблення заготовки. Пропоновані методи цілком прийнятні для умов дрібносерійного виробництва та мають порівняно невисоку собівартість отримання.

Подальший вибір методу отримання заготовки робимо за допомогою техніко-економічного обґрунтування згідно з методикою [4].

Так, порівнюємо собівартості отримання заготовок з прокату та вільним куванням на молотах. Собівартість заготовок, отримуваних з прокату визначимо за формулою [4]:

$$S_{пр} = M + \Sigma C_{o.з},$$

де M – витрати на матеріал заготовки, грн;

$\Sigma C_{o.з}$ – технологічна собівартість операцій розрізання, правлення й

калібрування прутків.

Технологічна собівартість різних операцій визначається за формулою:

$$C_{o.з} = C_{п.з} \cdot T_{шт.к} / 60 \cdot 100,$$

де $C_{п.з}$ – приведені витрати на робочому місці, коп/год;

$T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час операції, хв.

Згідно з заводськими даними для різних технологічних операцій маємо такі вихідні дані:

- для операції правлення: $C_{п.з} = 22000$ коп/год., $T_{шт.к} = 18$ хв.;

- для операції розрізання: $C_{п.з} = 24000$ коп/год.; $T_{шт.к} = 19$ хв.

В результаті маємо:

$$\Sigma C_{o.з} = 22000 \cdot 18 / 60 \cdot 100 + 24000 \cdot 19 / 60 \cdot 100 = 142,00 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріал заготовки визначимо за формулою

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{вдх} / 1000,$$

де Q – маса заготовки, кг;

S – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн;

q – маса готової деталі:

$S_{вдх}$ – ціна 1 т відходів, грн.

При масі заготовки $Q = 6,9$ кг; масі готової деталі $q = 4,1$ кг; вартості сталі 38Х2МЮА – $S = 54600$ грн/т; вартості відходів $S_{вдх} = 3600$ грн, отримуємо витрати на матеріал:

$$M = 6,9 \cdot 54,6 - (6,9 - 4,1) \cdot 3600 / 1000 = 366,66 \text{ грн.}$$

Таким чином, собівартість заготовок, що одержуються з прокату дорівнює:

$$S_{\text{пр}} = 142 + 366,66 = 508,66 \text{ грн.}$$

Тепер визначимо вартість заготовок, одержуваних вільним куванням на молотах за формулою [4]:

$$S_{\text{пок}} = C_i \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} / 1000 - (Q - q) \cdot S_{\text{вдх}} / 1000,$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, одержуваних вільним куванням на молотах, грн. Беремо $C_i = 60200$ грн;

K_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності поковки, $K_T = 1,0$;

K_C – коефіцієнт, що залежить від от групи складності поковки, $K_C = 0,91$;

K_B – коефіцієнт, що залежить від от маси поковки, $K_B = 0,9$;

K_M – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу поковки, $K_M = 1,79$;

K_{Π} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок, $K_{\Pi} = 1,0$.

$$\begin{aligned} S_{\text{пок}} &= 60200 \cdot 5,4 \cdot 1,0 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 1,79 \cdot 1,0 / 1000 - (5,4 - 4,1) \cdot 3600 / 1000 = \\ &= 471,89 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Таким чином, вартість заготовок, одержуваних вільним куванням на молотах, менша за вартість заготовок з прокату. Тому подальше порівняння одержуваних заготовок на різницю обсягів їх механічного оброблення є недоцільним.

2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки

Проектування оптимального варіанта технологічного процесу механічної обробки заготовки ґрунтується на аналізі службового призначення усіх поверхонь

деталі, аналізі технічних вимог, що пред'являються до деталі, та умов її подальшої експлуатації. При цьому враховується принцип поетапності, коли спочатку виконуються усі чорнові операції, потім чистові та оздоблювальні, дозволяючи за умов економічно досяжної точності обробки забезпечити задану якість оброблюваних поверхонь.

Попередній аналіз можливих методів обробки елементарних поверхонь (МОЕП) «вал-шестерні», зокрема, зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 30k6$ та $\varnothing 30h6$ показує, що у заводському варіанті технологічного процесу для отримання точності поверхонь за IT6 проводиться обробка у 4 етапи: чорнове та чистове точіння, а також чорнове та чистове шліфування.

У заводському технологічному процесі, переважно, дотримується принцип поетапності під час обробки поверхонь «вал-шестерні». Разом з тим, деякі лезові операції з фрезерування пазів та свердління отворів здійснюється з порушенням цього принципу. Однак, як уже зазначалося в п. 1.5, це міра вимушена. А ось свердління та розточування центрального отвору, на наш погляд, слід виконувати до чистової токарної операції.

Надмірно концентровані деякі токарні операції. Тут можна переглянути завантаження операцій, вирівнявши час їх обробки.

Як зазначалося раніше, у заводському технологічному процесі використовується застаріле устаткування. Зокрема, токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62. У проєктованому технологічному процесі механічної обробки «вал-шестерні» слід ширше використовувати верстати з ЧПК, що усуне попереднє ручне розмічування, підвищить продуктивність обробки, зменшить її собівартість.

З урахуванням висловлених пропозицій маємо перспективний технологічний процес механічної обробки «вал-шестерні», що складається з 8 укрупнених операцій (етапів оброблення): E1 – заготовчий (поковка), E3 – термічний 1-й (відпалювання), E4 – півчистовий перший (фрезерування, свердління, точіння, підрізання торців, зенкування, розточування), E5 – нормалізація, E6 – півчистовий другий (точіння, зубофрезерування, підрізання торців, підрізання канавок, радіусів, зняття фасок, нарізання різі), E8 – чистовий

перший (шліфування), E9 – термічний четвертий (азотування), E10 – чистовий другий (шліфування).

Аналіз укрупнених операцій, зокрема, E4, показує, що цю укрупнену операцію не можна реалізувати на одному верстаті через відмінність у методах обробки – фрезерування, свердління, точіння. Тому розділяємо цю укрупнену операцію на три: токарну, що виконується на токарно-гвинторізному верстаті, фрезерну, що виконується на вертикально-фрезерному верстаті, і свердлильну, що виконується на вертикально-свердлувальному верстаті. Більш того, через відмінності оброблюваних поверхонь при фрезеруванні пазів на гладких циліндричних шийках і різьбових поверхнях заготовки, що вимагає різної послідовності операцій, що чергуються з токарними операціями, зазначену фрезерну операцію розбиваємо на дві вертикально-фрезерні операції, роз'єднані в часі декількома токарними, шліфувальними та термічними операціями. На дві токарні чорнові операції та токарну операцію, через суттєву відмінність в оброблюваних поверхнях (точіння зовнішніх поверхонь, свердління та розточування центрального отвору) та схемах базування. Крім того, через велику кількість переустановок (чотирьох) при обробці зовнішніх поверхонь заготовки, підрізанні її торців та їх зацентруванні, вводимо додатково фрезерно-центрувальну операцію, що різко розвантажить першу токарну чорнову операцію. Таким чином, у нас буде шість операцій з етапу E4.

Подальший аналіз показує, що укрупнену операцію E6 також необхідно розбити на дві: токарно-гвинторізну та зубофрезерну. Однак, як і на етапі E4, на етапі E6 токарну операцію необхідно розбити на дві операції через необхідність окремо проточити циліндричні шийки під нарізування різьблення і нарізати різьблення після азотації заготовки. При цьому ці чистові токарні операції будуть роз'єднані термообробкою (азотацією) і шліфуванням ряду циліндричних шийок.

Укрупнені операції з етапів E8 та E10 можна реалізувати кожну в одній операції – круглошліфувальній, що виконується на круглошліфувальному півавтоматі.

Аналогічним чином в окремі термічні операції виділяються операції з термічних етапів E3, E5 і E9.

Деталь має розвинені, відкриті поверхні, що у повній мірі дозволяє дотриматися як принципу сталості баз, так і принципу суміщення баз.

Широке використання верстатів з ЧПК, спеціалізованого оснащення дозволить виключити ручні операції розмічування.

В результаті проведеного аналізу пропонується такий маршрут технологічного процесу механічної обробки «вал-шестерні», див. таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Короткий зміст перспективного технологічного процесу виготовлення деталі

№ з/п опер.	Найменування операції	Зміст операції	Базування	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Оброблення тиском	Поковка	–	Молот
010	Термічна	Відпалювання – зняття внутрішніх напружень	–	Піч
015	Фрезерно-центрувальна	Фрезерувати торці, свердлими центрові отвори А4.	По зовнішніх поверхнях у призмах із упором у торець	Фрезерно-центрувальний півавтомат мод. МР-71М
020	Токарно-гвинторізна	Чорнове оброблення. Установ А. Точити поверхні заготовки з одного боку з припуском під подальшу обробку. Установ Б. Точити поверхні заготовки з іншого боку з припуском під подальшу обробку.	В центрах з упором в торець В центрах з упором в торець	Токарно-гвинторізний верстат мод. JET GHB-1340A DRO
025	Термічна	Нормалізаційне відпалювання	–	Піч
030	Токарно-гвинторізна	Установ А. Підрізати торець заготовки, свердлими центровий отвір А6,4, Ø5, зенкувати запобіжний конус $\angle 120^\circ$, нарізати різьблення М6-7Н. Установ Б. Підрізати зворотний торець заготовки, свердлими центровий отвір А6,4, свердлими отвір Ø16, зенкувати робочий конус $\angle 60^\circ$ та запобіжний конус $\angle 120^\circ$, розточити центральний отвір у $\angle 17$	В патроні з упором в торець В патроні з упором в торець	Токарно-гвинторізний верстат мод. JET GHB-1340A DRO

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
035	Токарна з ЧПК	<p>Чистове оброблення. Установ А. Точити поверхні заготовки остаточно з одного боку з припуском на сторону з дотриманням розмірів $\varnothing 47$, $\varnothing 30k6$, $M27 \times 1,5$ -LH-8g, прорізати канавки, зняти фаски.</p> <p>Установ Б. Точити поверхні заготовки остаточно з іншого боку з припуском на сторону з дотриманням розмірів $\varnothing 47$, $\varnothing 30k6$, $\varnothing 30h6$, $M27 \times 1,5$-8g, прорізати канавки, зняти фаски</p>	<p>В центрах з упором в торець</p> <p>В центрах з упором в торець</p>	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК мод. Compak 410×1000
040	Фрезерна з ЧПК	Фрезерувати з переустановкою два пази з дотриманням розміру 8N9	По зовнішнім поверхням в призмах з упором в торець	Вертикальний обробний центр з ЧПК мод. V-650
045	Кругло-шліфувальна з ЧПК	Шліфувати остаточно поверхні $\varnothing 47$ й з припуском на сторону $\varnothing 30k6$ й $\varnothing 30h6$	В центрах	Кругло-шліфувальний верстат з ЧПК мод. JHU-2706 NC1
050	Зубофрезерна	Фрезерувати зубці $m=1,5$ мм, $z=23$, $\angle 38^\circ 21'$	В центрах	Зубо-фрезерний півавтомат мод. 5K32
055	Свердлильна з ЧПК	Свердлити з переустановками 20 отворів $\varnothing 2$	По зовнішнім поверхням в призмах з упором в торець	Вертикальний обробний центр з ЧПК мод. V-650
060	Термічна	Азотування поверхонь заготовки	–	Піч
065	Токарна з ЧПК	<p>Чистове оброблення. Установ А. Правити галтелі, точити $\varnothing 27$ остаточно й нарізати різьблення $M27 \times 1,5$-LH-8g.</p> <p>Установ Б. Правити галтелі з іншого боку, точити $\varnothing 27$ остаточно й нарізати різьблення $M27 \times 1,5$-8g.</p>	<p>В центрах з упором в торець</p> <p>В центрах з упором в торець</p>	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК мод. Compak 410×1000
070	Фрезерна з ЧПК	Фрезерувати з переустановкою два пази шириною 5 мм	По зовнішнім поверхням в призмах з упором в торець	Вертикальний обробний центр з ЧПК мод. V-650

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
075	Кругло-шліфувальна з ЧПК	Шліфувати остаточно поверхні Ø30k6 и Ø30h6	В центрах	Кругло-шліфувальний верстат з ЧПК мод. JHU-2706 NC1
080	Маркування	Маркувати номер заказу й номер креслення деталі	–	Верстак
085	Технічний контроль	Контролювати основні розміри деталі	–	Стіл ВТК

Як видно з таблиці 2.1 у новому варіанті маршруту технологічного процесу механічної обробки «вала-шестерні» порівняно із заводським технологічним процесом, незважаючи на додавання фрезерно-центрувальної операції, скорочено 2 операції – з 19 до 17, що пояснюється використанням принципу концентрації операцій. У новому технологічному процесі пропонується широке застосування верстатів з ЧПК, що дозволить скоротити малопродуктивні методи ручного розмічування, скорочується ручна праця та робота з керування металорізальним обладнанням. При цьому скорочується основний час на операцію, отже, і собівартість оброблення заготовки. Остаточно питання про вибір обладнання вирішимо після відповідного обґрунтування у наступних пунктах цієї роботи.

За рахунок деякої диференціації та перерозподілу обробки поверхонь між операціями, вдалося скоротити кількість переустановок заготовки на токарних операціях 015, 025, 045 та 075 (у новому технологічному процесі операції 020, 030, 035 та 065), внаслідок чого вирівнявся час оброблення, підвищився рівень синхронізації операцій. Більшою мірою у перспективному технологічному процесі дотримується і принцип поетапності, що досягнуто за рахунок винесення токарної чорнової операції 045 із свердління та розточування центрального отвору (нині операція 030) до виконання чистової токарної операції 035.

2.3 Розрахунок розмірів заготовки

Враховуючи конфігурацію, розміри, масу та програму випуску деталі «вал-шестерня» приймаємо метод отримання заготовки – поковка вільним куванням на молотах. Припуски й допуски на заготовку визначаємо згідно з ГОСТ 7829-70 [7], див. таблицю 2.2.

Для деталей типу вал круглого перерізу з уступами ($L > 1,5D$; $l > 0,3D$, де L – загальна довжина деталі, l – ширина уступу, D – максимальний діаметр деталі) припуски та допуски призначаються на довжину деталі, ширину окремих ступенів та її зовнішні діаметри. При цьому проводиться перевірка на можливість виконання уступів і виїмок посередині зовнішньої циліндричної поверхні.

Таблиця 2.2 – Розрахунок розмірів заготовки, у міліметрах

Розмір деталі	Основний припуск на заготовку й допуск	Додатковий припуск на заготовку	Розрахунок розмірів заготовки	Остаточні розміри заготовки з допусками
1	2	3	4	5
Ø47	6±2,0	Основний переріз	47+6 = 53	Ø53±2,0
Ø30h6	6±2,0	3,0	30+6+3 = 39	Ø39±2,0
Ø38	6±2,0	3,0	38+6+3 = 47	Ø47±2,0
306	6·2,5±(2,0·2,5)	-	306+6·2,5 = 321	321±5,0
135	6·1,5±(2,0·1,5)	-	135+6·1,5 = 144	144±3,0
198	6·(1,25±0,75)±(2,0·2)	-	198+6·(1,25+0,75) = 210	210±4,0

Виїмку в середній частині заготовки не можна виконати у зв'язку з технологічними обмеженнями, так як її довжина (40 мм) менше $0,3B$, де B – ширина бойка, рівна 150 мм. З цих умов нездійсненні на «вал-шестерні» і прилеглі уступи M27×22; Ø30k6×14; Ø38×27. До того ж, мінімально допустима висота сусідніх уступів становить 4 мм, тому неможливо виконати уступ між циліндричними ступенями Ø53 та Ø47, висота між якими становить 3 мм. Тому зазначені ступені

об'єднуємо із сусідніми уступами.

Тепер здійснимо розрахунок припусків та допусків на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні деталі $\varnothing 30h6$ розрахунково-аналітичним методом проф. В. М. Кована з використанням прикладної програми Pripusk на ЕОМ.

Виходячи з послідовності операцій згідно з запропонованим технологічним процесом механічного оброблення зазначеної поверхні, останню будемо обробляти в чотири етапи: чорнове і чистове точіння, а також чорнове і чистове шліфування. Усі необхідні дані для розрахунку на ЕОМ зводимо в таблицю у додатку Б. Відомо, що в основі аналітичного методу проф. В. М. Кована знаходиться розрахунок величини мінімального припуску Z_{mini} на i -й перехід (етап оброблення поверхні). При цьому до його складу входять величини шорсткості поверхні $R_{z_{i-1}}$ та дефектного шару H_{i-1} , величина просторових відхилень ρ_{i-1} , що формуються на попередньому ($i-1$) переході, та величина похибки установаження заготовки на поточному (i -му) переході. Величини $R_{z_{i-1}}$ та H_{i-1} визначалися згідно з рекомендаціями [4, 8], а величини ρ_{i-1} розраховувалися за формулою [4]:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2},$$

де $\rho_{\text{зм}}$ – величина зміщення ступенів поковки, мкм;

$\rho_{\text{ц}}$ – похибка зацентровки заготовки, мм;

$\rho_{\text{кор}}$ – величина короблення поверхні заготовки, мкм.

В свою чергу:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot l,$$

де $\Delta_{\text{к}}$ – питома величина короблення поверхні заготовки, мкм/мм;

l – довжина заготовки від точки закріплення (базування) до середини

розглянутого перерізу при $l \leq L / 2$, мм;

L – загальна довжина заготовки, мм.

В результаті маємо:

$$\rho_{кор} = 1 \cdot 50 = 50 \text{ мкм.}$$

Величина зміщення елементів поковки становить $\rho_{зм} = 1100$ мкм [4].

Похибка зацентровки становить $\rho_{ц} = 250$ мкм.

В результаті маємо:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{50^2 + 1100^2 + 250^2} = 1129 \text{ мкм.}$$

Залишкові значення величин просторових відхилень визначалися з урахуванням коефіцієнта уточнення K_y :

$$\rho_{ост} = \rho_{i-1} \cdot K_y,$$

де $K_{y1} = 0,06$ – для чорнового точіння;

$K_{y2} = 0,05$ – для чистового точіння;

$K_{y3} = 0,04$ – для чорнового шліфування;

В результаті маємо:

$$\rho_1 = 1129 \cdot 0,06 = 68 \text{ мкм,}$$

$$\rho_2 = 1129 \cdot 0,05 = 57 \text{ мкм,}$$

$$\rho_3 = 1129 \cdot 0,04 = 45 \text{ мкм.}$$

Значення похибок установлення ε_y при обробленні заготовки в самоцентрувальному патроні і центрах становлять:

- для чорнового точіння – 200 мкм [4];
- для чистового точіння, чорнового та чистового шліфування в центрах – не враховуємо у зв'язку з їх відносною малістю.

Результати розрахунків міжопераційних припусків й розмірів на оброблення поверхні $\varnothing 30h6$ наведені у додатку Б.

2.4 Обґрунтування вибору схеми базування та закріплення заготовки

Розглянемо вибір схем базування та закріплення заготовки на фрезерній операції з ЧПК №040, токарній операції з ЧПК №065 та круглошліфувальній операції №075 технологічного процесу механічного оброблення заготовки «вала-шестерні 1.1550-21.01-02».

Аналіз базового технологічного процесу механічного оброблення «вала-шестерні 1.1550-21.01-02» показує, що остання обробляється на універсальному обладнанні, з використанням універсального технологічного оснащення та традиційних схем базування та закріплення заготовки – у призмах з кріпленням прихватами вручну – на фрезерній операції, патроні з підтисканням заднім центром – на токарній операції, у центрах – на шліфувальній операції. Разом з тим відомо, що під час оброблення заготовок значний вплив на точність та якість оброблюваних поверхонь надає вибір схем базування та закріплення заготовки. Останні впливають і на подальше обґрунтування вибору верстатного устаткування, засобів технологічного оснащення тощо. Вибрана схема базування повинна передбачати як принцип сталості, так і принцип суміщення технологічної, конструкторської та вимірювальної баз, забезпечувати можливість простого та зручного закріплення заготовки, багатоінструментального оброблення поверхонь тощо. Тому так важливо зробити правильний вибір схем базування та закріплення заготовки при її механічному обробленні.

