

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв’ячного зубофрезерування»

Виконав здобувач вищої освіти 2-го
року магістратури групи ПМ-23М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»
_____ Богдан КІСІЛЬОВ

Керівник роботи к.т.н., ст. викладач
_____ Антон АПАРАКІН

Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Руслан ОСІН

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Богдана КІСІЛЬОВА

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування
- Керівник роботи: к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН
- Строк подання роботи до захисту « ____ » грудень 2024 р.
- Мета та завдання кваліфікаційної роботи:
Метою роботи є: розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування, так як саме якість обробки зубчастого вінця має вирішальний вплив на вихідні параметри роботи виробу.
Завдання:
 - проаналізувати сучасний стан технології черв'ячного зубофрезерування, визначити основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки зубчастих поверхонь та дослідити межі їх застосування;
 - виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення шестерні на підприємстві, запропонувати заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу;
 - виконати обґрунтований підбір металорізального обладнання, різального та вимірювального інструментів, затискних верстатних пристосувань, виконати розрахунки припусків, режимів різання та провести нормування операцій;
 - виконати проектування затискного верстатного пристосування, контрольно-вимірювального пристрою та різального інструменту із розробкою конструкторської документації;
 - провести економічні розрахунки запропонованих заходів по підвищенню ефективності базового технологічного процесу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 2	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 3	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 4	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		
РОЗДІЛ 6	Ірина ЖУРИЛО		
ДОДАТКИ	Антон АПАРАКІН		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Жовтень 2024	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Жовтень 2024	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Жовтень 2024	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Жовтень-листопад 2024	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2024	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад-грудень 2024	вик.
7	РОЗДІЛ 6	Листопад-грудень 2024	вик.
8	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2024	вик.
9	ДОДАТКИ	Грудень 2024	вик.
10	Графічна частина та оформлення	Жовтень-грудень 2024	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи _____ Антон АПАРАКІН

(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2024 р.

Здобувач _____ Богдан КІСІЛЬОВ

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Богдан КІСІЛЬОВ. Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. – 144 с. Матеріали презентації 7 креслень.

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування, так як саме якість обробки зубчастого вінця має вирішальний вплив на вихідні параметри роботи виробу.

У роботі проаналізовано сучасний стан методу черв'ячного зубофрезерування, визначено основні напрямки підвищення ефективності процесу. Виконано аналіз технологічного процесу механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04 та запропоновано заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу. Для розробленого технологічного процесу здійснено підбір технічного забезпечення та проведено розрахунок припусків, режимів різання і технічне нормування операцій. Розроблено конструкцію затискного верстатного пристрою, контрольного пристосування та різального інструменту – торцевої фрези. Проведено необхідні економічні розрахунки.

Актуальність. Сучасне машинобудування ставить високі вимоги до точності, якості бічних поверхонь, терміну служби і рівня шумності зубчастих коліс. З огляду на те, що формоутворення зубчастого вінця механічною обробкою все ще залишається основним, дослідження методу черв'ячного зубофрезерування та розробка рекомендацій по підвищенню ефективності технології це актуальна задача для досліджень.

Практичне значення. Проведене дослідження меж ефективного застосування черв'ячних фрез із твердого сплаву, які дозволили б виконувати обробку з уникненням утворення сколів на різальних кромках, тим самим підвищивши довговічність різального інструменту та надійність зубофрезерної операції. Розроблено рекомендації щодо раціоналізації технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча; розроблено удосконалений технологічний процес, верстатне пристосування, різальний інструмент та контрольний пристрій.

Ключові слова: зубофрезерування, шестерня, черв'ячна фреза, зносостійкі покриття, технологія виробництва.

ABSTRACT

Bohdan KISILOV. Development of a manufacturing technology for a shaft-pinion part with research into the gear hobbing method. Master's thesis: CUNTU, 2024. – 144 p. Presentation materials 7 drawings.

The purpose of the work is to develop a technology for manufacturing a shaft-gear part with research of the gear hobbing method, considering that the quality of the gear processing has a decisive influence on the initial parameters of the product.

The work analyzes the current state of the gear hobbing method, identifies the main directions for increasing the efficiency of the process. The technological process of machining the NSh50-3-04 drive gear part is analyzed and measures are proposed to increase the efficiency of the basic technological process. For the designed technological process, technical support is selected and allowances, cutting modes and technical standardization of operations are calculated. The design of the clamping machine tool, control device and cutting tool – face mill - are developed. The necessary economic calculations are carried out.

Relevance. Modern mechanical engineering places high demands on the accuracy, quality of side surfaces, service life and noise level of gears. Given that the formation of the gear by machining still remains the main one, the study of the method of gear hobbing and the development of recommendations for increasing the efficiency of the technology are an urgent task for research.

Practical value. The limits of the effective use of hard alloy worm cutters have been studied, which would allow processing to be performed while avoiding the formation of chips on the cutting edges, thereby increasing the durability of the cutting tool and the reliability of the gear hobbing operation. Recommendations have been developed for the rationalization of the technological process for manufacturing the driving gear part; an improved technological process, machine tool fixture, cutting tool, and control device have been developed.

Key words: hobbing, gear, hob mill, wear-resistant coatings, production technology.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Загальні положення	8
1.2 Аналіз технологічних аспектів методу черв'ячного зубофрезерування	10
1.3 Постановка мети і задач дослідження	19
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ	20
2.1 Особливості конструкції сучасних черв'ячних фрез	20
2.2 Інструментальні матеріали сучасних черв'ячних фрез	25
2.3 Сучасні зносостійкі покриття для черв'ячних фрез	32
2.4 Дослідження меж ефективного застосування черв'ячних фрез із твердого сплаву	39
2.5 Висновки	42
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРНІ ВЕДУЧОЇ	43
3.1 Службове призначення шестерні ведучої НШ50-3-04	43
3.2 Розробка технології виготовлення шестерні ведучої	45
3.3 Висновки	85
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ	86
4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою	86
4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою	93
4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту	95
4.4 Висновки	99
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	100
5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	100
5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	101
5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху	105
5.4 Висновки	105
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	106
6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу	106
6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі	115
6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	118
6.4 Висновки	119
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
ДОДАТКИ	124

ВСТУП

Незважаючи на нестабільність світової економіки, машинобудування є однією з провідних галузей, а попит на її продукцію зростає, що потребує збільшення випуску продукції, до складу якої входять різні зубчасті передачі. Саме тому, постійно підвищується попит на зубчасті колеса не тільки малих розмірів, а й на великогабаритні зубчасті колеса, потреба в яких пов'язана в основному з розвитком сектора важкого машинобудування і вітрової енергетики. Діаметри зубчастих коліс варіюються від кількох десятків міліметрів (для коробок передач автомобілів, приводів двигунів тощо) до десятків тисяч міліметрів (приводи поворотів кранів, вітрогенераторів, тощо).

Залежно від обсягу випуску деталей із зубчастим профілем, вимог до них та організаційно-технічного стану виробничих потужностей підприємства, отримання зубчастого профілю можливе методами різання, пластичного деформування, лиття або комбінацією цих методів. При цьому процеси формоутворення зубчастого вінця різанням, незалежно від характеру виробництва, залишаються основними.

Через постійно зростаючі вимоги до точності коліс, їх терміну служби і рівня шумності, зростають також і вимоги до якості бічних поверхонь і розмірної точності, а, отже, і до точності зуборізного інструменту.

З огляду на це, у роботі необхідно виконати дослідження методу механічної обробки зубчастої поверхні – черв'ячного зубофрезерування та розробити рекомендації по підвищенню ефективності технології, за результатами дослідження. Також виконати розробку технологічного процесу обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04, на основі аналізу базового технологічного процесу із запропонованим раціоналізаторським рішенням по скороченню кількості операцій, задіяних робітників, часу на виробництво. Метою такої раціоналізації є вирішення головної мети – підвищення ефективності виробництва, тобто зниження собівартості продукції, яка виробляється, при забезпеченні вимог точності та якості.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні положення

Незважаючи на те, що обкатне зубофрезерування черв'ячними фрезами відоме вже понад 100 років, його широко застосовують у сучасній машинобудівній промисловості завдяки універсальності, а також високим показникам продуктивності та точності. На зубофрезерних верстатах черв'ячними фрезами нарізають зубчасті колеса зовнішнього зачеплення [19, 28] з прямими і косими зубами, конусної та бочкоподібної форми, черв'ячні колеса, шліцеві з'єднання з прямобічним та евольвентним профілем, зірки ланцюгових передач та інші деталі.

При обробці зубчастих коліс з твердістю HB 150-200 суцільнометалевими та збірними черв'ячними фрезами класу A (ISO 4468:2009 [14], DIN 3968 [31]) стабільно досягається 8-9 ступінь і шорсткість поверхні Ra 1,6...5,0 мкм. Якщо потрібно більш висока, 7-8 ступінь точності, то застосовують черв'ячні фрези класу AA, зубофрезерні верстати та технологічне оснащення високої точності та жорсткості у статичному стані та під робочим навантаженням.

Для забезпечення згинальної та контактної витривалості сталеві зубчасті колеса зазвичай піддають хіміко-термічній обробці (ХТО). В результаті ХТО поверхня зубців отримує високу твердість HRC 58...63 і в'язку серцевину HRC 33...45. Однак під дією термічних деформацій точність зубців знижується на 1-2 ступені [20]. У зв'язку з цим, зубофрезерування черв'ячними фрезами застосовують для:

- попередньої обробки зубців, під наступне зубодовбання, шевінгування, шліфування, хонінгування;
- остаточної обробки зубців циліндричних коліс загального машинобудування невисокої точності, наприклад, крупномодульних із зовнішнім діаметром ≥ 1500 мм.

Формоутворення евольвентного профілю при черв'ячному фрезеруванні відбувається методом обкату (рис. 1.1), при цьому фреза має різальну частину із профілем вихідної зубчастої рейки та працює при швидкості головного руху різання V і вісевій подачі на оберт S_0 [28]. Черв'ячна фреза являється черв'яком (переважно однозаходним), її витки розділені поздовжніми стружковими канавками на окремі зубці з прямолінійним профілем, у яких в результаті операції затилування виникають задні та бічні кути, необхідні для обробки різанням. Евольвентний профіль зубців колеса утворюється прямолінійними різальними кромками фрези [24] внаслідок їхнього взаємного обкату. На рис. 1.2 показано, як поступово один за одним зубці черв'ячної фрези входять в контакт з бічними поверхнями і дном западини зубців колеса і формують звольвентний профіль.

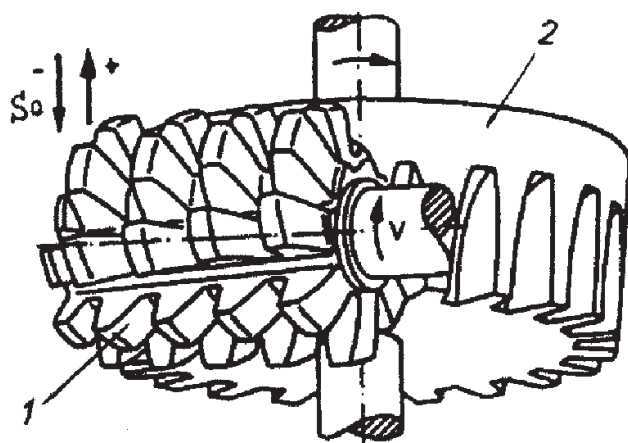


Рис. 1.1 Принцип утворення зубців циліндричних коліс черв'ячною фрезою.

S_0 – осьова подача; V – обертання фрези;
1 – черв'ячна фреза; 2 – заготовка.

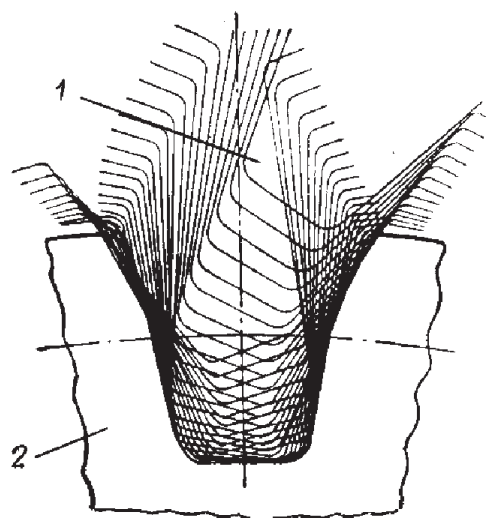


Рис. 1.2 Схема утворення евольвентного профілю зубців.

1 – сукупність послідовних положень зубців фрези; 2 – заготовка.

Геометричні параметри різальної частини черв'ячної фрези, як правило, призначаються з розрахунку мінімальних спотворень профілю інструменту при переточках, а не виходячи з властивостей матеріалу, що обробляється, що характерно для більшості інших видів металорізального інструменту. Тому традиційні види черв'ячних фрез мають недосконалу геометрію, що суттєво обмежує їх стійкість.

Найбільшого поширення набули методи зубофрезерування черв'ячною фрезою з осьовим, радіально-осьовим та діагональним рухом подачі, а також двопрхідне зубофрезерування.

1.2 Аналіз технологічних аспектів методу черв'ячного зубофрезерування

Сучасна технологія, що відповідає світовому рівню, має на увазі як основний інструмент черв'ячну фрезу, з огляду на наступні переваги черв'ячного зубофрезерування:

- черв'ячною фрезою одного модуля можуть бути оброблені колеса практично з будь-яким числом зубців;
- відсутність необхідності точного позиціонування фрези в осьовому напрямку;
- черв'ячні фрези мають більше різальних кромek, ніж у дискових фрез, що підвищує стійкість інструменту;
- плавність фрезерування, так як у процесі різання одночасно знаходиться більше різальних кромek, ніж при застосуванні дискової фрези.

При цьому сучасні черв'ячні фрези повинні виготовлятися з порошкової швидкорізальної сталі і, обов'язково, із сучасним зносостійким покриттям.

1.2.1 Аналіз конструкції та матеріалів черв'ячних фрез

У промисловості переважно застосовують суцільнометалеві та збірні черв'ячні фрези з напаяними або механічно закріпленими пластинами.

Передовими виробниками та розробниками черв'ячних фрез є фірми Klingelnberg, Fette [19], Saazor (Німеччина) [25], Iscar (Ізраїль), Samputensili (Італія) [28], Deltal (Франція) та Gleason, яка включає компанії, що виробляють як зуборізний інструмент, так і зубообробні верстати [15].

Суцільні черв'ячні фрези (рис. 1.3) виготовляють із швидкорізальної сталі діаметром до 500 мм та з твердого сплаву діаметром до 140 мм [19]. Найбільш часто для черв'ячних фрез застосовують швидкорізальні сталі підвищеної

теплостійкості (до 620...650°C) марок P6M5K5, P18Ф2K5 та ін. Частіше застосування черв'ячних фрез з порошкових швидкорізальних сталей (PM-HSS) з діаметром до 250 мм [13, 20]. Перевага таких сталей у дрібнозернистій структурі, рівномірному розподілу карбідів по всій масі матеріалу та відсутністю шкідливих домішок. Також, сучасна порошкова металургія дозволяє вільно комбінувати різні легуючі елементи, підвищуючи різальні властивості металу.