Операція фрезерна з ЧПК 040. На аналізованій операції проводиться обробка двох закритих шпонкових пазів заготовки з двох установ. При цьому забезпечуються такі розміри пазів: $8N9$; $45 \pm 0,31$; $21 \pm 0,26$; $4,3^{+0,18}$, див. рисунок 2.1.

Як видно з рисунка 2.1, на цій операції найбільш розвинені поверхні заготовки – це зовнішні циліндричні поверхні та торці між ними. Точність всіх поверхонь на даний момент однакова – заготовка пройшла вже чорнову і чистову токарні обробки циліндричних ступенів, забезпечивши їх точність згідно з IT10. Тому в якості головної базової поверхні при базуванні в призмах приймаємо дві циліндричні поверхні $\varnothing 30,6h10$ та $\varnothing 30,6h10$, які спільно реалізують подвійну напрямну базу, позбавляючи заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних та двох обертальних переміщень вздовж та навколо осей Y й Z. Ще одного ступеня свободи заготовка позбавляється при упорі в торець ступеня $\varnothing 30,6h10$, яка є опорною базою, позбавляючи заготовку поступального переміщення вздовж осі X (при горизонтальному розташуванні осі заготовки та осі X). У підсумку, на установі А при обробці першого паза заготовка позбавлена п'яти ступенів свободи, залишаючи вакантним обертання навколо власної центральної осі (осі X). При обробці другого паза на установі Б заготовка повертається на 180° і по обробленому раніше пазу (його боковій поверхні) реалізується ще одна опорна база, позбавляючи заготовку останнього шостого ступеня свободи – обертання навколо осі X.

При такій схемі базування для лінійного розміру 21 мм поєднуються вимірвальна та технологічна бази та похибка базування дорівнює нулю. А ось на розмір за довжиною паза похибка базування дорівнює допуску на розмір, що поєднує вимірвальну та технологічну бази:

$$\varepsilon_{645} = T_{21} = 0,52 \text{ мм.}$$

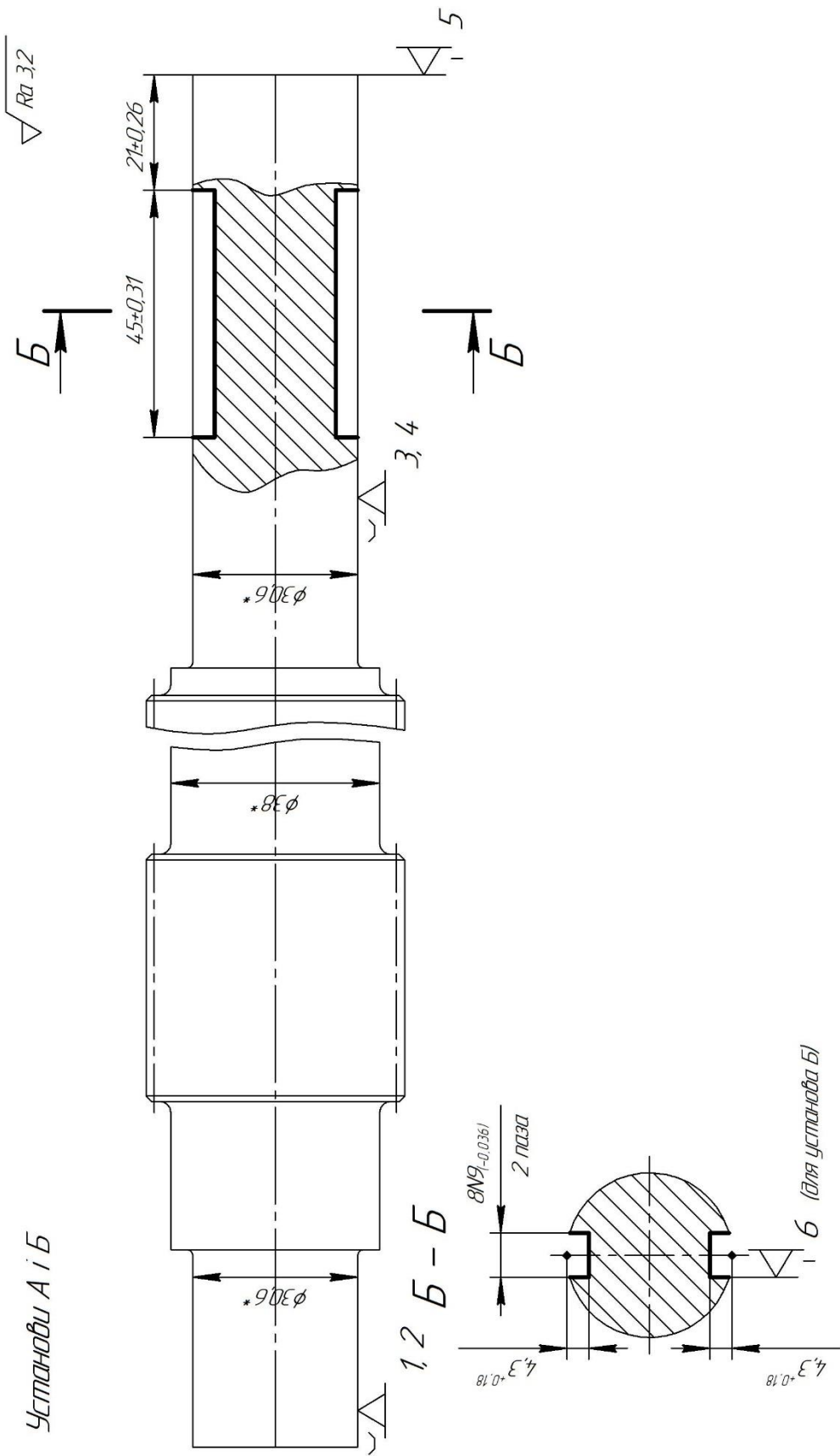


Рисунок 2.1 – Схема базування заготовки на операції 040 фрезерній з ЧПК

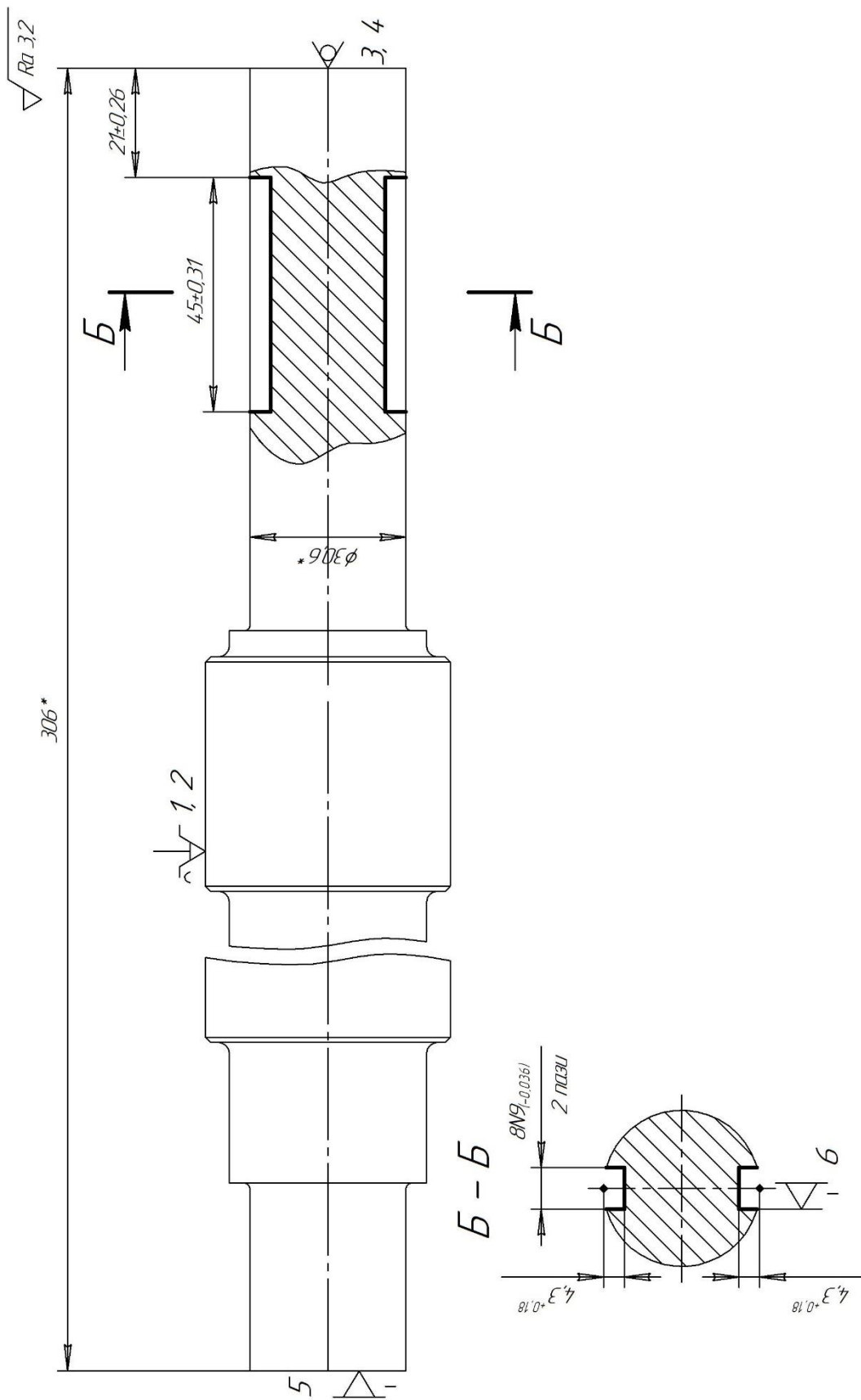


Рисунок 2.2 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 040 фрезерній з ЧПК

Таким чином, похибка базування менша за допуск на розмір 45 мм і значить обробка можлива без браку:

$$\varepsilon_{6\ 45} = 0,52 < T_{45} = 0,62 \text{ мм.}$$

Крім того слід враховувати, що у даному випадку похибка базування не буде впливати на точність розміру 45 мм. Значущою похибкою в даному випадку є похибка «позиціонування робочих органів верстата», яка визначає точність відносного переміщення, зокрема, столу фрезерного верстата щодо ріжучого інструменту (фрези), закріпленого у шпинделі, та зазвичай не перевищує 0,02 мм.

При базировании в призмах возникает погрешность базирования и по глубине паза, равная:

$$\varepsilon_{6\ 4,3} = \frac{TD}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin(\alpha / 2)} + 1 \right),$$

де TD – допуск на діаметр циліндричного ступеня заготовки, за яким здійснюється базування заготовки у призмі, мкм;

α – кут призми, град. (90°).

В результаті маємо:

$$\varepsilon_{6\ 4,3} = \frac{100}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin(90^\circ / 2)} + 1 \right) \approx 120,7 \text{ мкм,}$$

Допуск на розмір 4,3 мм, що визначає глибину паза 8N9, дорівнює 180 мкм, що більше похибки базування і, таким чином, необхідна точність забезпечується.

Аналогічним чином визначається похибка базування і розмір, що визначає глибину другого паза 8N9.

Як альтернативний варіант на рисунку 2.2 запропонована наступна схема базування: з використанням самоцентруючого трикулачкового патрона, упором в

лівий торець заготовки і заднім обертовим центром. Таким чином, і тут реалізується подвійна напрямна база, що позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних та двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей Y та Z, а упор у лівий торець «вала» є опорною базою, що позбавляє заготовку ще одного ступеня свободи – поступального переміщення вздовж осі X (при горизонтальному розташуванні осі заготовки та осі X). У результаті, знову ж таки, заготовка на установі А позбавляється п'яти ступенів свободи, і вакантним залишається обертання навколо власної осі X. При обробці другого паза на установі Б заготовка, аналогічно попередній схемі базування, повертається на 180° і за раніше обробленим пазом (його боковій поверхні) реалізується ще одна опорна база, позбавляючи заготовку останнього шостого ступеня свободи – обертання навколо осі X.

Тут, на відміну попереднього випадку, похибка базування присутня для всіх лінійних розмірів. Зокрема, вона дорівнює:

$$\varepsilon_{6\ 21} = T_{306} = 0,21 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{6\ 45} = T_{306} + T_{21} = 0,21 + 0,52 = 0,73 \text{ мм}.$$

Таким чином, для розміру 45 мм похибка базування перевищує допуск на розмір, що обробляється, що не допустимо внаслідок отримання браку:

$$\varepsilon_{6\ 45} = 0,73 \text{ мм} > T_{45} = 0,62 \text{ мм}.$$

На глибину паза похибка базування становить:

$$\varepsilon_{6\ 4,3} = TD / 2 = 100 / 2 = 50 \text{ мкм},$$

Що значно менше його допуску на глибину (180 мкм).

Аналіз представлених на рисунках 2.1 й 2.2 схем базування віддає перевагу

першій схемі, оскільки на її користь говорить той факт, що заготовка обробляється без браку (похибки базування менше допусків на операційні розміри) і сама схема базування простіше в реалізації.

Операція токарна з ЧПК 065. На даній операції виконується чистова токарна обробка низки зовнішніх циліндричних поверхонь заготовки з прорізанням канавок і нарізуванням різьблення, правленням галтелей.

Виходячи з аналізу зазначеної операції, остання виконується за два установи, з наступним розподіленням механічної обробки за переходами операції, див. рисунки 2.3 та 2.4:

Установ А: 1-й перехід: точити шийку з підрізанням торця й зняттям фасок з дотриманням розмірів: $1,5 \times 45^\circ$; $\varnothing 27_{-0,084}$, $17 \pm 0,055$; $1 \times 45^\circ$; правити три галтелі з дотриманням розмірів: R2, $\varnothing 38_{-0,25}$, $193_{-0,185}$, $108_{-0,14}$; R1, $\varnothing 30,2h8$, $198_{-0,185}$;

2-й перехід: точити канавку з дотриманням розмірів: $17 \pm 0,055$; $\angle 45^\circ$, R0,5, $\varnothing 24,8_{-0,52}$, $3 \pm 0,125$, R1; $17 \pm 0,055$;

3-й перехід: нарізати різь з дотриманням розмірів: M27 \times 1,5-8g, $15 \pm 0,215$.

Установ Б: 1-й перехід: точити шийку з підрізанням торця й зняттям фасок, з дотриманням розмірів: $1,5 \times 45^\circ$; $\varnothing 27_{-0,084}$, $22 \pm 0,065$; $1,5 \times 45^\circ$; правити три галтелі з дотриманням розмірів: R2, $\varnothing 38_{-0,25}$, $243_{-0,185}$, $158_{-0,16}$; R1, $\varnothing 30,2h8$, $270_{-0,21}$;

2-й перехід: точити канавку з дотриманням розмірів: $22 \pm 0,065$; $\angle 45^\circ$, R0,5, $\varnothing 24,8_{-0,52}$, $3 \pm 0,125$, R1;

3-й перехід: нарізати різь з дотриманням розмірів: M27 \times 1,5LN-8g, $20 \pm 0,26$.

При этом обеспечивается шероховатость обработанных поверхностей в пределах 3,2 мкм Ra.

Виконаємо аналіз схем базування, представлених на рисунках 2.3 та 2.4. Тут як бази використовуються центрові отвори і лівий торець заготовки. Таким чином, в якості головної базової поверхні приймаємо лівий та правий центрові отвори, що реалізують подвійну напрямну базу, позбавляючи заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних та двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей Y та Z (при горизонтальному розташуванні заготовки та осі X). Лівий торець

«вал-шестерні» є опорною базою, що позбавляє заготовку ще одного ступеня свободи – поступального переміщення вздовж осі X. Таким чином, заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи, і вакантним залишається обертання навколо осі X.

При такій схемі базування поєднуються технологічні бази з вимірювальними базами, що усуває похибки базування в радіальному напрямку та забезпечує необхідну точність обробки діаметральних розмірів заготовки IT10. Однак для лінійних розмірів заготовки $17\pm 0,055$ і $22\pm 0,065$ похибка базування не дорівнює нулю. В даному випадку похибка базування дорівнює допуску на розмір заготовки, що з'єднує вимірювальну та технологічну бази:

$$\varepsilon_{\delta 17} = \varepsilon_{\delta 22} = T_{306} = 0,21 \text{ мм.}$$

Таким чином, для зазначених розмірів похибки базування перевищують допуски на операційні розміри:

$$\varepsilon_{\delta 17} = 0,21 \text{ мм} > T_{17} = 0,11 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\delta 21} = 0,21 \text{ мм} > T_{21} = 0,13 \text{ мм.}$$

Однак, враховуючи, що обробку поверхонь заготовки передбачається здійснювати на чистовому етапі з використанням верстата з ЧПК, у якого точність обробки розмірів в основному залежить від точності позиціонування ріжучого інструменту (0,02 мм), а налаштування різця можна здійснити від правого торця заготовки, то похибка базування не буде впливати на точність лінійних операційних розмірів, заданих від правого торця заготовки, що нас цілком влаштовує.