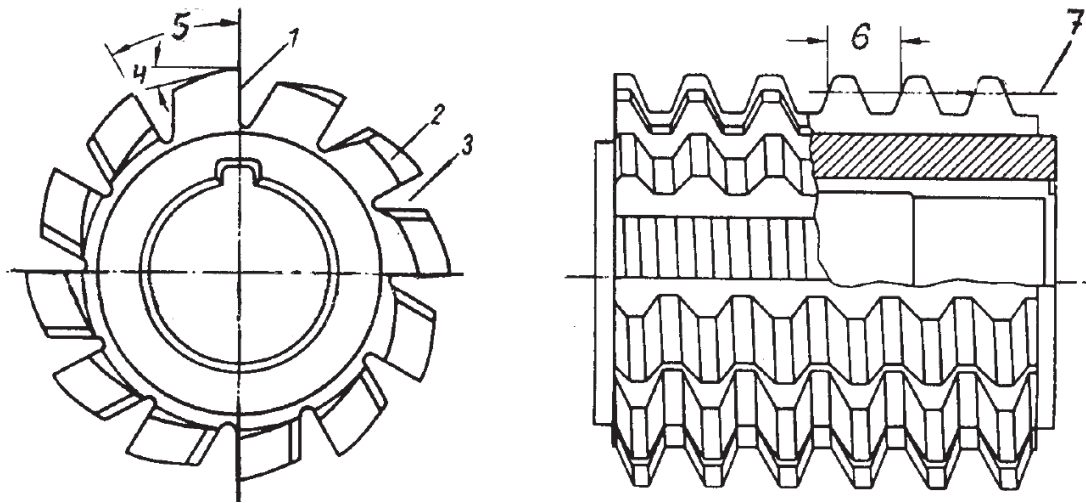


Рис. 1.3 Суцільнометалева черв'ячна фреза.

1 - передня поверхня; 2 - задня поверхня; 3 - стружкова канавка; 4 - кут по задній поверхні;
5 - кутовий крок стружкових канавок; 6 - осьовий крок; 7 - дільний діаметр.

Позитивні властивості фрез з порошкових швидкорізальних сталей: висока надійність і відтворюваність процесу зубофрезерування, хороші показники процесу різання та низька вартість, що сприяє розширенню сфери їх застосування за рахунок витіснення твердосплавних фрез.

Черв'ячні фрези з твердих сплавів мають високу твердість 71...75 HRC та теплостійкість до 850...1000°C, що дозволяє їм працювати з високими швидкостями різання [19]. Тверді сплави, в свою чергу, одержують методом порошкової металургії у вигляді монолітних заготовок та пластин. При зубофрезеруванні під дією сил різання черв'ячні фрези зазнають згинальних навантажень. Тому з метою підвищення міцності при згинанні їх виготовляють із твердих сплавів із дрібними розмірами зерен карбідів (0,6...1,4 мкм). Збільшення об'ємних часток кобальту в твердому сплаві підвищує межу його міцності при згині, тому хороші різальні властивості мають черв'ячні фрези з

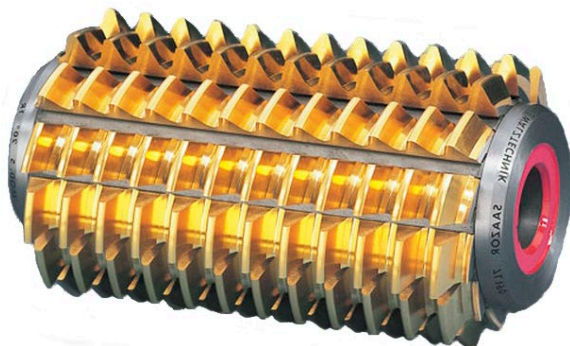
твердих сплавів Т5К10, Т14К8 та ін. Використання твердого сплаву як інструментального матеріалу ускладнене через трудомісткість виготовлення твердосплавних фасонних інструментів та високу крихкість матеріалу.

Основна перевага суцільних черв'ячних фрез - висока точність інструменту, що прямо позначається на якості продукції, так як суцільні фрези позбавлені похибок, що виникають при складанні збірних фрез, відповідно профіль зубчастого колеса оброблюється з високою точністю по всій довжині різальної кромки. Таким чином, суцільні черв'ячні фрези можна виготовити з класом точності ААА, а вони забезпечують чистову обробку коліс високих ступенів точності [28].

До недоліків суцільнометалевих черв'ячних фрез можна віднести менший період стійкості інструменту та менші режими обробки, порівняно зі збірними фрезами.

Збірні черв'ячні фрези з вставними рейками, рис. 1.4, широко застосовують у промисловості, так як у порівнянні з суцільними вони мають такі переваги:

- великий задній кут при вершині $13...18^\circ$ (у суцільних фрез – $10...12^\circ$);
- довжина різальної частини зубця може сягати до 27 мм, що у 3-5 разів перевищує довжину зубця суцільної фрези;
- геометрія зубця фрези дозволяє застосовувати великі осьові та радіальні подачі.



а)



б)

Рис. 1.4 Збірна черв'ячна фреза із вставними рейками.

а) зовнішній вигляд; б) різальний елемент - рейка.

Така конструкція представлена фірмою SAAZOR [25], який заявляє можливість виготовлення фрез із зовнішнім діаметром до 300 мм та довжиною рейок 220 мм. Зазвичай кількість рейок фрези становить 12, але застосовують також 11...15. Число заходів фрези обмежене можливістю появи негативних значень кутів з боків зубців фрези при куті підйому витка більше 6° , у збірних фрезах із вставними рейками воно може бути від 1 до 3. Зазвичай, такі збірні черв'ячні фрези працюють з одноразовим зносостійким покриттям. При відновленні зношених фрез виконують тільки заточування передньої поверхні зубців, а зносостійкі покриття не відновлюються. Режими різання: швидкість різання 60-90 м/хв, осьова подача 3-6 мм/об. Величину осьової подачі зменшують при збільшенні модуля, глибини різання, числа заходів фрези і збільшують при великому числі зубців заготовки, рейок і діаметрі фрези. Збірні черв'ячні фрези із вставними рейками застосовують для нарізування зубчастих евольвентних коліс з модулем 0,5...12 мм, а також для шліцевих валів, ланцюгових коліс та інших деталей.

Альтернативним варіантом є конструкція із механічним кріпленням різальних пластин, яку пропонують виробники інструменту, фірми LMT-FETTE та GLEASON [19]. Фреза такої конструкції, рис. 1.5, має корпус у формі полого циліндру із отворами. До корпусу приєднуються трапецеїдальні сектори із встановленими різальними пластинами. Конструкція фрези дає змогу реалізовувати різні схеми різання: з поперемінно навантаженими різальними кромками або поділенням профілем. Для конкретних умов обробки обирається як схема різання, так і конфігурація фрези – встановлення усіх різальних секторів у корпус, або лише 3...5 витків.

Особливість такої конструкції – значний зовнішній діаметр черв'ячних фрез, тому використання таких фрез доцільне для попередньої обробки габаритних крупномодульних зубчастих коліс.

Для обробки зубчастих коліс великого модуля використовують фрези зі змінними багатограними пластинами та прогресивною схемою різання.