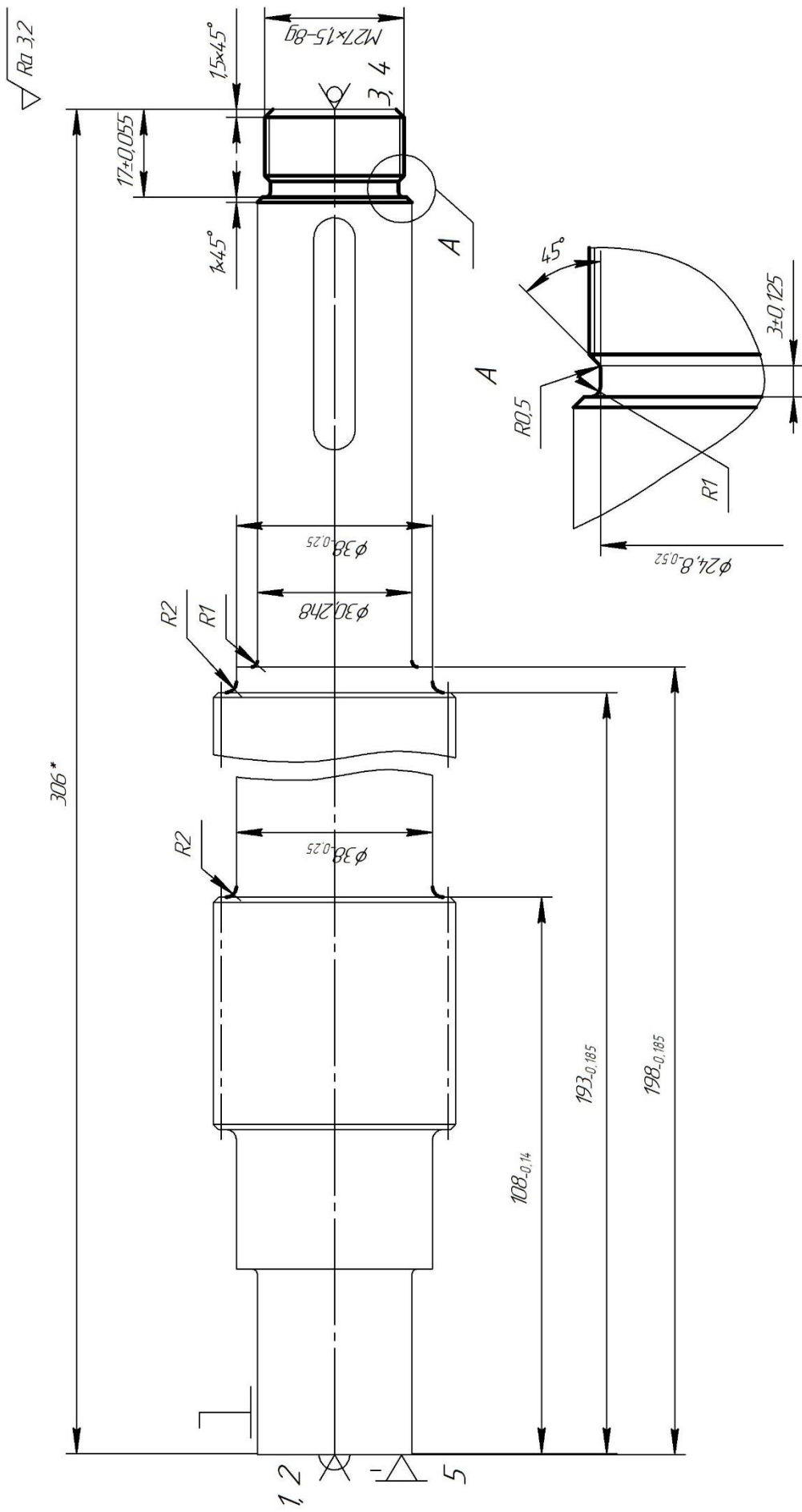


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на операції 065 токарній з ЧПК, установ А

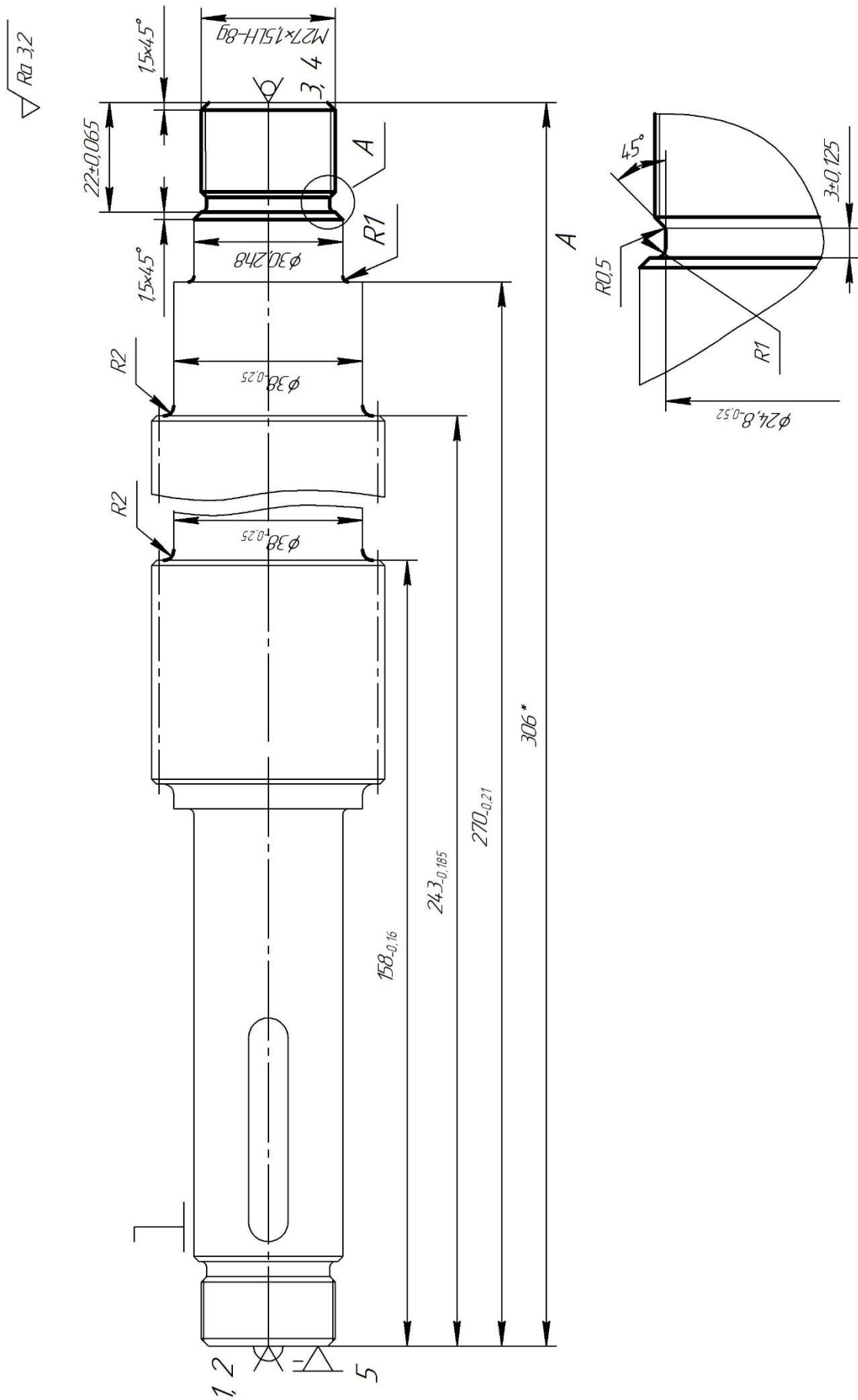


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 065 токарній з ЧПК, установ Б

На рисунках 2.5 та 2.6 представлено альтернативні схеми базування заготовки на двох установках токарної операції. Тут для базування заготовки використовується зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 30,2h8$, правий центровий отвір і упор в лівий торець заготовки. Таким чином, і тут реалізується подвійна напрямна база, що позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних та двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей Y та Z , а упор у лівий торець є опорною базою, що позбавляє заготовку ще одного ступеня свободи – поступального переміщення вздовж осі X . В результаті, знову ж таки, заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи, і вакантним залишається обертання навколо власної центральної осі (осі X). Як і в попередньому випадку, при використанні самоцентруючого патрона, похибками базування в радіальному напрямку можна знехтувати, а на лінійні розміри вони аналогічні раніше розглянутим похибкам.

Подальший аналіз таких схем базування віддає перевагу першим схемам, наведеним на рисунках 2.3 та 2.4. На їх користь говорить той факт, що заготовка встановлюється в центрах, що забезпечує більш точне позиціонування її поверхонь в радіальному напрямку (щодо її центральної осі), у той час як при базуванні по зовнішній поверхні деталі, виконаної з точністю по IT8, можливе відхилення від співвідносності базової поверхні щодо діаметральних оброблюваних ступенів. В результаті відбуватиметься обробка діаметральних ступенів зі змінним припуском, що сприяє виникненню нерівномірних деформацій технологічної системи під час оброблення поверхонь заготовки та знижує точність їх оброблення.

Операція круглошліфувальна 075. На зазначеній операції здійснюється остаточне оброблення трьох циліндричних шийок заготовки шліфуванням з дотриманням розмірів: $\varnothing 30k6, 36\pm 0,155, \varnothing 30k6, 198_{-0,185}, \varnothing 30h6, 35\pm 0,31$, див. рисунок 2.7. При цьому потрібно забезпечити радіальне биття поверхонь $\varnothing 30k6$ щодо центральної осі з допуском 0,01 мм.

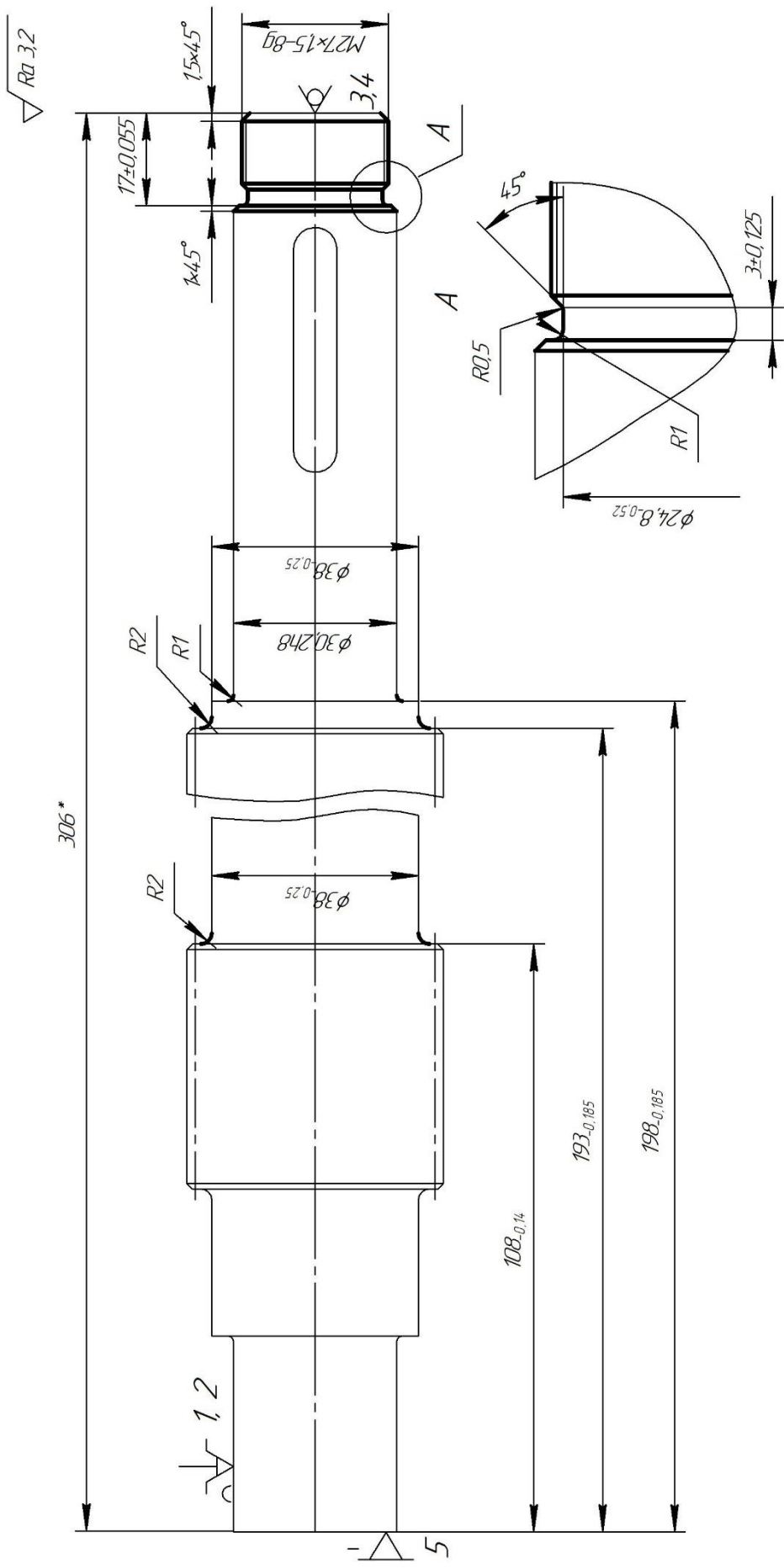


Рисунок 2.5 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 065 токарній з ЧПК, установ А

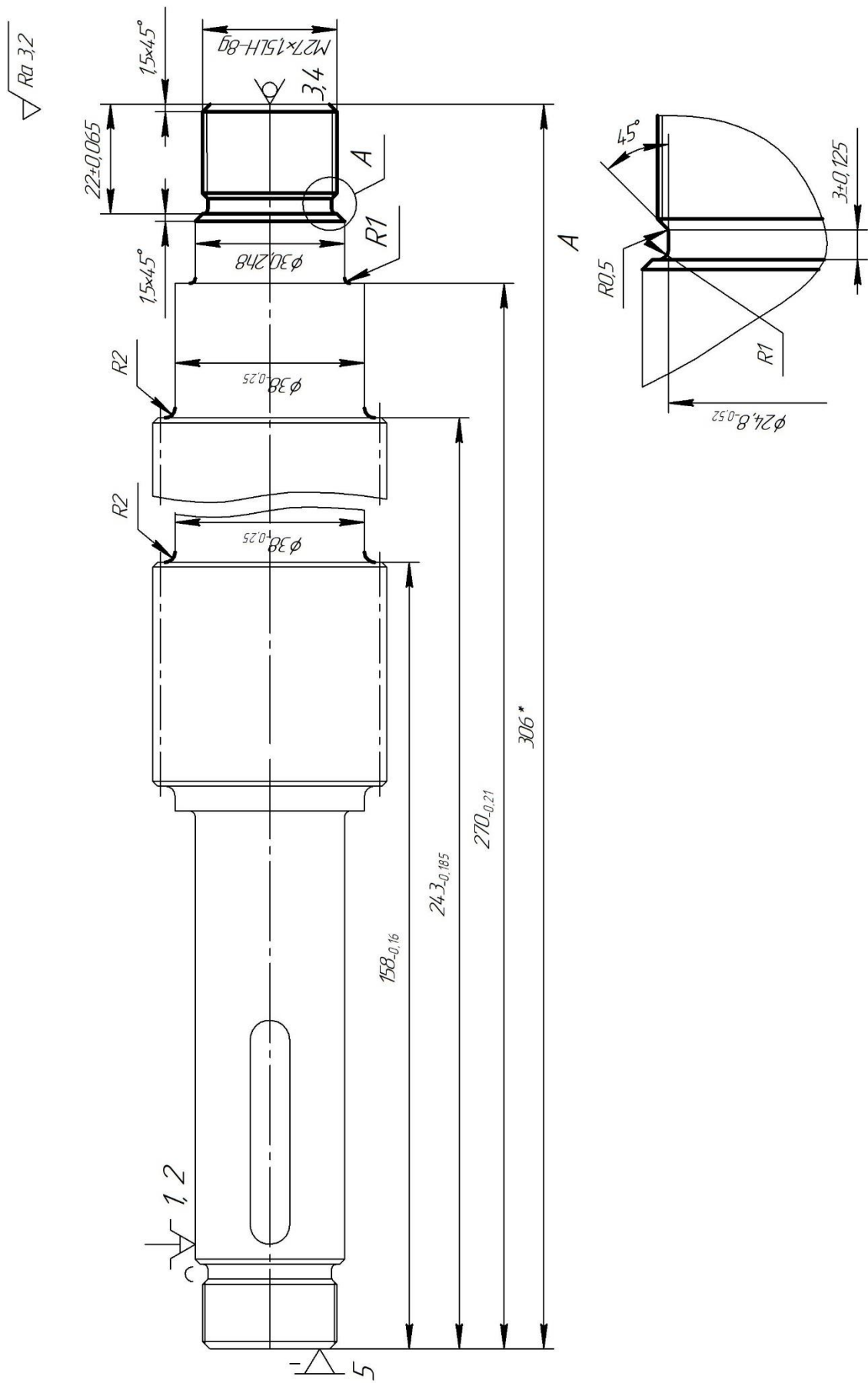


Рисунок 2.6 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 065 токарній з ЧПК, установ Б

Як видно з рисунку 2.7, на даній операції для забезпечення суміщення конструкторської та технологічної баз під час базування заготовки необхідно використовувати центровий отвір та внутрішню фаску $\angle 60^\circ \times 5$ мм центрального отвору. Тому на рисунку 2.7 представлено схему базування за вказаними поверхнями у жорстких центрах. Таким чином, за головну базову поверхню беремо внутрішню фаску, що встановлюється на передній жорсткий центр. При цьому реалізується опорно-центрувальна база, що позбавляє заготовку трьох поступальних переміщень вздовж осей X, Y, Z. Задній жорсткий центр самостійно реалізує подвійну опорну базу, яка позбавляє заготовку ще двох поступальних переміщень, що є некоректним. За такої схеми базування необхідно «центри» розглядати разом. У результаті реалізується подвійна напрямна база, що позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних та двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей Y та Z (при горизонтальному розташуванні заготовки та осі X). Лівий центр додатково реалізує ще й опорну базу, позбавляючи заготовку ще одного ступеня свободи – поступального переміщення вздовж осі X. Однак при цьому виникає похибка зацентрування. Вакантним залишається останній (шостий) ступінь свободи – обертання навколо своєї центральної осі (осі X).

За такої схеми базування точність діаметральних розмірів забезпечується без похибки базування. Точність лінійних розмірів визначається схемою базування. В даному випадку, через похибку зацентровки вона дорівнює:

$$\varepsilon_{636} = \varepsilon_{6198} = \varepsilon_{ц} = 0,05 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{635} = \varepsilon_{ц} + T_{198} = 0,05 + 0,185 = 0,235 \text{ мм};$$

що значно менше допусків на відповідні операційні розміри і це влаштовує нас.

Альтернативних схем базування на цій операції не передбачається, тому зупиняємо свій вибір на схемі базування, наведеній на рисунку 2.7.

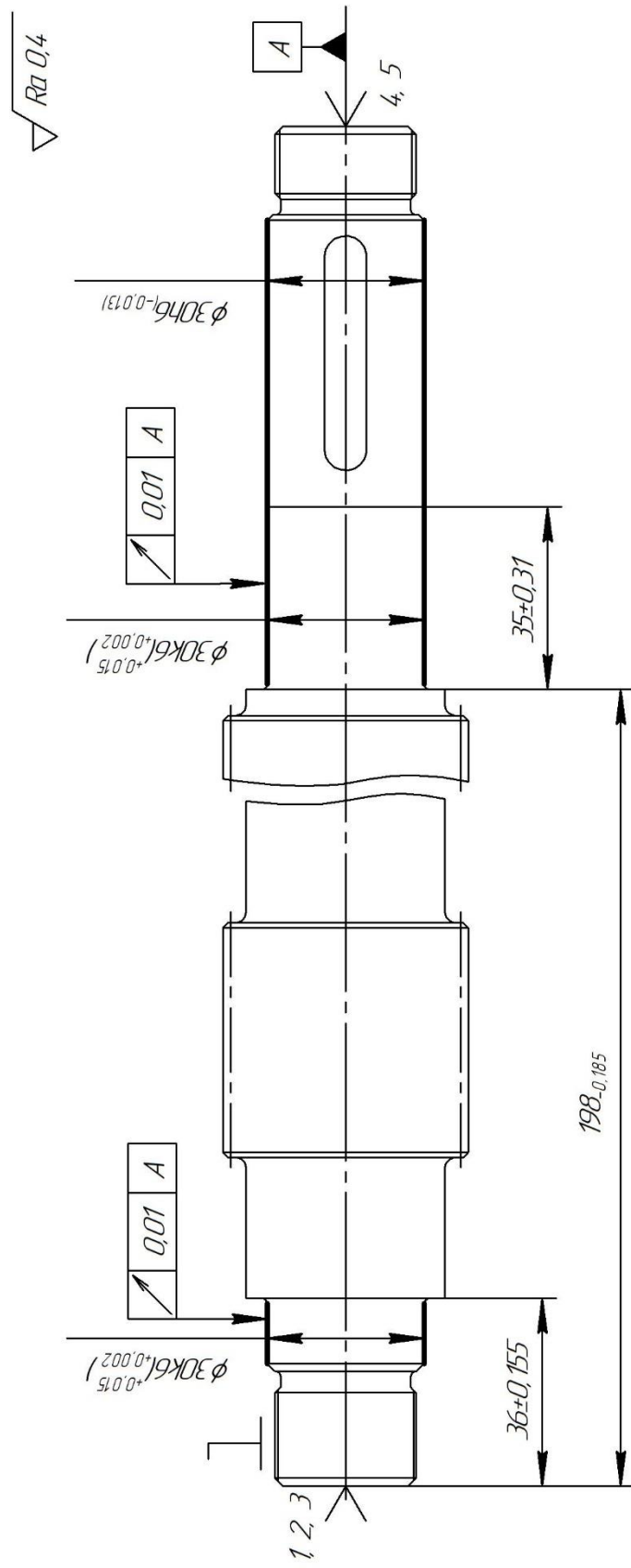


Рисунок 2.7 – Схема базування заготовки на операції 075 круглошліфувальній

2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

У базовому технологічному процесі виготовлення деталі на фрезерній операції 040, токарній операції 065 та круглошліфувальній операції 075 використовується універсальне обладнання: вертикально-фрезерний верстат моделі 6P13, токарно-гвинторізний верстат моделі 1K62 та круглошліфувальний півавтомат моделі 3M151. При цьому фрезерній операції передують операції попереднього ручного розмічування пазів.

Вочевидь, що застосовуване устаткування відповідає дрібносерійному типу виробництва та прийнятій груповій формі організації робіт. Метод обробки визначено з урахуванням етапу обробки, форми оброблюваних поверхонь, їх необхідної точності та шорсткості. У той же час, використання зазначеного універсального обладнання передбачає досягнення необхідної точності заданих розмірів із застосуванням методу пробних проходів та ручного розмічування. Все це вимагає додаткових витрат висококваліфікованої, малопродуктивної ручної праці, знижує продуктивність обробки, збільшує час та собівартість виготовлення деталі. Кваліфікація верстатників при цьому є досить високою – фрезерувальник, токар та шліфувальник п'ятого розряду. Крім того, слід вказати на дещо завищені габарити робочого простору фрезерного верстата. Розміри його столу 400×1600 мм значно перевищують габарити заготовки з верстатним пристроєм для її установа. Слід згадати, що в цеху, де здійснюється оброблення заготовки «вала-шестерні», обробляються й інші великогабаритні заготовки, а інших фрезерних верстатів з меншими габаритами немає. Однак у перспективному технологічному процесі слід підібрати більш підходяще за габаритами робочого простору устаткування.

У зв'язку з цим, на основі аналізу застосовуваних методів обробки поверхонь, їх конфігурації та етапу обробки, а також враховуючи потужність електродвигунів, габарити робочого простору та тип виробництва, як металорізальне обладнання на фрезерній операції 040 пропонується використовувати вертикальний обробний центр ЧПК моделі V-650 Leaderway з

розмірами столу 770×400 мм (відстань від торця шпинделя до столу – 125–625 мм, частота обертання шпинделя – до 10000 об/хв., потужність шпинделя – 7,5/11 кВт, точність позиціонування – 0,01 мм, автоматичний інструментальний магазин на 16 позицій), на токарній операції – токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі Cormak 410×1000 (діаметр точіння над супортом – 220 мм, точність позиціонування за віссю X/Z – 0,024/0,032 мм, потужність двигуна – 5,5 кВт, частота обертання шпинделя – 35–2500 об/хв.), а на шліфувальній операції – круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі JHU-2706 NC1 Jainnher (максимальний діаметр шліфування – 250 мм), див. таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Відомість металорізального устаткування

Найменування операції	Найменування устаткування, що використовується в базовому технологічному процесі	Пропоноване металорізальне устаткування
Фрезерна з ЧПК	Вертикально-фрезерний верстат моделі 6P13	Вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-650
Токарна з ЧПК	Токарно-гвинторізний верстат моделі 1K62	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі Cormak 410×1000
Круглошліфувальна з ЧПК	Круглошліфувальний півавтомат моделі 3M151	Круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі JHU-2706 NC1

Подане в таблиці 2.3 металорізальне обладнання з ЧПК дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованих верстатах методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів незалежно від кваліфікації робітників. В результаті відпадає необхідність у використанні ручної малопродуктивної праці з керування верстатом, а також ручного розмічування, підвищується продуктивність, покращуються умови техніки безпеки та праці робітника, скорочується тривалість та собівартість механічної обробки заготовок. При цьому враховано рекомендації щодо використання в умовах дрібносерійного виробництва верстатів з ЧПК, що є основними засобами автоматизації для зазначеного типу виробництва.

2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, ріжучого та допоміжного інструменту, контрольно-вимірювального інструменту та пристроїв

На основі аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі, а також враховуючи дрібносерійний тип виробництва, в проєктованому технологічному процесі приймаємо для базування та закріплення заготовок універсальні безналагоджувальні пристрої (УБП), що являють собою нерозбірні верстатні пристрої багаторазового застосування, які експлуатуються без доопрацювання, а також спеціальні пристрої, див. таблицю 2.4, графу 2.

При виборі різальних інструментів враховувалися методи оброблення поверхонь, габарити заготовки й верстата, матеріал заготовки тощо. За конструктивними параметрами вибиралися універсальні стандартизовані ріжучі інструменти для універсальних верстатів та верстатів з ЧПК [4, 9, 10], див. таблицю 2.4, графу 3.

Таблиця 2.4 – Відомість технологічної оснастки

Найменування операції	Верстатні пристрої	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Фрезерна з ЧПК	Пристрій спеціальний з пневмоприводом	Фреза 035-2235-1633 Р6М5 ТУ 2-035-782-80	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89; калібр-пробка 8154-0222-5 8N9 СТП 3300-2551-90
Токарна з ЧПК	Патрон токарний повідковий 7108-0021 ГОСТ 2571-71, центр А-1-4-Н ГОСТ 8742-75	Різець PCLNR 2525M12, T15K6 ТУ 2-035-892-82; різець канавковий спеціальний, T15K6 ГОСТ 3882-74; різець К.01.4942.000-06, T15K6 ГОСТ 3882-74	Штангенциркулі: ШЦ-I-125-0,1 и ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89; мікрометр МК-50 ГОСТ 6507-90; калібри різьбові: ПР/НЕ М27×1,5 и М27×1,5ЛН ГОСТ 17756-72, шаблон канавковий спеціальний

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
Кругло-шліфувальна з ЧПК	Центр (2) 7032-0032 Морзе 4 ГОСТ 13214-79; хомутик 7107-0126 ГОСТ 18488-70	Круг ПП600×50×305 15A16ПС26К5 35м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83	КВП спеціальний; індикатор ТЕЗА 14.10801, калібр-скоба (30) 8113-0153 к6 ГОСТ 18362-73; калібр-скоба (30) 8113-0153 h6 ГОСТ 18362-73; зразки шорсткості ГОСТ 9378-75

Для закріплення шпонкової фрези з циліндричним хвостовиком використовуємо універсальний цанговий патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85 [10].

При виборі контрольно-вимірювальних інструментів, в умовах дрібносерійного виробництва, перевага віддавалася універсальним («шкальним») інструментам, зокрема, штангенциркулям, див. таблицю 2.4, графу 4, а для контролю точних поверхонь (за ІТ6) – граничні калібри, такі як скоби.

2.7 Визначення режимів різання

Операція фрезерна з ЧПК 040.

Початкові дані для визначення режимів різання.

Оброблювана поверхня: шпонковий паз шириною 8N9, ширина паза – $B = 8$ мм, глибина паза – $t = 4,3$ мм.

Шорсткість бокових поверхонь паза – $Ra = 3,2$ мкм.

Устаткування: вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-650.

Верстатний пристрій: спеціальний з пневмоприводом.

Ріжучий інструмент: фреза шпонкова, матеріал ріжучої частини фрези: сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73, діаметр фрези: 8 мм, довжина робочої частини фрези: 14 мм, загальна довжина фрези: 46 мм.

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

Так, за попередніми розрахунками маємо.

Глибина різання для шпонкових фрез дорівнює глибині паза $t = 4,3$ мм.

Осьова подача на зуб фрези $S_{oc} = 0,007$ мм/зуб.

Поздовжня подача на зуб фрези $S_z = 0,022$ мм/зуб.

Швидкість різання, допустима умовами фрезерування $V = 5,74$ м/хв.

Частота обертання шпинделя верстата: $n = 229$ об/хв. Беремо фактичну частоту обертання шпинделя $n_{\phi} = 250$ об/хв.

Фактична швидкість різання $V_{\phi} = 6,28$ м/хв.

Сила різання (тангенціальна складова) $P_z = 460,4$ Н.

Крутний момент на шпинделі верстата $M_{кр} = 18,4$ Н·м.

Потужність різання $N_p = 0,05$ кВт.

Потужність шпинделя верстата V-650 становить 7,5 кВт, що більше потужності різання. Таким чином визначені режими різання можуть бути реалізовані.

Машинний (основний) час на перехід становить $T_o = 5,51$ хв.

Хвилинна поздовжня подача $S_{хв.пр} = 11,0$ мм/хв.

Вертикальна подача фрези $S_{oc} = 3,5$ мм/хв.

Операція токарна з ЧПК 065.

Початкові дані для визначення режимів різання.

Зміст переходу (1-й перехід, установ А): точити начисто з дотриманням розміру $d = 27$ мм.

Діаметр шийки до обробки: 29 мм.

Довжина обробки: 17 мм.

Шорсткість поверхні: 3,2 мкм Ra.

Устаткування: токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі Comtek 410×1000.

Верстатний пристрій: патрон повідковий 7108-0021 ГОСТ 2571-71.

Ріжучий інструмент: PCLNR 2525M12, матеріал ріжучої частини: T15K6 ГОСТ 3882-74, геометричні параметри ріжучої частини інструмента: $\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $r = 1$ мм. Матеріал державки – сталь 45 ГОСТ 1050-75,

перетин – 25×25 мм.

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

Глибина різання $t = 1,0$ мм.

Поздовжня подача $S_o = 0,4$ мм/об (для умов чистового точіння поверхні з шорсткістю 3,2 мкм Ra).

Швидкість різання, допустима умовами точіння: $V = 84,9$ м/хв.

Частота обертання шпинделя $n = 1001$ об/хв. Беремо фактичну частоту обертання шпинделя $n_\phi = 1000$ об/хв.

Фактична швидкість різання $V_\phi = 84,8$ м/хв.

Сила різання $P_z = 848$ Н.

Потужність різання $N_p = 1,18$ кВт.

Потужність привода верстата Comak 410×1000 становить 5,5 кВт, що більше потужності різання. Таким чином визначені режими різання можуть бути реалізовані.

Машинний (основний) час на перехід становить $T_o = 0,12$ хв.

Операція круглошліфувальна 075.

Початкові дані для визначення режимів різання.

Зміст переходу: шліфувати поверхню з дотриманням розміру $\varnothing 30k6$.

Устаткування: круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі JHU-2706 NC1.

Верстатний пристрій: центр (2) 7032-0032 Морзе 4 ГОСТ 13214-79, хомутик 7107-0126 ГОСТ 18488-70.

Ріжучий інструмент: круг ПП 600×50×305 15A16ПС26K5 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89; калібр-скоба (30) 8113-0153 k6 ГОСТ 18362-73; зразки шорсткості ГОСТ 9378-75; індикатор ТЕЗА 14.10.801; КВП спеціальний.

Оброблювані поверхні на операції: три зовнішніх поверхні, що шліфуються остаточно з дотриманням розмірів $\varnothing 30k6$ й $\varnothing 30h6$ (Ra 0,4–0,8 мкм).

Діаметр заготовки до шліфування: $\varnothing 30,2_{-0,039}$ мм.

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

Глибина різання (припуск) $h = 0,1$ мм.

Радіальна подача $S_p = 0,001$ мм/об.

Швидкість різання під час шліфування визначається швидкістю круга $V_{кр} = 35$ м/с.

Для діаметра круга 600 мм маємо частоту обертання круга $n_{кр} = 1114,7$ об/хв.

Швидкість обертання заготовки $V_3 = 20$ м/хв.

Частота обертання заготовки $n_3 = 212,3$ об/хв. Беремо фактичну частоту обертання заготовки $n_{3ф} = 210$ об/хв.

Фактична швидкість обертання заготовки $V_{3ф} = 19,8$ м/хв.

Ефективна потужність під час врізного шліфування становить $N_{еф} = 0,6$ кВт.

Потужність привода шліфувальної головки верстата JHU-2706 NC1 становить 3,7 кВт, що більше потужності різання. Таким чином визначені режими різання можуть бути реалізовані.

Машинний (основний) час на перехід становить $T_o = 2,38$ хв.

Окрім двох шийок $\varnothing 30k6$, що шліфують на першому переході операції методом врізної подачі, на другому переході методом поздовжньої подачі шліфують ще одну шийку $\varnothing 30h6$. При цьому маємо такі режими різання: $h = 0,1$ мм; $V_3 = 30,1$ м/хв; $n_3 = 320$ об/хв.; $t = 0,005$ мм/хід; $S_{пр} = 10$ мм/об, $T_o = 0,94$ хв.

З урахуванням оброблення усіх трьох шийок заготовки маємо основний час на операцію $T_o = 3,32$ хв.

2.8 Технічне нормування технологічних операцій

У дрібносерійному виробництві технічне нормування операцій технологічного процесу механічної обробки заготовок передбачає розрахунок норм штучно-калькуляційного часу, що визначають за формулою [11]:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + t_{п.з} / n, \quad (2.1)$$

де $t_{шт}$ – норма штучного часу на операцію, хв.;

$t_{п.з}$ – підготовчо-заключний час, хв.;

n – кількість деталей в партії запуску, шт.;

В свою чергу штучний час на операцію визначають за формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{обс} + t_{вдп}, \quad (2.2)$$

де t_o – основний час на операцію, хв.;

t_d – допоміжний час на операцію, хв.;

$t_{обс}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$t_{вдп}$ – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.

Допоміжний час на операцію визначають за формулою

$$t_d = t_{уст} + t_{пр} + t_{вим}, \quad (2.3)$$

де $t_{уст}$ – час на установку, закріплення й зняття заготовки з верстата, хв.;

$t_{пр}$ – час, що витрачається на керування верстатом, хв.;

$t_{вим}$ – час на контрольні вимірювання, хв.

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначають за формулою:

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (t_o + t_d) \cdot \frac{\alpha + \beta}{100}, \quad (2.4)$$

де α, β – відповідно, норми часу на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого, у відсотках від оперативного часу.

Операція фрезерна з ЧПК 040.

В п. 2.7 цієї роботи визначено основний час на установі А операції 040 $t_{0A} = 5,51$ хв.

Основний час на реалізацію установка Б операції дорівнює часу переходу установка А: $t_{0B} = 5,51$ хв.

В результаті основний час на фрезерну операцію становить:

$$t_o = 5,51 + 5,51 = 11,02 \text{ хв.}$$

Елементи допоміжного часу на операцію визначимо згідно з рекомендаціями [11]. В результаті згідно з формулою (2.3) маємо:

$$t_d = 0,32 + 0,32 \cdot 0,8 + 0,04 \cdot 2 + 0,1 \cdot 6 + 0,22 \cdot 2 = 1,7 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначимо за формулою (2.4):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (11,02 + 1,7) \cdot \frac{3,5 + 4}{100} = 0,95 \text{ хв.}$$

Таким чином штучний час на операцію згідно з формулою (2.2) становить

$$t_{\text{шт}} = 11,02 + 1,7 + 0,95 = 13,67 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час на операцію згідно з рекомендаціями [11] становить:

$$t_{п.з} = 16 + 7 = 23 \text{ хв.}$$

Тоді штучно-калькуляційний час згідно з формулою (2.1) дорівнює:

$$t_{шт.к} = 13,67 + 23 / 38 = 14,28 \text{ хв.}$$

Операція токарна з ЧПК 065.

Основний час на операцію підсумовується по всіх переходах при їх послідовному виконанні:

$$t_o = \sum_{i=1}^n toi, \quad (2.5)$$

де n – кількість переходів на операції.

В п. 2.7 цієї роботи визначено основний час на 1-й перехід установка А токарної операції з ЧПК 065 $t_{o_{A.1}}=0,12$ хв.

Основний час для інших переходів токарної операції визначимо з урахуванням режимів різання, визначених табличним методом згідно з [12]. Наведемо їх у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

№ пере ходу	Зміст переходу	Елементи режимів різання						
		D _{обр} , мм	L, мм	t, мм	I	S _п , мм/хв.	n, об/хв.	V, м/хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А.2	Точити канавку з дотриманням розмірів: $\angle 45^\circ$, R0,5, $\varnothing 24,8_{-0,52}$, $3 \pm 0,125$, R1; $17 \pm 0,055$	24,8	1,1	3,0	1	0,2	1000	77,9
А.3	нарізати різь з дотриманням розмірів M27 \times 1,5-8g, $15 \pm 0,215$	27	14	-	5	1,5	200	17,0
Б.1	точити шийку з підрізанням й зняттям фасок, з дотриманням розмірів $1,5 \times 45^\circ$; $\varnothing 27_{-0,084}$, $22 \pm 0,065$; $1,5 \times 45^\circ$; правити три галтелі з дотриманням розмірів R2, $\varnothing 38_{-0,25}$, $243_{-0,185}$, $158_{-0,16}$; R1, $\varnothing 30,2h8$, $270_{-0,21}$	27	26/3 /3	1,0	1	0,4	1000	84,8
Б.2	точити канавку з дотриманням розмірів $\angle 45^\circ$, R0,5, $\varnothing 24,8_{-0,52}$, $3 \pm 0,125$, R1	24,8	1,1	3,0	1	0,2	1000	77,9
Б.3	нарізати різь з дотриманням розмірів M27 \times 1,5LH-8g, $20 \pm 0,26$	27	19	-	5	1,5	200	17,0

Для зазначених режимів різання визначимо норму t_{0i} :

$$t_{0A.2} = (3 + 1,1 + 0) / (0,2 \cdot 1000) = 0,02 \text{ хв.},$$

$$t_{0A.3} = (3 + 14 + 3) \cdot 5 / (1,5 \cdot 200) = 0,33 \text{ хв.},$$

$$t_{0B.1} = [3 + 26 + 3 + (3 + 3 + 3) \cdot 2] / (0,4 \cdot 1000) = 0,13 \text{ хв.},$$

$$t_{0B.2} = (3 + 1,1 + 0) / (0,2 \cdot 1000) = 0,02 \text{ хв.},$$

$$t_{0B.3} = (3 + 19 + 3) \cdot 5 / (1,5 \cdot 200) = 0,42 \text{ хв.}$$

Зрештою, основний час на токарну операцію складе:

$$t_o = 0,12 + 0,02 + 0,33 + 0,13 + 0,02 + 0,42 = 1,04 \text{ хв.}$$

Елементи допоміжного часу на операцію визначимо згідно з рекомендаціями [11]. В результаті згідно з формулою (2.3) маємо:

$$t_d = 0,45 + 0,45 \times 0,8 + 0,42 \times 2 + 0,45 \times 2 = 2,55 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначимо за формулою (2.4):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (1,04 + 2,55) \cdot \frac{4 + 4}{100} = 0,29 \text{ хв.}$$

Таким чином, штучний час згідно з формулою (2.2) складає:

$$t_{\text{шт}} = 1,04 + 2,55 + 0,29 = 3,88 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час на операцію згідно з рекомендаціями [11] становить:

$$t_{\text{п.з}} = 18 + 10 = 28 \text{ хв.}$$

Тоді штучно-калькуляційний час згідно з формулою (2.1) дорівнює:

$$t_{\text{шт.к}} = 3,88 + 28 / 38 = 4,62 \text{ хв.}$$

Операція круглошліфувальна з ЧПК 075.

Основний час на круглошліфувальну операцію визначено в пункті 2.7 цієї роботи і становить $t_o = 3,32$ хв.

Елементи допоміжного часу на операцію визначимо згідно з рекомендаціями [11]. В результаті згідно з формулою (2.3) маємо:

$$t_d = 0,35 + 1,1 \cdot 3 = 3,65 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначимо за формулою (2.4):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (3,32 + 3,65) \cdot \frac{9 + 4}{100} = 0,91 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час на операцію згідно з рекомендаціями [11] становить $t_{\text{п.з}} = 17$ хв.

Тоді штучно-калькуляційний час згідно з формулою (2.1) дорівнює:

$$t_{\text{шт.к}} = 3,32 + 3,65 + 0,63 + 0,28 + (17 / 38) = 8,33 \text{ хв.}$$

Аналогічним чином визначено режими різання та норми штучно-калькуляційного часу та на інші операції технологічного процесу механічного оброблення заготовки «вала-шестерні 1.1550-21.01-02». Результати розрахунків занесені до маршрутних та операційних карт комплексу технологічної документації.

2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Відповідно до завдання, необхідно спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю радіальних биттів циліндричних поверхонь $\varnothing 30k6$ «вала-шестерні 1.1550-21.01-02» щодо центрів деталі з допуском $T_f = 0,01$ мм, див. рисунок 1.1.