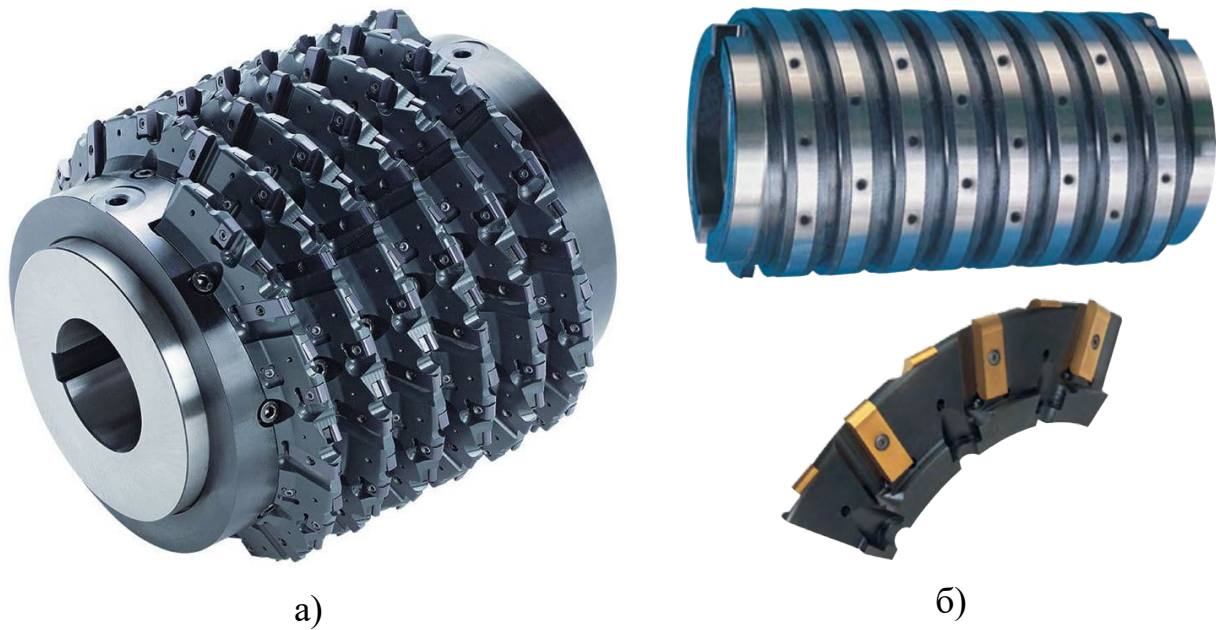


Рис. 1.5 Збірна черв'ячна фреза із вставними сегментами, які оснащені універсальними різальними елементами
а) зовнішній вигляд; б) корпус та різальний елемент.

Багатозаходні черв'ячні фрези. На відміну від однозаходних, багатозаходні черв'ячні фрези мають не одну гвинтову лінію (виток) на зовнішній циліндричній поверхні, а дві і більше [19, 28]. Однозаходна фреза за один оберт нарізає один зубці, двозаходна – два зубці, тризаходна – три зубці. Зі збільшенням заходів фрез частота обертання заготовки повинна підвищуватися. Перетини стружки, яка зрізається, а отже, навантаження на зубець фрези при нарізанні багатозаходними фрезами більше, ніж при обробці однозаходними, тому подачу при обробці багатозаходними фрезами доводиться зменшувати. Зазвичай при заміні однозаходних фрез двозаходними продуктивність збільшується на 40...50%, а при застосуванні трьохзаходних - на 60...70%.

Нанесення зносостійких інструментальних покриттів. Для підвищення різальних властивостей черв'ячних фрез їх покривають зносостійким покриттям. Найбільшого поширення для черв'ячних фрез набули наступні зносостійкі покриття [20]: нітрид титану (TiN), карбонітрид титану (TiCN), нітрид титану алюмінію (TiAlN) та хромнітрид алюмінію (AlCrN).

Нанесення зносостійких покриттів на черв'ячні фрези здійснюють методом фізичного осадження (PVD) [23], при якому вихідний твердий матеріал за рахунок теплової або кінетичної енергії в спеціальних камерах осаджується тонким рівномірним шаром на інструмент. Покриття цим методом наносяться за температури не вище 450°C, що гарантує збереження твердості, фізичних властивостей та структури металу черв'ячної фрези.

Застосування зносостійких покриттів дозволяє підвищити стійкість черв'ячних фрез у 2-7 разів та продуктивність за рахунок збільшення швидкості різання [12].

У зношених черв'ячних фрез необхідно відновити різальну здатність. Відновлення черв'ячних фрез можна проводити з відновленням зносостійкого покриття без повторного покриття. У першому випадку у зношених фрез хімічним способом у кислотному середовищі за допомогою перекису водню видаляють старе покриття. Потім виконують струминне очищення сталевими кульками Ø 50...120 мкм зі швидкістю 60...120 м/с. Після чого фрезу заточують по передній поверхні, повністю видаляючи знос, та наносять нове покриття. Черв'ячні фрези, зносостійке покриття яких не відновлюється, тільки заточуються по передній поверхні. Різальні властивості черв'ячних фрез з багат шаровим покриттям значно вищі, ніж у фрез з одношаровим покриттям.

1.2.2 Використання мастильно-охолоджувальної рідини

Порошкові швидкорізальні сталі, як і тверді сплави, можна використовувати для обробки зубчастих коліс як із застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), так і без МОР.

В якості МОР застосовують мінеральні та синтетичні мастила. Синтетичні мастила більш сумісні з навколишнім середовищем, тому що не містять хлору, важких металів та ароматичних вуглеводів. При використанні МОР верстати повинні бути оснащені потужними установками для видалення масляного туману, не допускаючи його емісії у навколишнє середовище.

Зубофрезерування без МОР економічно ефективніше та екологічно безпечніше для довкілля [16, 18]. Обробку виконують черв'ячними фрезами з порошкової швидкорізальної сталі (число заходів фрези 1...3) і твердого сплаву (число заходів фрези 1) заготовок зубчастих коліс з модулем, відповідно, до 5 мм і до 4 мм. Залежно від режимів різання та геометрії зубчастого колеса температура заготовки при обробці не має перевищувати 30...50°C. Для забезпечення термічного балансу зубофрезерного верстата стружку, що утворюється в зоні різання, видаляють потужним потоком повітря. При цьому верстат забезпечують термостійким кожухом із спеціальними пристроями для видалення та транспортування стружки та металевого пилу. Хороші результати при обробці без МОР отримують при використанні зубофрезерування за два робочі ходи.

1.2.3 Режими різання

У табл. 1.1 наведено рекомендовані значення швидкості різання та осової подачі при обробці заготовок зубчастих коліс із легованої сталі з твердістю HB 150-200. Режими різання, переважно, вибираються за довідниковими матеріалами від виробників черв'ячних фрез [19, 28] або підбираються під час дослідної обробки.

Таблиця 1.1.

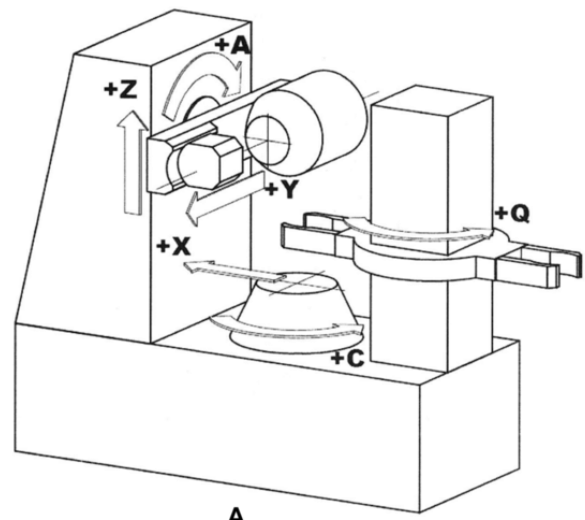
Матеріал черв'ячної фрези	Кована швидкорізальна сталь із зносостійким покриттям			Порошкова швидкорізальна сталь із покриттям		Твердий сплав із покриттям	
	із МОР			без МОР	із МОР	без МОР	із МОР
Модуль зубчастого колеса	≤5	≤12	>12	≤5	≤5	≤4	>4
Швидкість різання, м/хв	70-100	60-90	30-70	130-170	120-170	220-300	100-250
Вісєва подача, мм/об	4-8	3-5	2-4	3-5	3-4	3-5	3-5

1.2.4 Зубофрезерні верстати

Сучасні зубофрезерні верстати [15], рис. 1.6, мають високоефективну систему ЧПУ (наприклад, «Sinumeric 840D»), підвищену статичну та динамічну жорсткість основних вузлів, довгі та широкі напрямні, велике осьове переміщення фрези (160...300 мм), рясне охолодження зони різання з витратою МОР 200...400 л/хв. Частоти обертання фрези 150...3000 об/хв дозволяють ефективно застосовувати багатозаходні твердосплавні та швидкорізальні черв'ячні фрези із зносостійкими покриттями.



а)



б)

Рис. 1.6 Зовнішній вигляд (а) та основні робочі рухи виконавчих органів (б) зубофрезерного верстата з ЧПУ.

X – радіальне переміщення фрезерної стійки; Y – тангенціальне переміщення різального інструменту; Z – осьове переміщення фрезерної головки; A – поворот шпінделя; C – обертання заготовки; Q – обертання кільцевого навантажувача.

Залежно від розташування осі заготовки, що обробляється, зубофрезерні верстати можуть мати горизонтальну або вертикальну компоновку.

Використання системи ЧПУ у конструкціях зубофрезерних верстатів відомих виробників стало причиною зникнення механічних ланцюгів (коробок швидкостей, подач, шестерень, валів, шківів, ременів) та використання мехатронних модулів із прямим приводом, сервоприводів. Такими модулями

можуть бути як допоміжні механізми, так і основні робочі органи верстату – фрезерний шпіндель та шпіндель заготовки. Зникнення або зменшення механічних ланцюгів позитивно вплинуло на точність виконуваних рухів, рухів ділення зубофрезерних верстатів.

1.2.5 Висновки

В наш час, метод черв'ячного зубофрезерування розвивається та не відстає від загальних трендів у механічній обробці загалом. Для застосування у промисловості високопродуктивного зубофрезерування необхідні:

- а) черв'ячні фрези з порошкових швидкорізальних сталей або твердих сплавів, у тому числі багатозаходні, з маленьким зовнішнім діаметром і великою кількістю стружкових канавок, із зносостійкими покриттями, як правило, відновлюваними;
- б) сучасні зубофрезерні верстати, які мають підвищену статичну та динамічну жорсткість основних вузлів, потужність головного приводу 25...30 кВт, високопродуктивну систему ЧПУ, що забезпечує виконання основних методів зубофрезерування, безступінчасте регулювання частоти обертання фрезерного шпінделя і шпінделя заготовки;
- в) надійні швидкодіючі затискні пристрої, у тому числі гідропластові з можливістю збільшення посадкової втулки на 3...5% під дією гідравлічної рідини.

У роботі проводиться розробка технології виготовлення деталі із елементами евольвентного зубчастого зачеплення із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування, з метою підвищення ефективності механічної обробки зубчастого вінця.

1.3 Постановка мети і задач дослідження

Метою роботи є розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування, так як саме якість обробки зубчастого вінця має вирішальний вплив на вихідні параметри роботи виробу.

Для досягнення мети, необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати сучасний стан технології черв'ячного зубофрезерування, визначити основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки зубчастих поверхонь та дослідити межі їх застосування.
2. Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення шестерні на підприємстві, запропонувати заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу.
3. Виконати обґрунтований підбір металорізального обладнання, різального та вимірювального інструментів, затискних верстатних пристосувань, виконати розрахунки припусків, режимів різання та провести нормування операцій.
4. Виконати проектування затискного верстатного пристосування, контрольно-вимірювального пристрою та різального інструменту із розробкою конструкторської документації.
5. Провести економічні розрахунки запропонованих заходів по підвищенню ефективності базового технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ

2.1 Особливості конструкції сучасних черв'ячних фрез

Основними критеріями, що визначають якість будь-якого інструменту, є:

- продуктивність обробки, яку цей інструмент може забезпечити, якщо дотримано всіх вимог щодо його застосування;
- стійкість інструменту, причому як у частині тривалості періоду стійкості (часу різання новим або відновленим інструментом), так і в частині повного періоду стійкості (суми періодів стійкості до досягнення граничного стану), при цьому особливої важливості набувають питання відновлення працездатності;
- якість обробки, виконаної цим інструментом.

Розглянемо ці критерії стосовно сучасних черв'ячних фрез (рис. 1.3).

Продуктивність при зубофрезеруванні визначається часом обробки зубчастого вінця t_o , який, в свою чергу, залежить від кількох конструктивних параметрів черв'ячної фрези та режимів обробки, згідно формули [19]:

$$t_o = \frac{z_2 \times d_{a0} \times \pi \times (L_n + b + L_o)}{z_o \times S_o \times V_c \times 1000}, \quad (2.1)$$

де: z_2 – число зубців оброблюваної деталі; z_o – число заходів фрези; d_{a0} – зовнішній діаметр черв'ячної фрези, мм; S_o – вісева подача черв'ячної фрези, мм/об. дет.; L_n – відстань підведення фрези, мм; V_c – швидкість різання, м/хв; b – ширина оброблюваного вінця, мм; L_o – відстань відведення фрези, мм.

Конструктивні параметри оброблюваної деталі z_2 та b визначені як вихідні дані. На решту величин, що визначають час обробки, ми можемо впливати. Всі ці параметри визначаються конструкцією черв'ячної фрези, а деякі (наприклад, діаметр фрези та число заходів) є елементами самої конструкції.

Основними елементами, що повністю визначають конструкцію черв'ячної фрези, є [27]:

- зовнішній діаметр фрези;

- діаметр посадкового отвору;
- загальна довжина фрези та довжина робочої частини фрези;
- число заходів фрези;
- кількість стружкових канавок;
- кут нахилу стружкових канавок;
- задній кут голівки зубця фрези;
- вихідний профіль.

Для початку розглянемо вплив обумовлених елементів конструкції сучасних черв'ячних фрез на продуктивність та стійкість фрез, а також на якість обробки, на сучасному етапі розвитку техніки та технології.

2.1.1 Зовнішній діаметр

Теоретично, зовнішній діаметр черв'ячної фрези може бути будь-яким. На практиці, крім обмежень за максимальним і мінімальним діаметром з боку фрезерної головки верстата, на вибір діаметра фрези впливають ще кілька факторів.

Величина зовнішнього діаметра фрези з отвором під оправку визначається в першу чергу товщиною матеріалу між стінкою отвору або поздовжньої шпоночної канавки до стружкової канавки. Необхідно забезпечити достатню міцність в цьому перерізі для протистояння силам різання (рис. 2.1). Висока міцність, в свою чергу, дозволяє суттєво збільшити кількість стружкових канавок, що підвищить продуктивність.

Мінімальний діаметр фрези обмежений висотою зубця фрези. При незмінному числі стружкових канавок чим більше зовнішній діаметр, тим більше висота зубця і, відповідно, ресурс переточування фрези. Зменшення висоти зубця зменшує повний період стійкості і збільшує вартість фрези, віднесену на одну деталь.

Також, зменшення зовнішнього діаметра скорочує час обробки. Скорочення відбувається з двох причин: завдяки зменшенню відстані

підведення-відведення та за рахунок збільшення числа оборотів та подачі для збереження заданої швидкості різання.

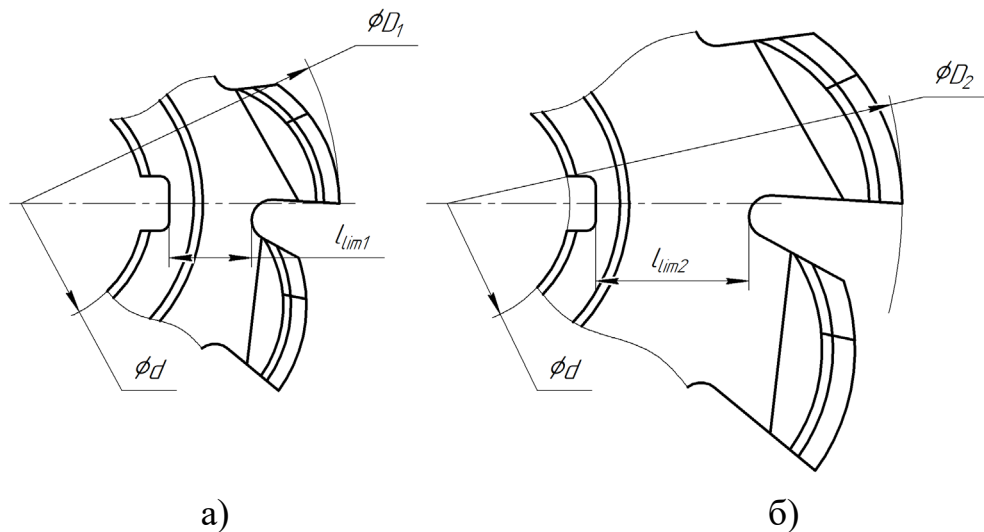


Рис. 2.1 Обмеження мінімального зовнішнього діаметра фрези

а) при мінімальному ϕD_1 , за якого l_{lim1} набуває критичного значення;

б) при збільшеному ϕD_2 , за якого l_{lim2} набуває задовільного значення;

ϕd – внутрішній діаметр фрези; ϕD – зовнішній діаметр фрези; l_{lim} – небезпечний переріз.