В даний час контроль радіальних биттів «вала-шестерні» здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема жорстких центрів токарного верстата і магнітної індикаторної стійки, що переміщається вздовж утворюючих шийок деталі. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка радіального биття проводиться із залученням верстатного обладнання, розташованого на механічній ділянці далеко від столу ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу оброблення та якості виробів. Крім того, контроль биття по кожній шийці здійснюється поперемінно і великий вплив на якість контролю в даному випадку мають суб'єктивні особливості оператора, у зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25 % [12].

Загалом контроль радіальних биттів «вала-шестерні» не викликає будь-яких труднощів, оскільки проставляння відхилень розташування поверхонь є правильним, існують досить розвинені та точні базові поверхні. Є можливість дотримуватися принципу суміщення конструкторської та вимірювальної баз.

Для поверхні $\varnothing 30k6$ допуск на радіальне биття в 0,01 мм відповідає 5-му ступеню точності згідно з СТ РЕВ 636-77 [2].

Продукція, що випускається, за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати сучасним вимогам діючих стандартів та технічних умов. Таку продукцію відносять до 1 категорії якості. Обмежимося 3-ою категорією контролю [13]. Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю ГОСТ 20736-75 (СТ РЕВ 1672-79). Встановимо такі показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [13]. Виходячи з цього, спроектуємо нерозбірний спеціальний пристрій.

Радіальне биття поверхні обертання визначається сумарним відхиленням від циліндричності поверхні та відхиленням від співвісності щодо базової осі та чисельно дорівнює різниці Δ найбільшої та найменшої відстані від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі у перерізі площиною,

перпендикулярної базової осі [2].

Виходячи з вищевказаних визначень, під час контролю радіальних биттів, останні визначатимемо за колами циліндричних поверхонь $\varnothing 30k6$ на відстані 3 мм від торців відповідних поверхонь деталі. Таким чином, за контрольовані поверхні приймаємо шийки з $30k6$. Визначимо параметри точності цих поверхонь.

Циліндричні поверхні $\varnothing 30k6$ виконані з точністю за IT6 та допусками: $T_{\varnothing 30k6} = 0,013$ мм, ГОСТ 25347-82 (СТ РЕВ 144-85) [2]. Номінал розміру – 30 мм. Верхнє відхилення $es = +0,015$ мм, нижнє відхилення – $ei = +0,002$ мм.

Точність форми контрольованих поверхонь на кресленні «вала-шестерні» не обумовлено. Тому розглянемо відхилення від круглості циліндричних поверхонь. При цьому обговорюємо частинні відхилення від круглості у вигляді огранювання та овальності. Так як допуск на точність форми поверхні не вказаний, ми приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. У цьому випадку для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск круглості становить 30% від допуску на розмір [2]:

$$T_O = 0,3 \cdot T_{\varnothing 30k6} = 0,3 \cdot 0,013 = 0,0039 \text{ мм,}$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,004 мм за 5-м ступенем точності згідно з СТ РЕВ 636-77 [2].

За точністю взаємного розташування поверхонь на кресленні «вала-шестерні» обумовлено радіальні биття циліндричних поверхонь $\varnothing 30k6$ щодо центрів деталі з допуском $T_{\uparrow} = 0,01$ мм, що відповідає, як уже зазначалось 5-му ступеню точності (СТ РЕВ 636-77) [2].

Шорсткість контрольованих поверхонь – 0,4 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789-73, що відповідає точності поверхонь, що розглядаються.

Контроль заданих параметрів здійснюється після завершення механічної обробки «вала-шестерні» на столі ВТК. Деталь за своїми конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технологічними – до класу валів.

Маса деталі – 4,1 кг. «Вал-шестерня» виготовляється з високоякісної високолегованої сталі 38Х2МЮА ГОСТ 5632-72.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базові можуть лише центрові отвори, щодо яких і заданий контроль радіального биття. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та вимірювальної баз, що визначають контроль заданих параметрів.

Аналізуючи параметри точності центрових отворів, слід зазначити, що їх робочі поверхні виконані під кутом 60° і мають шорсткість 0,4 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789-73. Таким чином, можна дійти висновку про їхню придатність на роль базових поверхонь.

На малюнку 2.8 представлено схему базування контрольованої деталі. З малюнка 2.8 видно, що в даному випадку, при базуванні «вала-шестерні» в жорстких центрах реалізується подвійна напрямна база, що позбавляє деталь двох поступальних і двох обертальних переміщень вздовж і навколо осей Z та Y при горизонтальному розміщенні осі деталі (вісь X), а також опорна база, що позбавляє деталь ще одного переміщення (всього п'яти) вздовж осі X. Вакантним залишається обертання навколо осі X.

Якщо тепер побудуємо таблицю жорстких односторонніх координатних зв'язків (таблиця 2.6), то побачимо, що за такої схеми базування деталь позбавлена 10 односторонніх зв'язків ($x, x', y, y', z, z', \omega_z, \omega'_z, \omega_y, \omega'_y$) й залишилося тільки чотири з них (ω_x, ω'_x). Оскільки обрана схема базування дозволила поєднати конструкторську та вимірювальну бази для параметрів, що вимірюються, то $\varepsilon_{\delta}^{\uparrow} = 0$.

Таблиця 2.6

Характер зв'язку	Індекс односторонньої координати											
	x	x'	y	y'	z	z'	ω_x ,	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Реакція опори	R	R	R	R	R	R			R	R	R	R

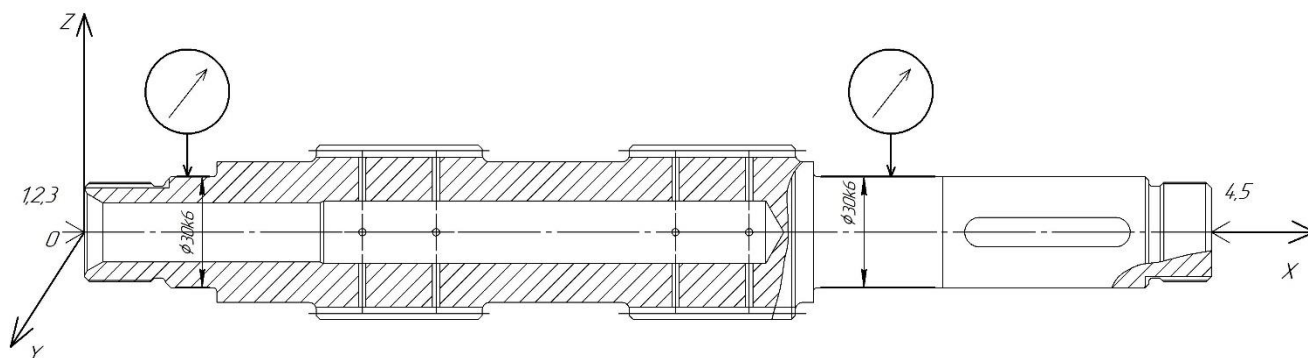


Рисунок 2.8 – Схема базування та контролю деталі

У процесі контролю радіальних биттів поверхонь «вала-шестерні» вісь деталі розташовуватимемо горизонтально, базуючи деталь у жорстких центрах. У цьому випадку правому центру необхідно передати незначне зусилля закріплення вздовж осі деталі.

Контроль заданого параметра буде проводитись на столі ВТК, розташованому поруч із механічною дільницею. Температура у робочій зоні – $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$; відносна вологість повітря – $\varphi_{\text{н}} = 80\%$; атмосферний тиск – $P_{\text{ат}} = 86\text{--}106 \text{ кПа}$; швидкість руху повітря – $v_{\text{в}} \leq 0,5 \text{ м/с}$; частота вібрацій, що викликана верстатами $f = 20\text{--}30 \text{ Гц}$. Основним фактором, що визначає працездатність, є освітленість. Тому наряду із загальним передбачається місцеве освітлення з $E_{\text{ф}} = 1000 \text{ люкс}$ [13].

Тепер зробимо вибір методів контролю.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому, оскільки його простіше зробити при контролі радіальних биттів контрольованих поверхонь «вала-шестерні». При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованого параметра і точність, що отримується, цілком достатня для контрольованого допуску.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це зумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу

деталі є високими і контрольовані поверхні без деформацій і змінання можуть сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому вимірювальне зусилля сприятиме видаленню бруду та сторонніх тіл з місця вимірювання.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми з радіусом щонайменше 5 мм.

Враховуючи значну твердість контрольованої поверхні, геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 5 Н. У цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою:

$$\Delta_{\text{зус}} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{\text{зус}}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,6 \text{ мкм} .$$

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

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

$P_{\text{зус}}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм;

Деталь контролюється при повороті на 360° , що притаманно динамічному методу контролю.

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

Налаштування КВП проводитиметься по контрольованих поверхнях без використання еталона.

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

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлено значною мірою контактним методом контролю. На його користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну

апробацію на точність та надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних та надійних характеристик, якими повинен мати ЗВ.

Сумарна похибка вимірювання КВП, що допускається, знаходиться як частина допуску ІТ контрольованого параметра, зокрема, радіального биття контрольованих поверхонь:

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

де K – коефіцієнт, що залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра й може приймати значення в межах від 0,2 до 0,35.

Для 5-го ступеня точності беремо $K = 0,35$ [13]. Маємо:

$$[\delta_{\text{вим}}] = 0,35 \cdot 10 = 3,5 \text{ мкм.}$$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) контролю радіального биття:

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

$$[\Delta_{\text{ин}}] = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ мкм.}$$

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

$$[C] = [\Delta_{\text{ин}}] = 2 \text{ мкм.}$$

Інтервал розділення шкали $[a]$ беремо 1,0 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Тут

необхідно враховувати умови, в яких працюватиме КВП, і насамперед освітленість.

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

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 10 = 40 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювання засобу вимірювання (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Приймаємо [B] = 0,1 мм.

Вимірювальне зусилля [P_{зус}] обумовлюється характером контрольованих поверхонь під час вимірювання і жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску параметра, що вимірюється. Значення вимірювального зусилля прийнято раніше. Оскільки обмеження з його величини відсутні, приймаємо [P_{зус}] = 5 Н.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлюємо величиною [ΔP_{зус}] = 1 Н.

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання t(P) до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи P. Відповідно до РД 50-650-87 обмовимо кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій:

$$[t(P)] = 2000 \cdot 4 = 8000 \text{ циклов.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи поставимо [P] = 0,85, виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування.

Згідно з цінами на контрольно-вимірювальні засоби вітчизняного та імпортного виробництва, встановимо витрати на придбання ЗВ: [Ц] = 1600 грн.

Після того, як стали відомі допустимі значення за метрологічними, експлуатаційними та надійними показниками, можна приступити до пошуку ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого перебувають у такому

співвідношенні з допустимими:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq [\Delta_{\text{ін}}]; \quad P_{\text{зус}} \leq [P_{\text{зус}}]; \quad c \leq [c]; \quad A \geq [A];$$

$$a \geq [a]; \quad B \geq [B]; \quad P \geq [P]; \quad \Delta P \leq [\Delta P];$$

$$t(P) \geq [t(P)]; \quad Ц \leq [Ц].$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів та таблиць технічних характеристик важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Виходячи з перерахованих вище допустимих метрологічних характеристик ЗВ вибираємо індикатор 14.10801 фірми ТЕЗА.

Індикатор ТЕЗА 14.10801 має такі метрологічні характеристики:

- ціна поділки шкали – 1 мкм;
- модель (номінальний діаметр циферблата) – Ø80;
- діапазон індикації – 1 мм;
- відстань між штрихами шкали – 2 мм;
- вимірювальне зусилля – 1,5 Н;
- похибка вимірювального зусилля за рахунок реверсивності – 0,4 Н;
- діапазон загальної похибки – 2 мкм максимум;
- повторюваність, поле розсіювання (± 2 с) – 0,5 мкм максимум;
- похибка за рахунок реверсивності, поле розсіювання (± 2 с) – 0,5 мкм максимум.

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

$$\Delta_{\text{ін}} = 0,002 \text{ мм} < 0,00245 \text{ мм} = [\Delta_{\text{ін}}]; \quad C = 0,001 < 0,002 = [C];$$

$$a = 2,0 \text{ мм} > 1,0 \text{ мм} = [a]; \quad A = 0,5 \text{ мм} > 0,04 \text{ мм} = [A];$$

$$P_{зус} = 1,5 \text{ Н} < 5 \text{ Н} = [P_{зус}]$$

$$\Delta P = 0,4 \text{ Н} < 1,0 \text{ Н} = [\Delta P];$$

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

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

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

$$Ц = 1400 \text{ грн} < 1600 \text{ грн} = [Ц].$$

Інші ЗВ мають надмірну точність і меншу надійність. Тому для нашого КВП найбільш підходящим вважаємо індикатор ТЕЗА 14.10801.

На малюнку 2.9 представлено кінематичну схему проєктованого КВП.

Тепер визначимо фактичну сумарну похибку КВП.

При контролі радіальних биття контрольованих поверхонь "вал-шестірні" сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_{\delta}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{ин}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{зус}^2},$$

де ε – похибка положення контрольованої деталі у пристосуванні. Вона визначається за формулою:

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

ε_{δ} – похибка базування. У нашому випадку для базування в центрах під час контролю радіального биття вона дорівнює нулю;

ε_3 – похибка закріплення. Оскільки для закріплення деталі використовуємо жорсткі центри з незначним зусиллям закріплення, похибка закріплення як така відсутня;

$\varepsilon_{пр}$ – неточність виготовлення елементів пристосування, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів це ніяк не впливає;

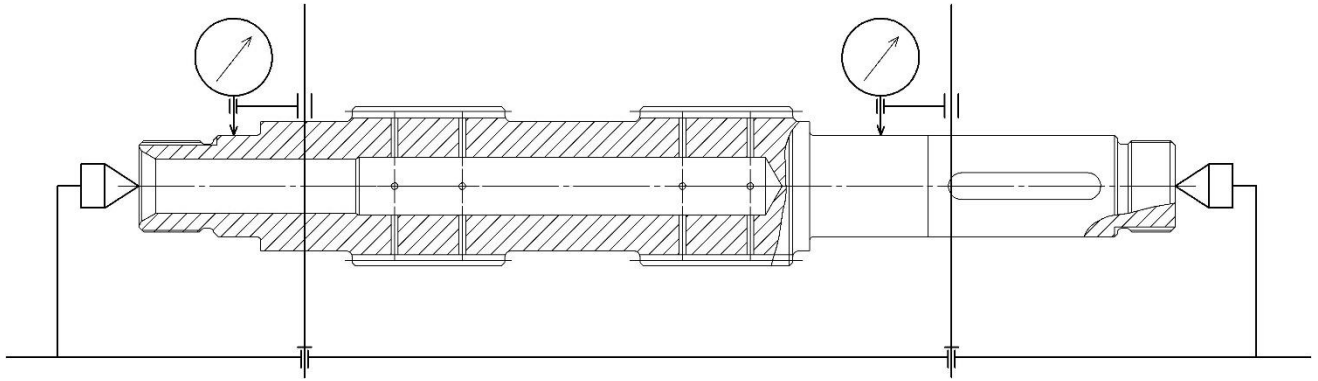


Рисунок 2.9 – Кінематична схема КВП

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2} = 0 \text{ мкм,}$$

Δ_b – похибка передаточного пристрою. Оскільки в конструкції нашого КВП передаточні пристрої відсутні, беремо $\Delta_b = 0$;

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі. Оскільки для контролю заданих параметрів еталон не потрібний, беремо $\Delta_e = 0$;

Δ_{in} – похибка вибраного засобу вимірювання, $\Delta_{in} = 2$ мкм;

$\Delta_{зус}$ – похибка, що викликана вимірювальними зусиллями за рахунок контактної деформації поверхні деталі дорівнює:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot 0,81^3 \sqrt{\frac{1,5^2}{5}} = 0,27 \text{ мкм.}$$

Δ_t – похибка, спричинена зміною температури навколишнього середовища. Оскільки контроль здійснюється на столі ВТК, після вирівнювання температур контрольованої деталі та КВП, беремо $\Delta_t = 0$.

У результаті, підставивши знайдені значення елементарних похибок, отримаємо:

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2 + 2^2 + 0,27^2 + 0^2} = 2,02 \text{ мкм} < 3,5 \text{ мкм} = [\delta_{\text{вим}}],$$

отже, спроектований КВП з контролю радіальних биттів є працездатним.

Будова та принцип дії КВП.

Спроектований КВП складається з литої плити 4, по краях якої за допомогою восьми гвинтів 5 і чотирьох штифтів 7 встановлені та закріплені передня та задня бабки пристосування з центром переднім 3 та центром заднім 2, відповідно. У середній частині плити 4 за допомогою двох пар гвинтів 5 та двох пар штифтів 7 закріплено дві індикаторні стійки 1, на яких, у свою чергу, встановлені індикатори 6.

Спроектований пристрій працює так. Контрольована «вал-шестерня» встановлюється центровими отворами в жорстких задньому 2 і передньому 3 центрах пристосування, підтискаючись обертанням рукоятки правого центру 2 задньої бабки. Потім до контрольованих поверхонь $\varnothing 30_{k6}$ підводяться вимірювальні наконечники індикаторів 6 і після повороту деталі на 360° за різницею найбільшого та найменшого показань кожного з індикаторів говорять про величину радіальних биттів контрольованих поверхонь «вала-шестерні».

2.10 Висновок

У відповідь на зауваження, сформульовані під час аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі, розроблено перспективний технологічний процес виготовлення «вала-шестерні», зокрема:

1) спроектовано раціональний маршрут механічного оброблення заготовки з дотриманням принципів поетапності, сталості технологічних баз, суміщення технологічних, конструкторських та вимірювальних баз;

2) замість морально та фізично застарілого металорізального устаткування запропоновані для використання сучасні верстати та обробні центри з ЧПК, що у свою чергу дозволило усунути з маршруту малопродуктивні операції

ручного розмічування, підвищити продуктивність оброблення заготовок, стабілізувати точність їх оброблення, поліпшити умови праці робочих;

3) виконано техніко-економічне обґрунтування вибору способу отримання заготовки, визначені припуски та розміри заготовки табличним методом, на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні деталі $\varnothing 30h6$ операційні припуски та розміри уточнені аналітичним методом;

4) виконаний детальний аналіз трьох технологічних операцій (фрезерної, токарної та круглошліфувальної з ЧПК) з обґрунтуванням вибору схем базування заготовки, вибору верстатів та технологічної оснастки, режимів різання та технічних норм часу;

5) з метою удосконалення операції технічного контролю (з контролю радіального биття поверхонь деталі) запропоновано спеціальну конструкцію контрольного-вимірювального пристрою, використання якого, зокрема, дозволить підвищити якість та продуктивність контрольної операції;

6) для розширення технологічних можливостей вибраних для перспективного технологічного процесу верстатів та обробних центрів з ЧПК, пропонується розглянути можливість проектування верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки з механізованим приводом її закріплення та оптимізації його конструкції з використанням методів статичного та динамічного аналізів.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ

3.1 Проектування верстатного пристрою

Спроекуємо верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки «вала-шестерні» при обробці двох протилежних поздовжніх пазів шириною 8N9 на фрезерній операції з ЧПК 040, що виконується на вертикальному обробному центрі моделі V-650. Спроекуємо спеціальний пристрій з механізованим приводом закріплення заготовки, що підвищить точність обробки внаслідок більш точної орієнтації двох протилежних пазів (розгорнутих на 180°), знизить розряд верстатника та собівартість обробки, полегшить умови праці робочого.