Зі сторони оброблюваної деталі, якщо на ній є борт або обробляється колесо з кількома зубчастими вінцями, на діаметр фрези також накладаються обмеження.

Зовнішній діаметр сучасних фрез вибирається при проектуванні інструменту, з урахуванням усіх зазначених вище складових: мінімального часу обробки, максимальної висоти зубця для збільшення ресурсу переточок.

2.1.2 Довжина фрези та довжина її різальної частини

Сучасна технологія зубофрезерування передбачає, що черв'ячні фрези в роботі зазнають осьового зміщення, при якому в роботу вступають нові, неспрацьовані ділянки фрези. Така стратегія обробки значно підвищує стійкість черв'ячної фрези [11].

У той самий час удосконалення технології виготовлення черв'ячних фрез призвело до того що, що вартість фрези не збільшується у прямій пропорції від її довжини. А ось кількість деталей, які фреза може обробити до переточування, збільшується швидше зі збільшенням довжини черв'ячної фрези [20].

Наприклад, збільшення довжини фрези на 50% призводить до збільшення вартості фрези лише на 40%, тоді як кількість оброблених деталей збільшується на 80% (рис. 2.2). Необхідно також враховувати, що витрати на заміну зношеної фрези та її переточування набагато вищі, ніж збільшення вартості фрези зі збільшенням її довжини.

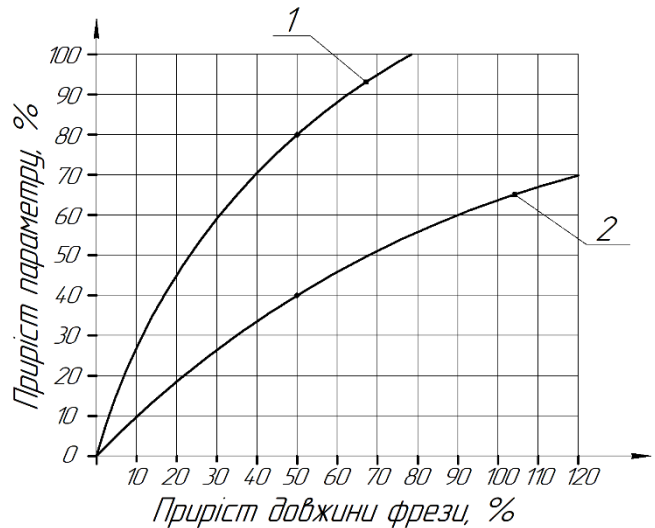


Рис. 2.2 Закономірність збільшення періоду стійкості від вартості фрези

1 – кількість оброблених деталей;
2 – вартість фрези.

Стандартна довжина фрези для великосерійного виробництва становить сьогодні 200...220 мм, для дрібносерійного виробництва – 140 мм. Хоча на сучасні верстати можна встановити практично будь-які фрези, зазвичай співвідношення між довжиною фрези та її діаметром не перевищує 4.

2.1.3 Число заходів фрези

Наведена вище формула (2.1) показує, що зі збільшенням числа заходів черв'ячної фрези пропорційно скорочується основний час фрезерування, тобто при тих же режимах обробки, при застосуванні двозаходної фрези замість однозаходної, час різання повинен скорочуватися вдвічі. На практиці, однак, ця залежність носить непряний характер, оскільки збільшення кількості заходів вимагає невеликого зменшення подачі для компенсації похибок виготовлення та спотворення кінематики різання [28].

2.1.4 Число стружкових канавок

Збільшення числа стружкових канавок скорочує час обробки, зменшує знос та збільшує кількість огинаючих, що формують зубець оброблюваної деталі. При збільшенні числа канавок стійкість фрези істотно збільшується.

Однак збільшення кількості стружкових канавок обмежено, з одного боку, зменшенням корисної довжини зубця фрези та скороченням через це ресурсу переточок фрези, з іншого боку, зменшенням обсягу стружкових канавок, що може призвести до припинення сходження стружки та пошкодження зубців фрези.

Традиційно досі число стружкових канавок становило 12 або 14 [19, 28].

Наприклад, у ISO 2490:2007 [27] для фрез середнього модуля ступеня точності AA і AAA рекомендувалося 14 стружкових канавок. Нині ця величина подвоїлася чи навіть потроїлася. На ринку переважають фрези, що носять неофіційну назву «багатозубі», з числом стружкових канавок від 20 до 30. Довжина зуба в цьому випадку допускає 10...12 переточок. Оскільки сьогодні вартість часу обробки суттєво вища за вартість інструмента на одну деталь, доцільно збільшувати число стружкових канавок до розумної межі, свідомо припускаючи скорочення кількості переточок. У цьому випадку час обробки скоротиться, скорочуючи при цьому саме цю складову витрат на обробку, а вартість інструменту на деталь незначно збільшиться. Внаслідок цього скорочуються повні витрати на обробку деталі [20].

2.1.5 Посадочне місце черв'ячної фрези

Посадочне місце черв'ячної фрези має велике значення, з точки зору якості деталі, що обробляється. Як і раніше, найпоширенішим є виконання черв'ячних фрез з отвором із поздовжньою призматичною шпонкою (рис. 2.3, а) [19]. Точність посадочного отвору визначається міжнародними нормами по якості Н5 для фрез класу AA і AAA. Похибка форми отвору має повинна перевищувати 50% допуску на діаметр.

Крім зазначеного посадочного місця застосовуються фрези з отвором і торцевими шпонками (рис. 2.3, б). Твердосплавні фрези виготовляються практично виключно у такому виконанні. Як спеціальні, випускаються фрези з отвором, але без шпонок (рис. 2.3, в).

Для великосерійного виробництва все частіше застосовуються фрези з короткими циліндричними або конічними хвостовиками з обох сторін (рис. 2.3, г). Такий спосіб кріплення дозволяє суттєво скоротити час заміни фрези та здійснити установку із дуже високою точністю.