На операції 075 фрезеруються два пази шириною 8N9, глибиною $4,3^{+0,18}$ мм, довжиною $45 \pm 0,31$ мм на відстані $21 \pm 0,26$ мм від торця заготовки. Таким чином, лінійні розміри обробляються з різною точністю. Ширина паза забезпечується шпонковою фрезою 035-2235-1633 P6M5 ТУ 2-035-782-80 із швидкорізальної сталі з допуском $T_8 = 36$ мкм, що відповідає ІТ9. Допуск на глибину паза $T_{4,3} = 180$ мкм, що відповідає ІТ13, а допуск на довжину паза $T_{45} = 620$ мкм, що відповідає ІТ14. Точність форми поверхонь паза кресленням деталі не регламентовано і ми приймаємо її в межах допуску відповідних розмірів паза. При цьому обмовляємо відхилення від прямолінійності та площинності бокових стінок паза. Точність взаємного розташування пазів на кресленні деталі також не зазначено, і ми обговорюватимемо допуск на зсув (перекіс) осі паза щодо осі деталі в межах допуску на ширину паза а саме: $T = 36$ мкм, що відповідає 8–9 ступеням точності за СТ РЕВ 636-77. Шорсткість оброблюваних поверхонь паза – $3,2$ мкм Ra.

На цю операцію заготовка надходить після чистової токарної операції. На цей час найбільш точно обробленими є циліндричні шийки деталі $\varnothing 30,6h10$.

З усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку на роль головної

базові поверхні можуть претендувати тільки дві циліндричні шийки $\varnothing 30,6h10$, див. обґрунтування вибору схем базування на фрезерну операцію в п. 2.4 цієї роботи. Будучи прийнятою за базові поверхні, при використанні призм, вони позбавляють заготовку чотирьох ступенів свободи, тобто є подвійною напрямною базою.

Як опорну базу використовуємо найближчий до пазу торець заготовки, щодо якого витримується відстань $21 \pm 0,26$ мм. В результаті заготовка позбавляється ще одного ступеня свободи (п'ятого). Останню (шосту) ступінь свободи заготовку позбавимо фіксуючи її від провороту навколо власної осі тільки на установі Б, для чого опорну базу встановимо по виконаному на установі А першому пазу.

У попередньому розділі цієї роботи охарактеризовано точні параметри пропонуваніх базових поверхонь. Порівнюючи параметри точності базових поверхонь з параметрами точності поверхонь оброблюваних пазів, бачимо, що вони зіставні і забезпечують виконання вимог щодо точності, що пред'являються до обробки.

Виходячи з наведених вище міркувань, пропонується така схема дії сил різання та сил закріплення заготовки під час фрезерування двох поздовжніх пазів, див. рисунок 3.1.

Як видно з рисунку 3.1, величину зусилля закріплення необхідно визначати з умови неповороту заготовки на опорних поверхнях призм від сили різання P_z :

$$M_{\text{тр}} \geq M_{\text{різ}},$$

або

$$M_{\text{тр}} = K_{\text{зап}} \cdot M_{\text{різ}},$$

де $M_{\text{тр}}$ – момент тертя, викликаний силами закріплення;

$M_{\text{різ}}$ – момент різання від сил різання;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу.

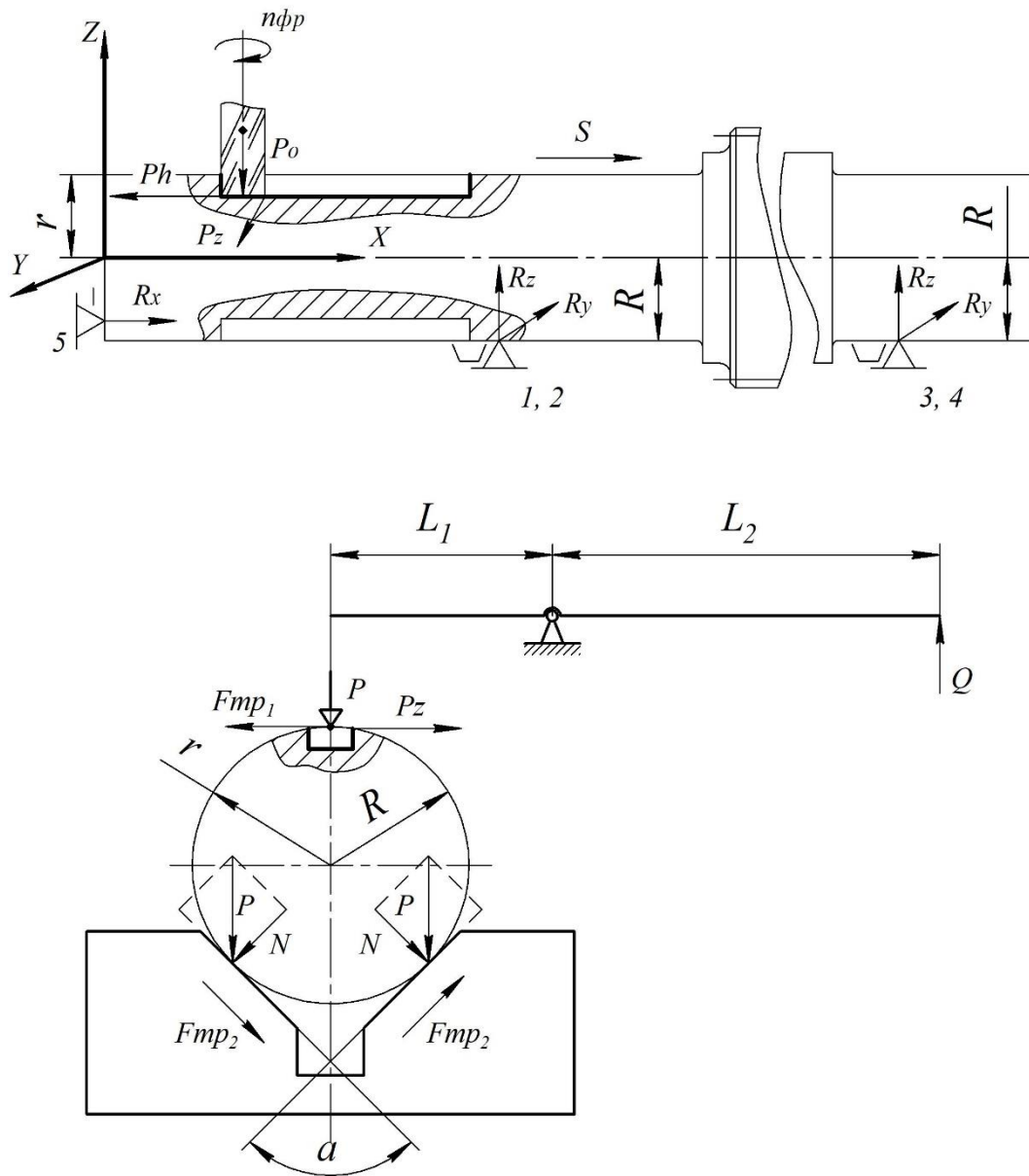


Рисунок 3.1 – Схема дії сил різання та сил закріплення на заготовку

Як видно з рисунка 3.1, недоліком прийнятого способу врівноваження сил є високий рівень енергетичних витрат на закріплення. Проте конструктивні особливості деталі є такими, що до цієї операції (на даному установі А) вона ще немає елементів, здатних сприймати момент різання (зокрема ще немає інших пазів). І тут, врівноваження сил різання здійснюється непрямим способом – силами тертя. Однак цей недолік компенсується простотою силоутворюючого механізму – важеля з пневматичним приводом.

Виконаємо розрахунок сил закріплення, див. рисунок 3.1.

Момент тертя визначається за умови:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot r,$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя;

r – радіус (плече) прикладання сили тертя;

$$F_{\text{тр}} = N \cdot f,$$

де N – нормальна складова сили закріплення;

f – коефіцієнт тертя;

$$N = P \cdot \sin(\alpha/2),$$

де P – сила закріплення;

α – кут призми.

В результаті маємо:

$$M_{\text{тр}} = P \cdot r \cdot f \cdot \sin(\alpha/2).$$

З іншого боку момент різання дорівнює:

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot R,$$

де P_z – сила різання під час фрезерування паза;

R – максимальний радіус прикладання сили різання.

В результаті маємо рівняння для визначення сили закріплення заготовки:

$$P = \frac{K_{\text{зан}} \cdot P_z \cdot R}{r \cdot f \cdot \sin(\alpha / 2)}.$$

Коефіцієнт запасу визначимо згідно з рекомендаціями [9] за формулою

$$K_{\text{зап}} = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де $K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1,6$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при затупленні фрези;

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує змінення припуску на оброблення;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує переривчасті умови різання;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує тип привода;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зручність обслуговування привода;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на опорах.

В результаті маємо:

$$K_{\text{зап}} = 1,5 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,4.$$

Беремо $K_{\text{зап}} = 2,5$ [9].

Силу різання P_z під час фрезерування паза шириною 8 мм було визначено в п. 2.7 цієї роботи: $P_z = 460,4$ Н.

Також маємо: $R = r = 15,3$ мм, див. рисунки 1.1, 2.1 та 3.1, коефіцієнт тертя: $f = 0,3$ [9]; кут $\alpha = 90^\circ$.

В результаті маємо:

$$P = \frac{2,5 \cdot 460,4 \cdot 15,3}{15,3 \cdot 0,3 \cdot \sin(90 / 2)} = 5426 \text{ Н.}$$

Зусилля на штоку пневмоприводу визначаємо з урахуванням схеми 3.1:

$$Q = P \cdot L_1 / L_2,$$

де L_1, L_2 – плечі важеля передаточного пристрою.

При розмірах плечей $L_1 = 50$ мм, $L_2 = 100$ мм, маємо:

$$Q = 5426 \cdot 50 / 100 = 2713 \text{ Н.}$$

Тепер визначимо діаметр пневмокамери односторонньої дії зі зворотною пружиною:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (Q + q)}{\pi \cdot p \cdot \eta}},$$

де q – жорсткість зворотної пружини, $q = 9$ кгс;

p – тиск в пневмосистемі, беремо $p = 4$ кгс/см²;

η – коефіцієнт корисної дії пневмопривода, беремо $\eta = 0,85$.

В результаті маємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (271,3 + 9)}{\pi \cdot 4 \cdot 0,85}} = 10,2 \text{ см.}$$

Беремо найближчий більший діаметр пневмокамери із стандартного ряду: $D = 125$ мм. В цьому випадку зусилля на штоку пневмокамери дорівнює 4080 Н.

На завершення виконаємо розрахунки верстатного пристрою з точки зору можливості забезпечення точності оброблюваних поверхонь.

До розрахункових параметрів, які більшою мірою вплинуть на досягнення заданих допусків оброблюваної заготовки, буде відхилення від паралельності загальної осі опорних призм пристосування щодо осі призматичних шпонок, якими базується пристосування в Т-подібних пазах столу верстата. Останні можуть призвести до зміщення (перекосу) осі паза, що фрезерується, щодо осі

заготовки в горизонтальній площині. Зазначений допуск, як зазначалося вище, ми прийняли рівним $T = 0,036$ мм. Тоді допустиму похибку пристосування визначимо за формулою [9]:

$$E_{np} = T - K \sqrt{(K_1 \cdot E_{\sigma})^2 + E_z^2 + E_y^2 + E_u^2 + E_n^2 + (K_2 \cdot \omega)^2},$$

де $K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального закону розподілення окремих складових рівняння;

$K_1 = 0,8$ – для випадків, коли $E_{\sigma} \neq 0$;

E_{σ} – похибка базування заготовки. В нашому випадку за умови базування заготовки в призмах в горизонтальній площині маємо $E_{\sigma} = 0$;

E_z – похибка закріплення, у нашому випадку беремо $E_z = 10$ мкм [4];

E_y – похибка установки пристрою на столі верстата; беремо $E_y = 0$ мкм;

E_{zn} – похибка від зношення установчих елементів пристрою; беремо $E_{zn} = 0$ мкм за умови рівномірного зношення елементів;

$E_{п}$ – похибка установки й прекоса інструмента на верстаті; беремо $E_{п} = 10$ мкм;

$K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення;

$\omega = 20$ мкм – середня економічна точність оброблення поверхні [2].

Для зазначених умов маємо:

$$E_{np} = 36 - 1,2 \sqrt{0^2 + 10^2 + 0^2 + 0^2 + 10^2 + (0,6 \cdot 20)^2} = 13,7 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних приймаємо допуск на відхилення від паралельності загальної осі установчих призм пристрою щодо осі призматичних шпонок в межах 10 мкм.

Спроектований пристрій складається з литої плити 11, див. складальне креслення пристрою, на якій за допомогою штифтів 34 і гвинтів 21 закріплені дві

опори 8 з призмами 25. У середній частині плити 11 встановлено стійку 16 з підпружиненим пружиною 14 прихватом 12. До останнього підведено вісь 10, встановлену в штоку 17 пневмокамери пристрою. Пневмокамера являє собою закріплену за допомогою болтів 18 і штифтів 33 корпус 5 з кришкою 6, діафрагмою 4, верхньої шайбою 3 і нижньою шайбою 7, штоком 17 і пружиною 15. У конструкції пристосування використовуємо пневмокамеру односторонньої дії зі зворотною пружиною 15. В лівій частині плити 11 за допомогою гвинтів 19 і штифтів 35 закріплені торцевий упор 2 і пружний конічний опорний палець 1. Пристосування базується в Т-подібних пазах стола вертикального обробного з центра з ЧПК моделі V-650 за допомогою двох призматичних шпонок 32. Установка пристрою на стіл верстата здійснюється за допомогою двох рим-болтів 26, розташованих по краях плити 11 пристрою.

Пристрій працює в такий спосіб.

Оброблювана заготовка на установі А фрезерної операції з ЧПК 040 встановлюється посадковими поверхнями $\varnothing 30,6h10$ на призми 25 пристосування з упором у лівий торець об упор 2. Потім за допомогою крана керування (на кресленні пристосування кран не показаний) в нижню порожнину пневмокамери подається повітря, що переміщає діафрагму 4 з шайбами 3, 7, штоком 17 та віссю 10 вгору. В результаті, вгору переміщається і правий кінець прихвата 12, передаючи зусилля закріплення на заготовку, що обробляється. Після обробки паза у зворотній послідовності відбувається розкріплення заготовки. Краном керування перекидається подача повітря в нижню порожнину пневмокамери, в результаті чого під впливом зворотної пружин 15 діафрагма 4 з шайбами 3, 7 і штоком 17 переміщуються вниз, звільняючи від сил закріплення прихват 12 із заготовку. На установі Б заготовка розгортається на 180° , фіксуючись від провороту навколо своєї осі по вже виконаному на установі А пазу за рахунок введення в нього знизу пружного конічного пальця 1. Закріплення та розкріплення заготовки на установі Б відбувається у тій же послідовності. Після остаточної обробки заготовки та зняття її з пристосування прихват 12 для зручності утримується у верхньому положенні пружиною 14.

3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу

Статичний аналіз. З метою пошуку слабких місць та оптимізації запропонованої конструкції верстатного пристрою здійснимо дослідження системи «пристрій-заготовка» методом статичного аналізу з використанням програми Ansys Workbench. Програмний комплекс Ansys Workbench є потужною системою розрахунку скінчено-елементних моделей інженерних конструкцій. Для статичного аналізу конструкції верстатного пристрою застосуємо модуль Static Structural (статичний аналіз конструкції). Цей модуль дозволяє дослідити поведінку конструкції, що працює в умовах статичного навантаження.

Для статичного дослідження системи «пристрій-заготовка» було побудовано її твердотільну модель з використанням програми Компас-3D, див. рисунок 3.1.

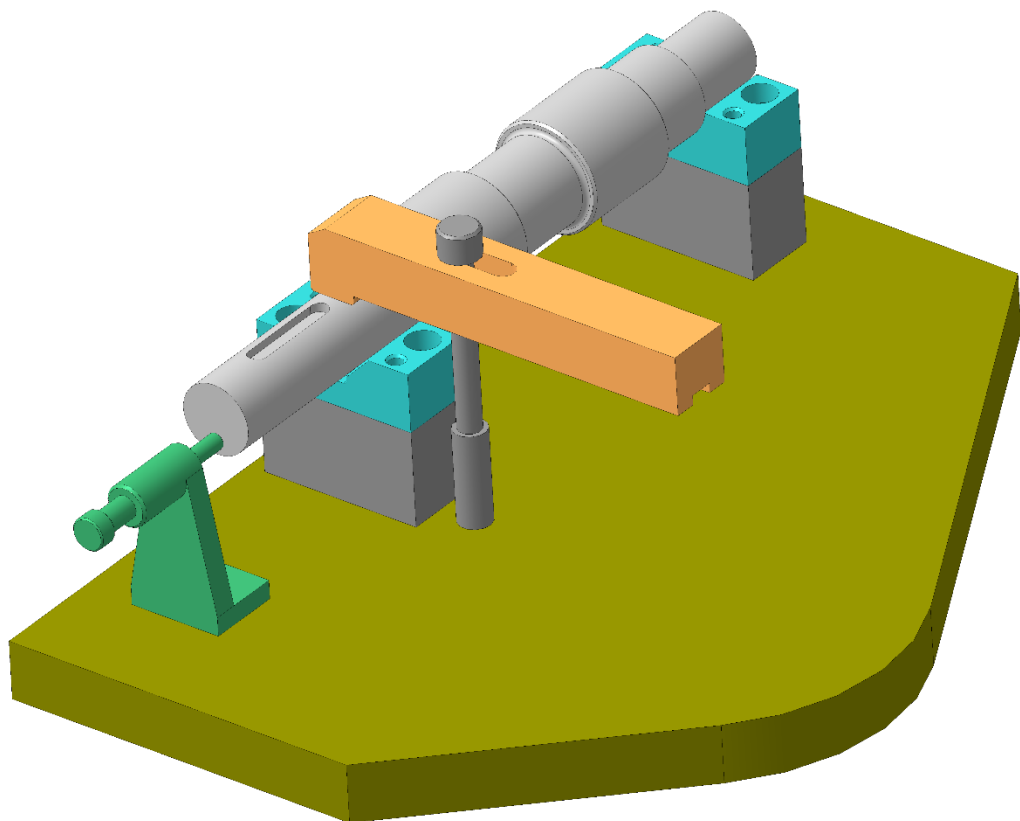


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка»

Як видно з рисунка 3.1, до складу досліджуваної системи увійшли тільки основні елементи пристрою та заготовка, які безпосередньо виконують функції базування та закріплення заготовки та (або) входять до складу замкненого силового ланцюга, що діє в системі верстатного пристрою.

Після підготовки твердотільної моделі системи її імпортують до модулю «Геометрія» Ansys Workbench, див. рисунок 3.2.

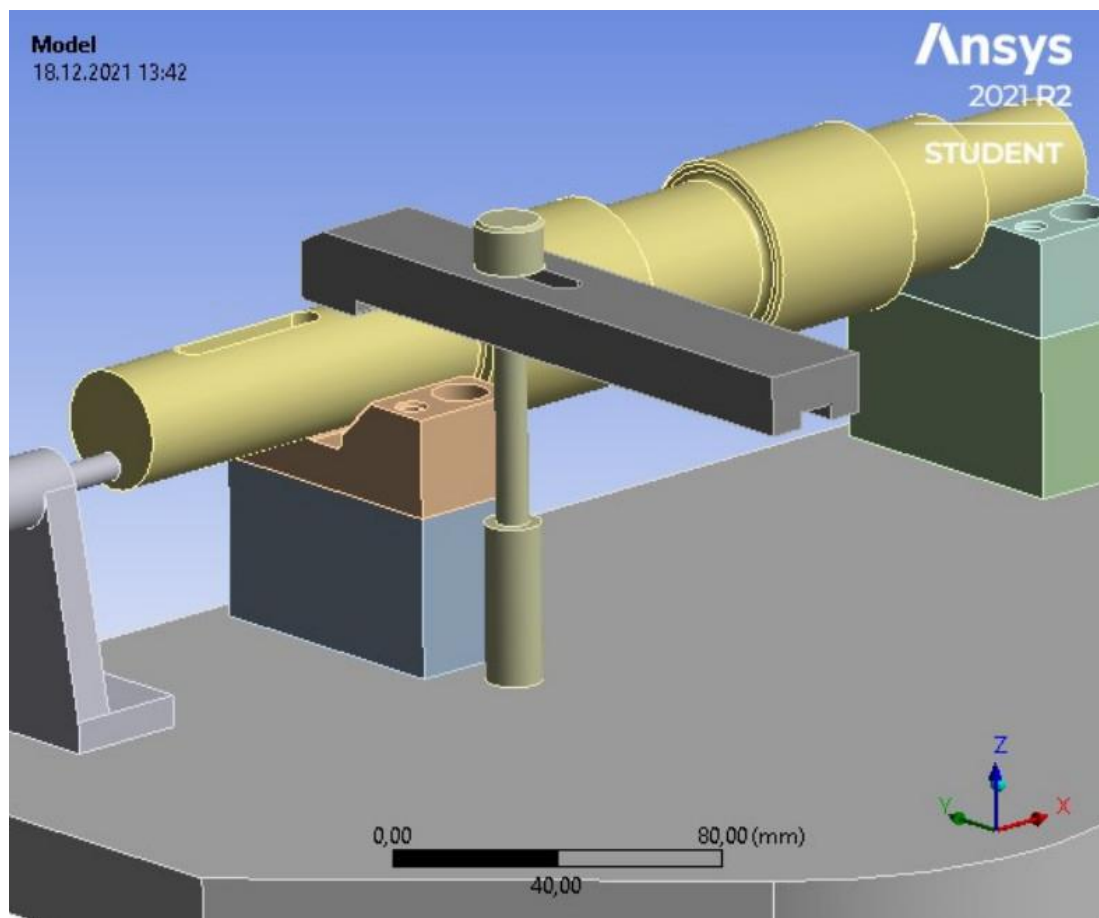


Рисунок 3.2 – Імпорт геометричної моделі до комплексу Ansys Workbench

Для отримання адекватних результатів розрахунку моделі необхідно задати граничні умови, які діятимуть під час розрахунку. Це зокрема фізико-механічні властивості матеріалів елементів системи та характеристика сполучених поверхонь (тертя ковзання, тертя кочення, відсутність тертя тощо), а також статичні навантаження, що діють в системі (на систему).

Для досліджуваної моделі використовуємо властивості матеріалів, що задані в комплексі Ansys Workbench за замовчуванням. Усі матеріали представлені як

конструкційна середньовуглецева сталь з такими властивостями: межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа.

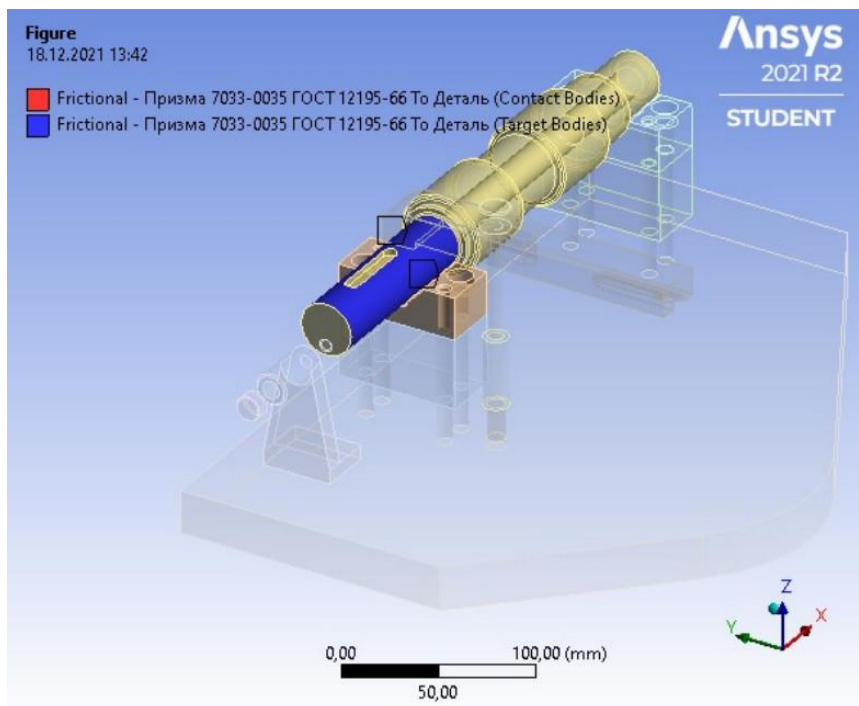


Рисунок 3.3 – Сполучення між поверхнею заготовки та передньою призмою

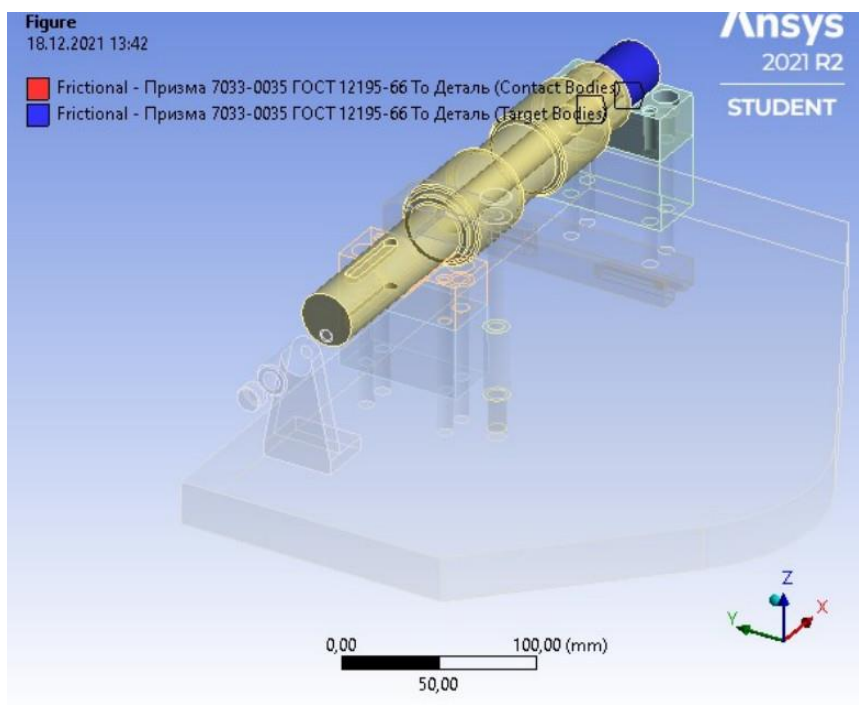


Рисунок 3.4 – Сполучення між поверхнею заготовки та задньою призмою

Умови контакту між поверхнями заготовки та опорних призм (див. рисунок 3.3, 3.4), між поверхнями заготовки та прихвата (див. рисунок 3.5), заготовки та упору (див. рисунок 3.6). Усі ці сполучення характеризуються як тертя ковзання (Frictional) з коефіцієнтом тертя 0,2.

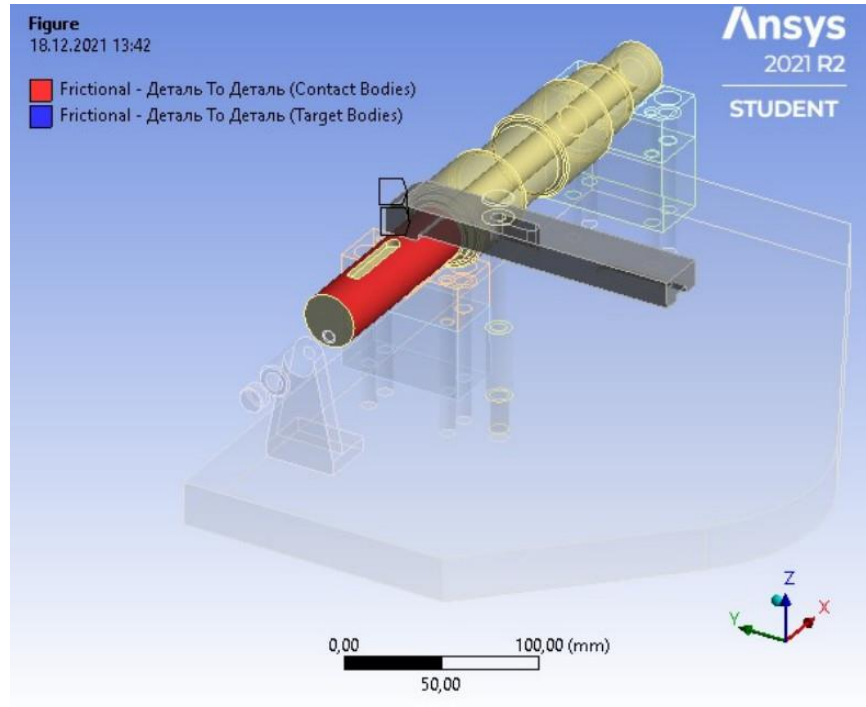


Рисунок 3.5 – Сполучення між поверхнею заготовки та прихвата

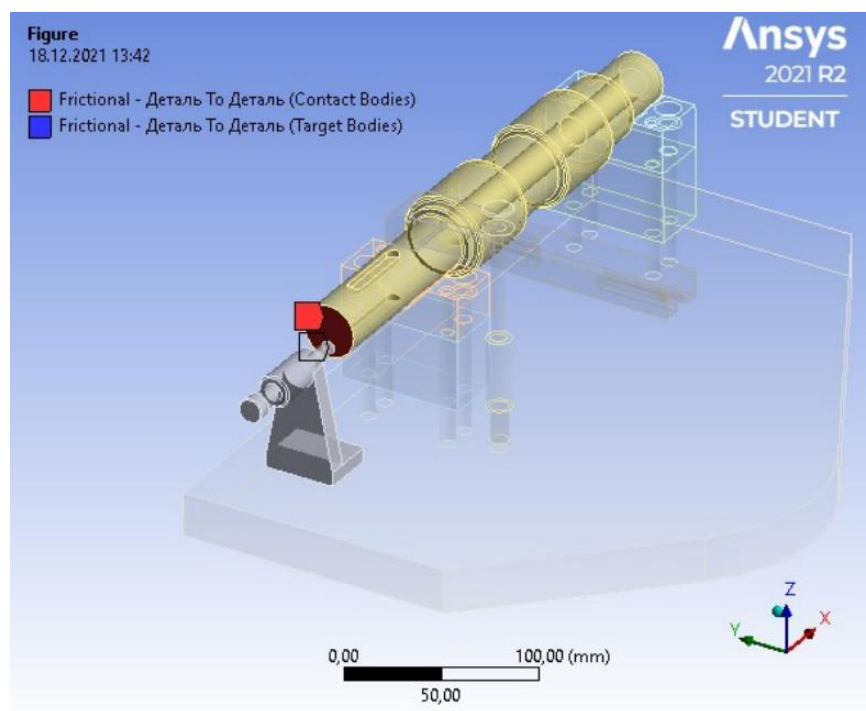


Рисунок 3.6 – Сполучення між поверхнею заготовки та упору

Під час оброблення шпонкового пазу з боку процесу фрезерування на заготовку діє тангенціальна складова сили різання $P_z = 460$ Н (див. п. 3.1), яка утворює крутний момент, що намагається повернути заготовку в призмах навколо центральної осі заготовки. Задаємо силу P_z у вигляді вектору сили (Force), що діє на бокову поверхню шпонкового пазу (див. рисунок 3.7). З боку приводу закріплення на прихват діє сила на штоку пневмокамери $Q = 4080$ Н. Задаємо її як вектор сили (Force), що діє на велике плече прихвата знизу вверх (див. рисунок 3.7). При цьому також задаємо жорстку фіксацію (Fixed Support) плити пристрою.

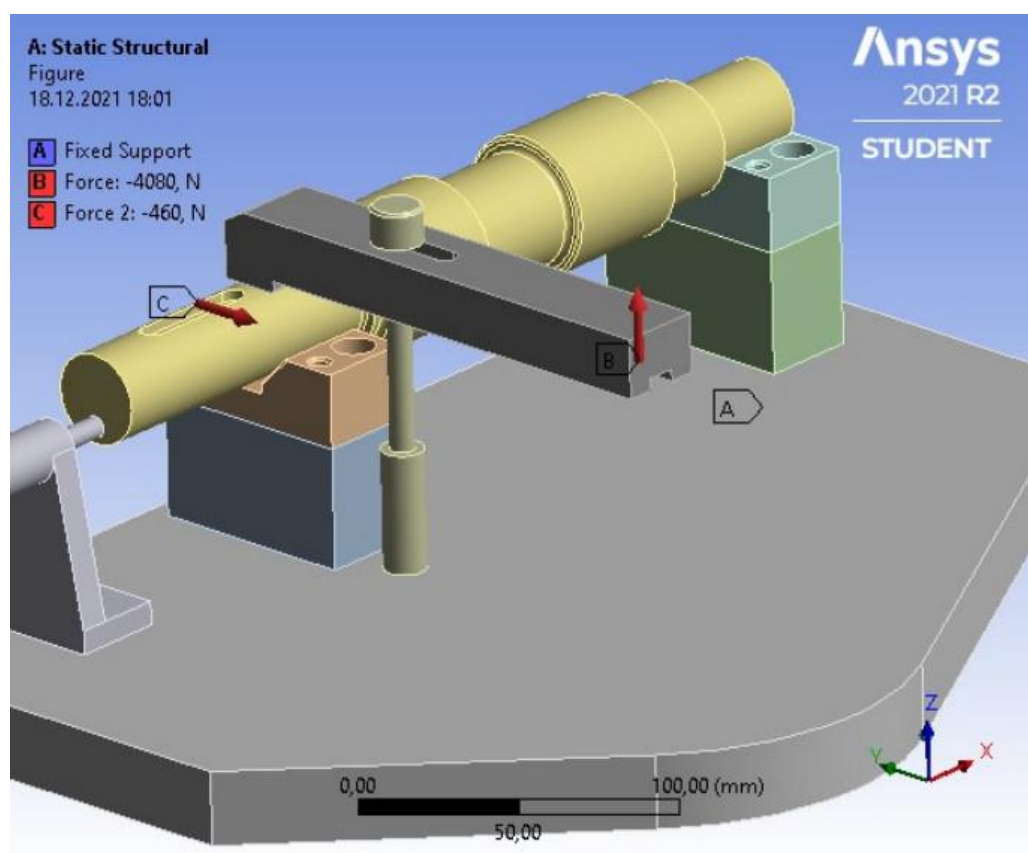


Рисунок 3.7 – Статичні навантаження, що діють в досліджуваній системі

Для виконання розрахунку моделі необхідно побудувати скінчено-елементну сітку досліджуваної системи (див. рисунок 3.8): 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 – 10009.

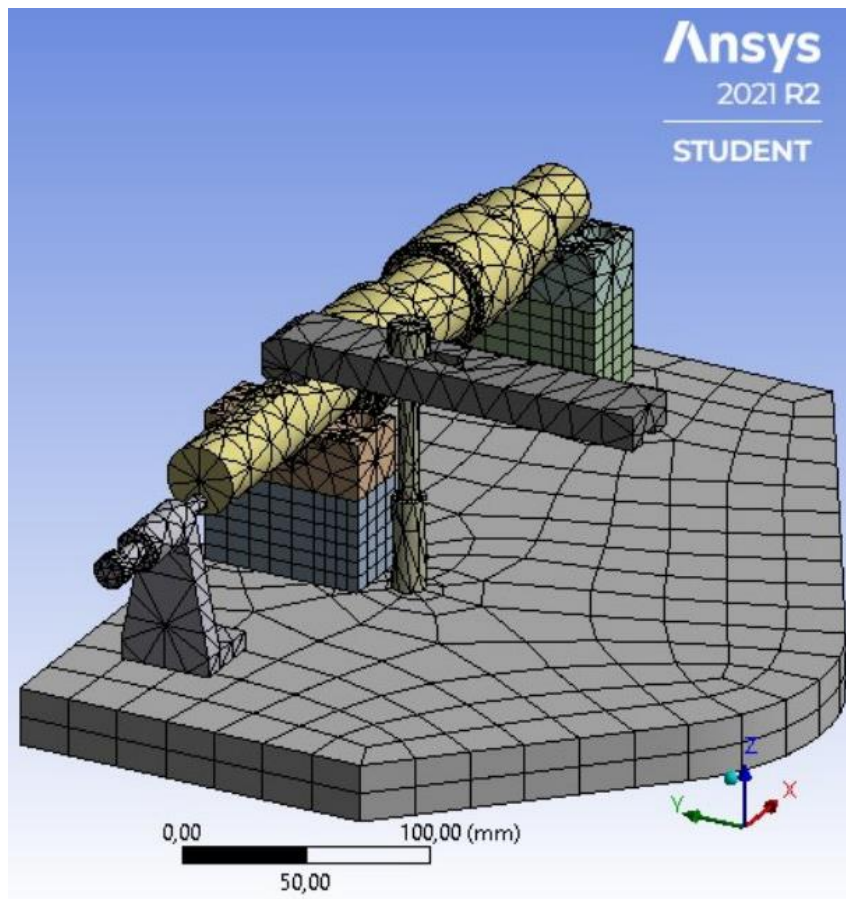


Рисунок 3.8 – Побудова скінчено-елементної сітки досліджуваної системи

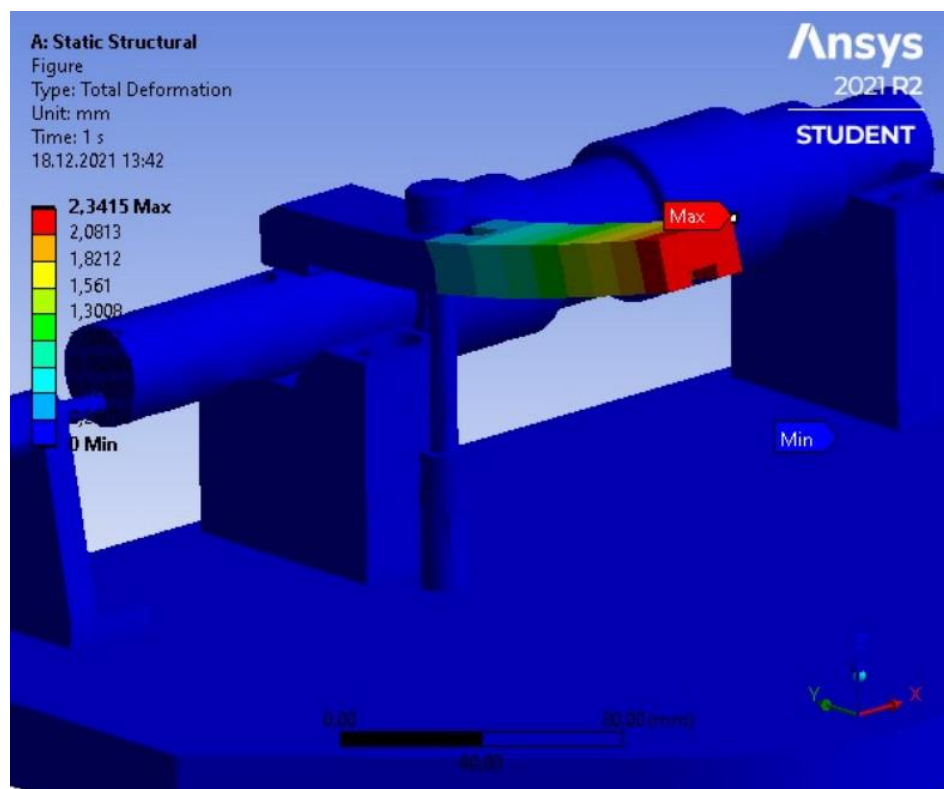


Рисунок 3.9 – Елюра деформацій системи (виконання 1)

В результаті розрахунку моделі отримано епюри деформацій (Total Deformation) або переміщень елементів системи (див. рисунок 3.9) та внутрішніх напружень (Stress) елементів системи (див. рисунок 3.10).