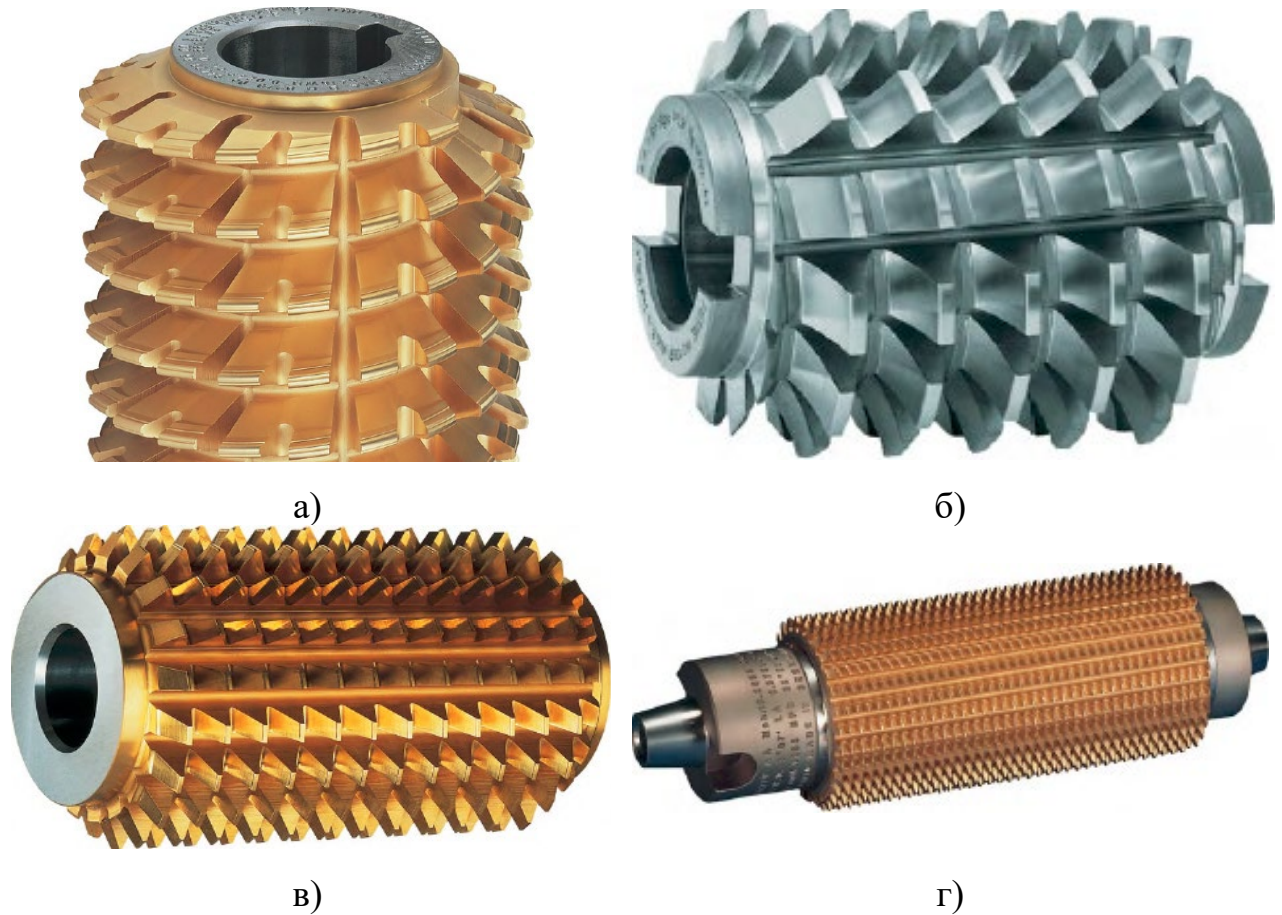


Рис. 2.3 Посадочні місця для черв'ячних фрез

а) з отвором із поздовжньою призматичною шпонкою; б) з отвором і торцевими шпонками; в) з отвором, без шпонок; г) з короткими циліндричними або конічними хвостовиками.

2.2 Інструментальні матеріали сучасних черв'ячних фрез

Будь-який інструментальний матеріал повинен поєднувати в'язкість та твердість. Особливо це стосується матеріалу черв'ячних фрез. У процесі зубофрезерування зубець фрези проходить ділянки з різними умовами різання. На цих ділянках змінюється товщина стружки на вершинній різальній кромці зубця фрези та дуга контакту зубця з оброблюваною деталлю. Наприклад, при вході в деталь, при попутному фрезеруванні, товщина стружки максимальна, що вимагає високої в'язкості інструментального матеріалу. На виході зубця з деталі (також при попутному фрезеруванні) і на вихідній стороні профілю зубця фрези

формується тонка стружка, що призводить до ковзання зубця і високого тертя, що вимагає високої опірності абразивному зносу (твердості) [12]. Отримання такого поєднання в'язкості та твердості можливе за рахунок комбінації в'язкого інструментального матеріалу та твердого зносостійкого покриття.

Ідеальним інструментальним матеріалом є той, який дозволяє реалізувати обробку на високій швидкості різання (завдяки високій зносостійкості та теплопровідності) та високій подачі (завдяки високій в'язкості та високій міцності на вигин та розтягування).

Основними інструментальними матеріалами для черв'ячних фрез є швидкорізальна сталь та твердий сплав.

2.2.1 Швидкорізальна сталь

Швидкорізальна сталь була винайдена та застосована як інструментальний матеріал на початку XX століття Фредеріком Тейлором [7]. В останні десятиліття швидкорізальні матеріали зазнали значних змін, що призвело до суттєвого поліпшення їх технічних характеристик [12, 13, 20]. В результаті режими різання із застосуванням інструментів із швидкорізальної сталі істотно зросли при одночасному збільшенні періоду стійкості інструменту. В основному це визначається переходом на швидкорізальні сталі, одержані за допомогою методу порошкової металургії.

На відміну від традиційного методу отримання швидкорізальної сталі, порошкова технологія має свої відмінності. Ключова відмінність – у рівномірному розподіленні карбідів різних легуючих елементів у компактній масі.

Швидкорізальні сталі, отримані традиційним методом, мають суттєвий недолік – це непостійні форма і розміри, і нерівномірне розподілення карбідів (рис. 2.4, а) [22]. Забезпечити стабільні розміри і розподіл карбідів складна задача. Без забезпечення цих вимог, швидкорізальна сталь має нестабільність характеристик, зокрема неоднорідність металургійних характеристик, завищена твердість, а отже і крихкість, у окремих непередбачуваних місцях, термічні деформації та погана оброблюваність.

При виготовленні заготовок із порошкових швидкорізальних сталей, існує можливість забезпечити малі розміри карбідних включень та рівномірно розподілити їх по всьому об'єму (рис. 2.4, б). З огляду на таку особливість, простіше здійснювати контроль розмірів та розподілу карбідних включень та з'являється можливість покращити різальні властивості сталі, оскільки можна збільшувати відсоток легуючих елементів. Також до переваг порошкової швидкорізальної сталі можна віднести її дрібнозернисту структуру, відсутність домішок (впливають на в'язкість сталі) та високу однорідність всієї заготовки за структурою, включеннями та хімічним складом. Переважна більшість виробників черв'ячних фрез із порошкової швидкорізальної сталі обмежують модельний ряд по зовнішньому діаметру виробу до 250 мм.

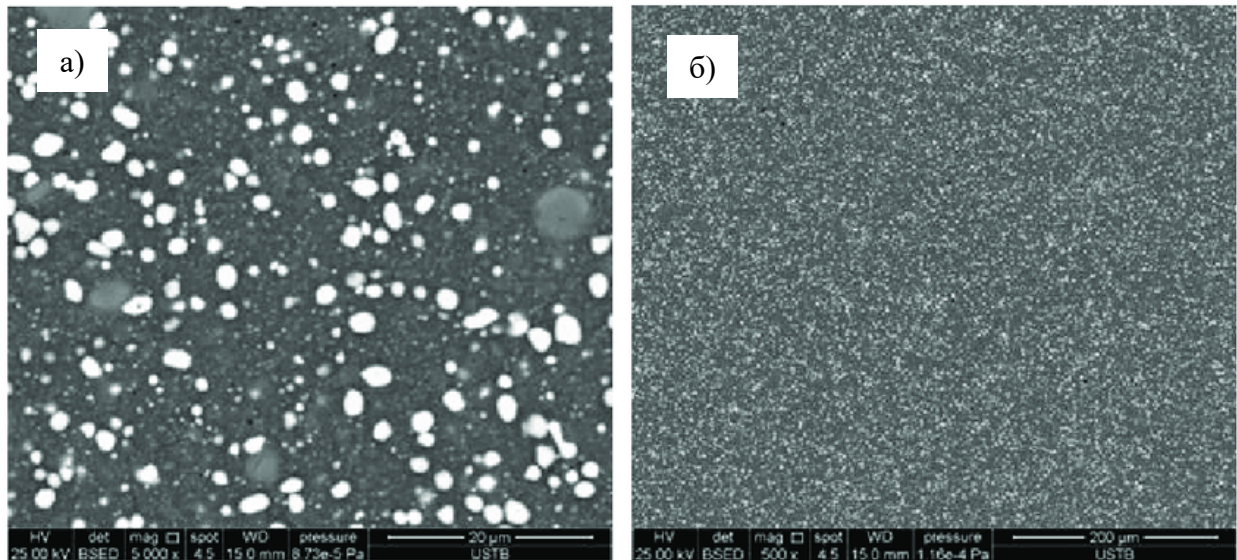


Рис. 2.4 Порівняння звичайної (а) та порошкової (б) швидкорізальної сталі.