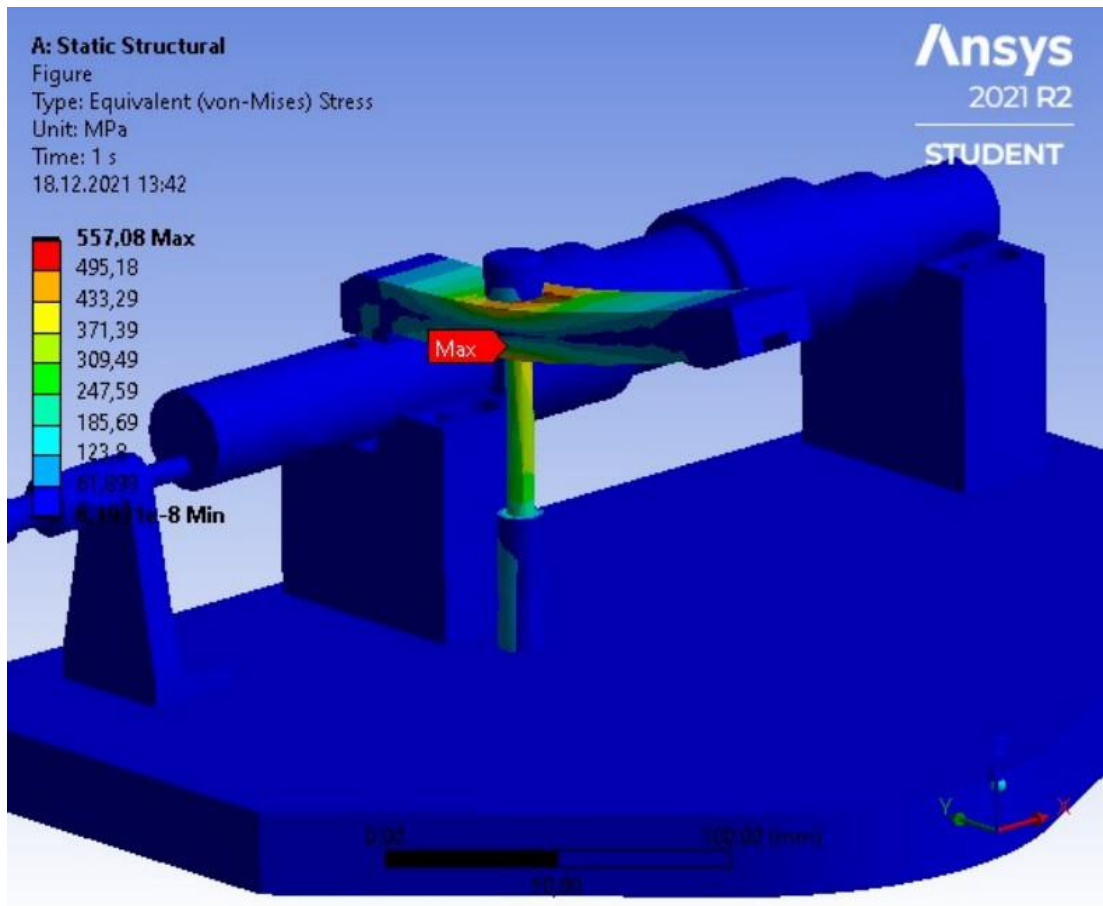


Рисунок 3.10 – Епюра внутрішніх напружень (виконання 1)

Як бачимо з рисунку 3.9 максимальний рівень деформацій спостерігається для великого плеча прихвата та становить 2,34 мм, що є великою але допустимою величиною. Виконується головна умова забезпечення точності оброблення поверхонь заготовки: положення заготовки під час оброблення має залишатися незмінним.

З рисунку 3.10 маємо: максимальний рівень внутрішніх напружень спостерігається для великого плеча прихвата та становить 557 МПа, що є великою і недопустимою величиною, так як вона перевищує межу міцності матеріалу

прихвата (460 МПа). Такі напруження можуть призвести до поломки верстатного пристрою, що є неприпустимим.

З метою зменшення рівня внутрішніх напружень було запропоновано збільшити висоту прихвата: з 15 мм (виконання 1) до 20 мм (виконання 2). В результаті були отримані: максимальний рівень деформацій – 1,36 мм, максимальний рівень напружень – 401 МПа. Але в цьому разі максимальний рівень напружень спостерігався уже не для прихвата, а для стійки в її найтоншому перерізі. В цілому напруження 401 МПа є припустимим, так як така його величина не перевищує межу міцності матеріалу стійки (460 МПа), але для наявності запасу було б краще, якби рівень напружень не перевищував 50-60 % від межі міцності матеріалу виробу, тобто не перевищував 230–270 МПа. Для забезпечення зазначеного запасу міцності було виконано пошуковий експеримент, який шляхом покрокового підбору діаметру стійки та висоти прихвата дозволив прийти до таких результатів: діаметр стійки було збільшено до 10 мм (виконання 3), висота прихвату була збільшена до 25 мм (виконання 3). При цьому максимальний рівень деформацій становить 0,94 мм (характерний для великого плеча прихвата), максимальний рівень напружень становить 251 МПа (характерний для стійки в її найтоншому перерізі). Такі величини деформацій та напружень були прийняті як допустимі. Слід відзначити, що маса прихвата та стійки за виконанням 3 дещо збільшилася щодо виконання 1.

Динамічний аналіз. Для перевірки досліджуваної конструкції на можливість виникнення явища резонансу, що характеризується збільшенням амплітуд коливань конструкції за умови співпадіння частот її певних вільних форм коливань з частотами зовнішніх збурень, було виконано модальний аналіз конструкції системи «пристрій-заготовка». Модальний аналіз виконувався з використанням модулю Modal Ansys Workbench. Як відомо, модальний аналіз конструкції дозволяє виявити її власні форми коливань та відповідні ним частоти коливань. Для виконання модального аналізу системи «пристрій-заготовка» скористаємося її твердотільною моделлю (див. рисунки 3.1, 3.2). Як граничні

умови задаємо властивості матеріалів елементів конструкції за замовчуванням та жорстку фіксацію основи плити пристрою.

В результаті отримані епюри деформацій перших трьох форм власних коливань системи (рисунки 3.11, 3.12, 3.13) та ряд відповідних ним частот коливань (див. рисунок 3.14).

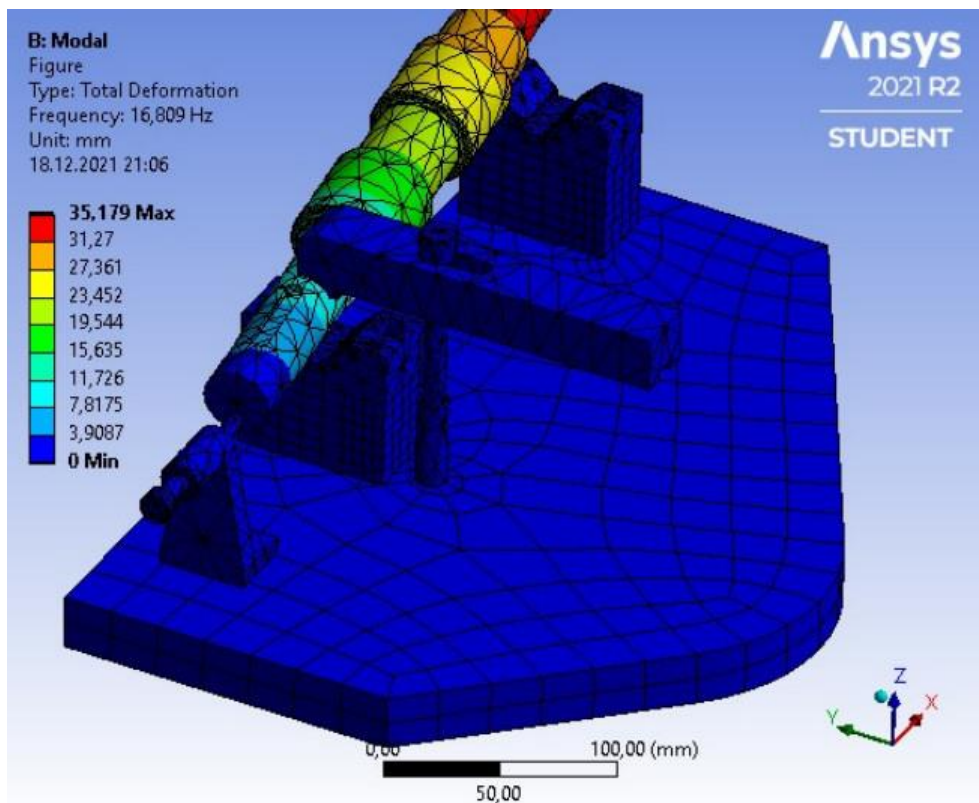


Рисунок 3.11 – Епюра 1-ї форми власних коливань системи

Як видно з рисунків 3.11 та 3.12 перша та друга форми власних коливань відповідають коливанням заготовки з боку задньої призми. Цим формам коливань системи відповідають частоти 16,809 Гц ($1008,54 \text{ хв}^{-1}$) та 16,883 Гц ($1012,98 \text{ хв}^{-1}$). Такі величини частот власних коливань є досить малими та вкрай небезпечними з точки зору ймовірності виникнення резонансу. Наявність джерел вимушених коливань з частотою близькою до 1000 хв^{-1} на механічній ділянці є цілком можливою. Для запобігання виникненню явища резонансу під час оброблення заготовки з використанням запропонованого верстатного пристрою можна рекомендувати не використовувати частоти робочих процесів наближені до 1010 хв^{-1} .

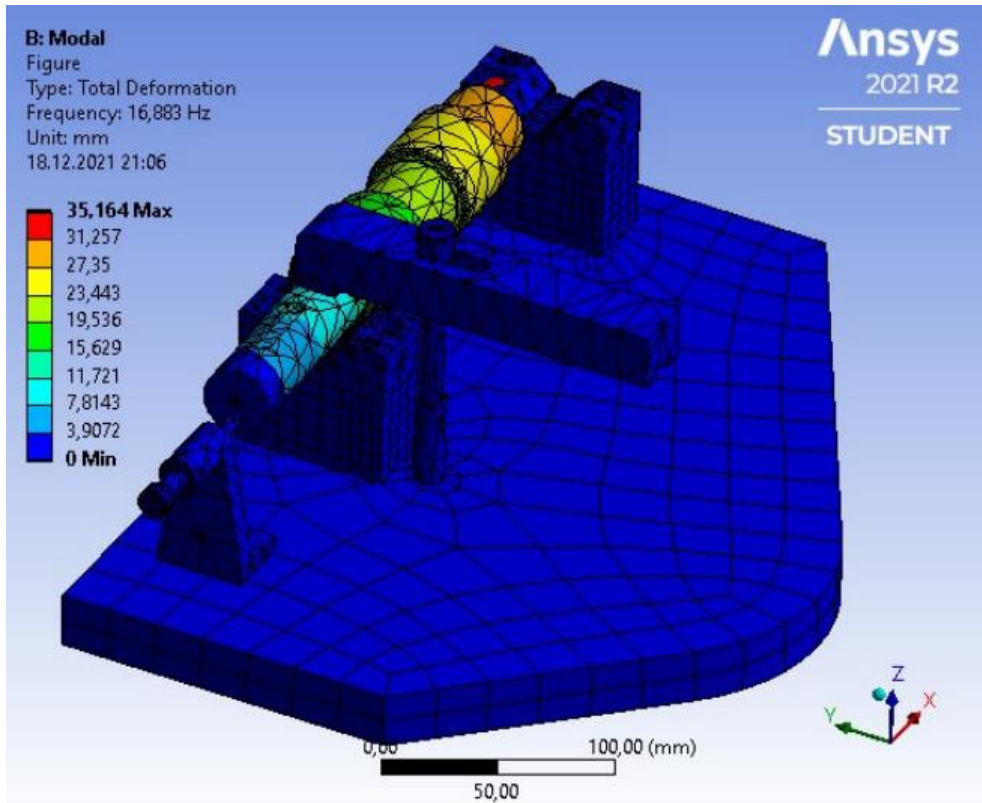


Рисунок 3.12 – Епюра 2-ї форми власних коливань системи

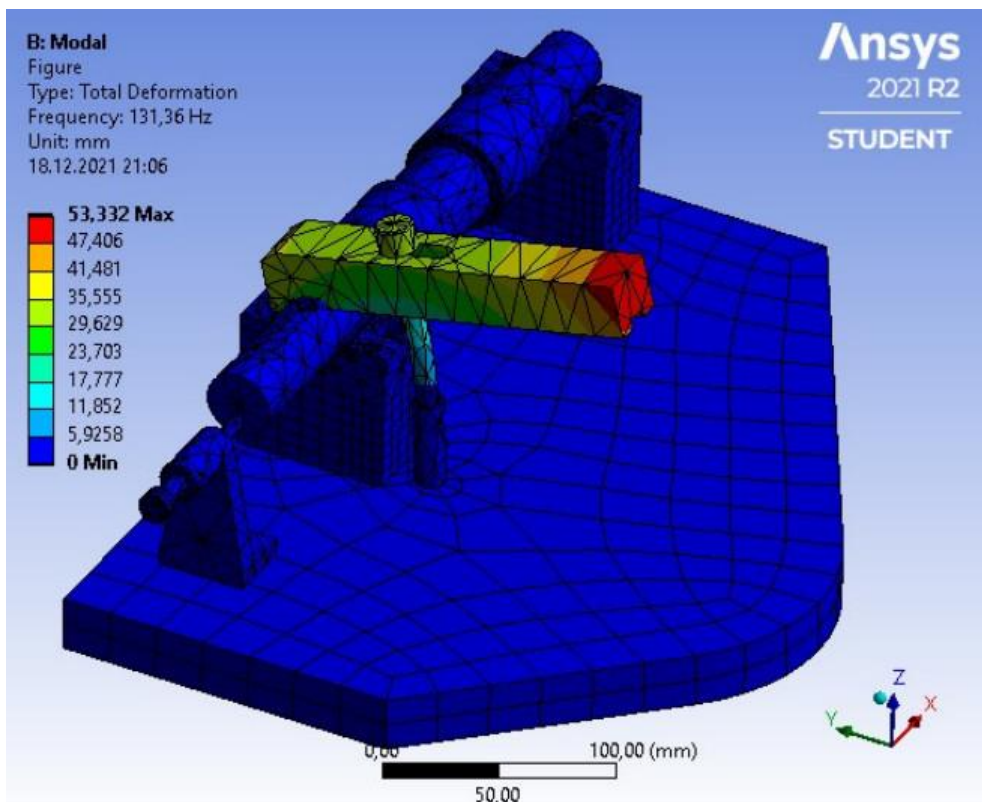


Рисунок 3.13 – Епюра 3-ї форми власних коливань системи

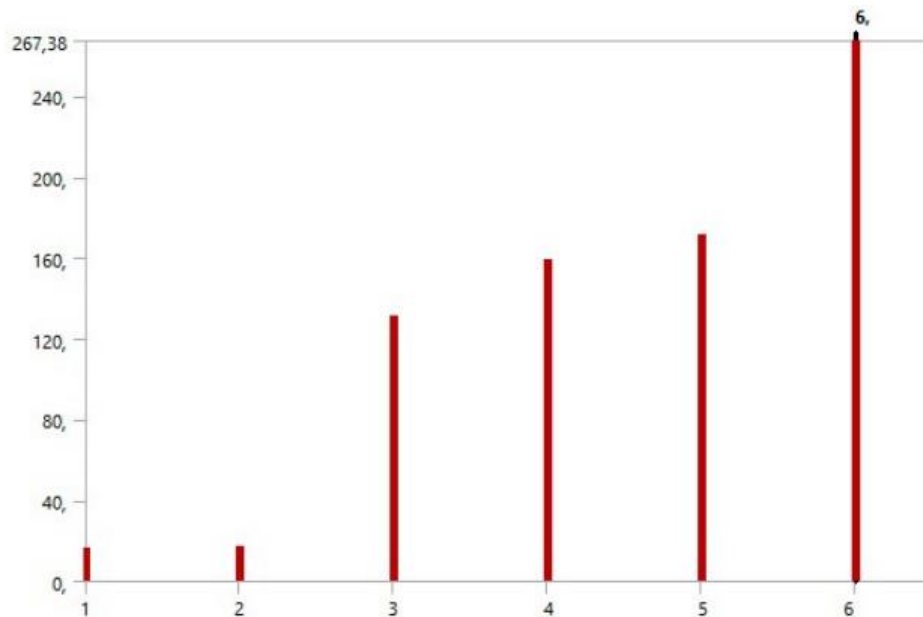


Рисунок 3.14 – Ряд частот власних форм коливань

Експериментальні дослідження, спрямовані на пошук інших конструктивних рішень з метою збільшення частот перших власних форм коливань системи не призвели до виявлення ефективних рішень.

Третя форма власних коливань має частоту 131,36 Гц ($7881,6 \text{ хв}^{-1}$), що є досить великою величиною з точки зору ймовірності виникнення резонансу. Однак, для запобігання виникненню явища резонансу слід уникати робочих процесів з частотою близькою до 7880 хв^{-1} (вертикальний обробний центр V-650, на якому фрезеруються шпонкові пази має максимальну частоту обертання шпинделя 10000 хв^{-1}).

3.3 Висновок

1) згідно з завданням спроектовано спеціальний верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки під час оброблення шпонкових пазів на фрезерній операції з ЧПК;

2) за результатами статичного дослідження пропонуваної конструкції верстатного пристрою сформульовані рекомендації щодо оптимізації її параметрів, зокрема, розмірів прихвата та стійки. Складальне креслення верстатного пристрою рекомендується скоригувати згідно із сформульованими рекомендаціями;

3) за результатами динамічного (модального) дослідження пропонуваної конструкції верстатного пристрою сформульовані рекомендації щодо призначення режимів робочих процесів з метою забезпечення динамічної стійкості системи «присрій-заготовка». Дотримання зазначених рекомендацій має запобігти виникненню явища резонансу зокрема під час оброблення поверхонь шпонкових пазів заготовки на фрезерній з ЧПК операції.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз базового технологічного процесу виготовлення «вала-шестерні 1.1550-21.01-02» дозволив виявити його основні недоліки, що зокрема полягають у надлишковій інтеграції токарних технологічних операцій, низькому рівні механізації та автоматизації, використанні застарілого металорізального устаткування, що визначає низьку продуктивність виготовлення виробу та нестабільність технологічного процесу з точки зору дотримання технічних вимог, регламентованих кресленням деталі.

2. В перспективному технологічному процесі механічного оброблення заготовки запропоновано раціональний маршрут оброблення заготовки. При цьому обґрунтовано вибір способу отримання заготовки, визначені припуски та технічні вимоги на її виготовлення, обґрунтовано вибір схем базування та закріплення заготовки, вибір верстатів та засобів технологічного оснащення, визначені раціональні режими різання та норми часу на операції. Розроблено спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального биття поверхонь деталі.

3. Спроектовано спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки під час оброблення поверхонь шпонкових пазів заготовки на фрезерній з ЧПК операції. В результаті дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу сформульовані рекомендації щодо вдосконалення цієї конструкції та структурно-параметричної оптимізації фрезерної з ЧПК операції в цілому.

4. В додатку Д цієї роботи розглянуто питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Чернобыльский, И. И. Сушильные установки химической промышленности / И. И. Чернобыльский, Ю. М. Тананайко. К.: Техника, 1969. – 280 с.
2. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев ; Под ред. И.Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Горбацевич, А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 5-е изд., стереотип. Перепечатка с 4-го издания 1983 г. – М. : Альянс, 2007. – 256 с.
5. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М. : Гос. ком. СССР по стандартам, 1992. – 13 с.
6. Технология машиностроения (специальная часть) / Отв. А. А. Гусев и др. – Москва : Машиностроение, 1986. – 480 с.
7. ГОСТ 7829-70 Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на молотах. Припуски и допуски. – М. : ИПК Из-во стандартов, 1998. – 28 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т.1 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т.2 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.
10. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Б. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.

11. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1974. – Ч. 1, Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, долбежные и фрезерные станки. – 416 с.

13. Виноградов, А. Н. Справочник контролера машиностроительного завода: Допуски, посадки, линейные измерения / А. Н. Виноградов; Под ред. А. И. Якушева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 527 с.