Однією з найважливіших характеристик швидкорізальної сталі є її твердість, що забезпечується відповідною термічною обробкою. Термічна обробка швидкорізальної сталі завжди була досить складним процесом, але поява порошкової сталі пред'являє до цього процесу ще більш високі вимоги. Невелике відхилення від заданої температури або часу витримки сталі всередині гартової печі може суттєво змінити результат. Загартування проводиться в соляних або вакуумних печах. Сучасні порошкові сталі гартуються до твердості 65...67 HRC.

Як вже згадувалося вище, порошкові швидкорізальні сталі знаходяться ближче до «ідеального» матеріалу – вони одночасно мають і більш високу твердість, і більш високу міцність (рис. 2.5) [17, 30]. На графіку видно, що навіть найпоширеніші порошкові швидкорізальні сталі різняться між собою.

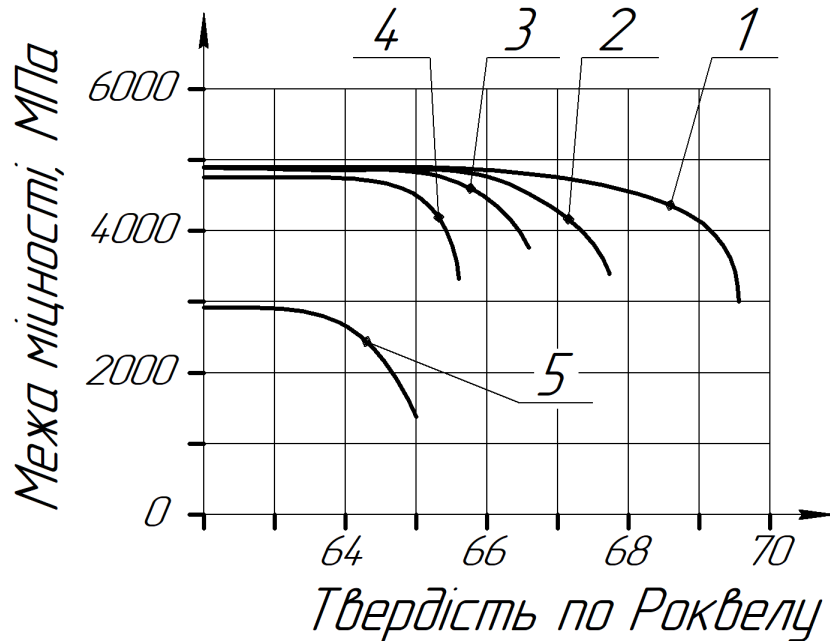


Рис. 2.5 Фізичні характеристики порошкових швидкорізальних сталей.

1 – REX 121; 2 – S380; 3 – REX 76; 4 – порошкова швидкорізальна сталь S590;
5 – звичайна швидкорізальна сталь.

Із збільшенням твердості та міцності інструментальних сталей, з'являється можливість збільшувати швидкість різання та подачу. У табл. 2.1 наведено можливі значення швидкостей різання та максимальної товщини стружки на головці зубця фрези (фактично показує рівень подачі при обробці) [19]. Вказані значення наведено для обробки зубчастих коліс модулем 2 мм із сталі міцністю близько 700 Н/мм². З цієї таблиці видно, що при застосуванні порошкових швидкорізальних сталей, збільшення швидкості різання сягає 10...200 %, у порівнянні із традиційною швидкорізальною сталлю. Також пропорційно збільшується рівень подачі.

В результаті збільшення швидкості різання і подачі, використання різального інструменту із порошкових швидкорізальних сталей дає можливість істотно збільшити продуктивність. У табл. 2.2 показано зростання продуктивності при переході зі звичайної швидкорізальної сталі на порошкову

швидкорізальну сталь [12, 20]. У цій таблиці порошкові сталі (ASP2030, S390, Rex76, ASP2080, Rex121) наведено в порядку зростання ціни.

Таким чином, застосування найдорожчої порошкової сталі забезпечує 50% зростання продуктивності. Зазначимо при цьому, що застосування сталі S390 забезпечує приблизно таке ж зростання продуктивності, але вартість її всього на кілька відсотків вища за вартість звичайної швидкорізальної сталі.

Таблиця 2.1

Можливі значення швидкостей різання та максимальної товщини стружки

Матеріал фрези	Вид обробки	Можливі швидкості різання, м/хв	Максимальна товщина стружки, мм	Можливі покриття	Повторне нанесення покриття
M35	з MOP	90	0,00...0,25	Bci	Ні
ASP 2030	з MOP	100	0,00...0,25	Bci	Ні
S390	з MOP	125	0,00...0,30	Bci	Ні
	без MOP	180	0,10...0,25	TiAlN/AlCrN	Так
Rex 76	з MOP	130	0,00...0,30	Bci	Ні
	без MOP	165	0,10...0,25	TiAlN/AlCrN	Так
Rex 121	з MOP	135	0,00...0,30	Bci	Ні
	без MOP	170	0,10...0,25	TiAlN/AlCrN	Так
ASP2080	з MOP	130	0,00...0,30	Bci	Ні
	без MOP	180	0,10...0,25	TiAlN/AlCrN	Так

Табл. 2.2 показує реальний стан справ у виробництві черв'ячних фрез [13]. Сьогодні близько 75% черв'ячних фрез у світі виготовляється із порошкової швидкорізальної сталі S390. При трохи більш високій вартості, у порівнянні із звичайною швидкорізальною сталлю, забезпечується збільшення продуктивності на 45...50%.

Таблиця 2.2

Зростання продуктивності при переході зі звичайної швидкорізальної сталі на порошкову швидкорізальну сталь

Матеріал черв'ячної фрези	Збільшення швидкості різання, %	Скорочення часу обробки при незмінній подачі, %	Скорочення часу обробки при збільшенні подачі, %
M35	Вихідна величина	Вихідна величина	Вихідна величина
ASP 2030	11	18	18
S 390	39	28	46
Rex 76	44	31	48
ASP 2080	44	31	48
Rex 121	50	33	50

Застосування порошкової швидкорізальної сталі забезпечує також суттєве зростання періоду стійкості при зубофрезеруванні. Якщо для сталі M35 (аналог P6M5K5) середній період стійкості зубця фрези становить 3 метри, то для порошкових сталей типу S390 цей показник у півтора рази вище – близько 4,5 метрів.

Підсумовуючи розгляд швидкорізальної сталі як інструментального матеріалу для черв'ячних фрез, слід відзначити, що найбільш ефективним матеріалом сьогодні є порошкові швидкорізальні сталі середньої цінової категорії, що забезпечують, порівняно із звичайними швидкорізальними сталями (навіть кобальтовими), підвищення швидкості різання та подачі при одночасному підвищенні періоду стійкості.

2.2.2 Твердий сплав

Під твердим сплавом розуміють матеріал, отриманий методом порошкової металургії, що складається, в основному, з твердих металів та їх карбідів і в'язкого зв'язувального матеріалу. Основними карбідами є карбід вольфраму (WC), карбід титану (TiC) і карбід танталу (TaC). В якості зв'язки застосовується кобальт.

У порівнянні з швидкорізальною сталлю твердий сплав має більш високу твердість при нижчій згинальній міцності. У табл. 2.3 наведено основні характеристики швидкорізальної сталі та твердого сплаву. Більш високим значенням міцності твердого сплаву табл. 2.3 відповідають нижчі значення твердості.

За останнє десятиліття частка черв'ячних фрез із твердого сплаву збільшилася [13]. Насамперед, черв'ячні фрези з твердого сплаву застосовуються для чистової обробки загартованих коліс методом зачистного фрезерування. Однак все частіше твердосплавні фрези використовуються для попередньої обробки зубців. За останніми даними, частка черв'ячних фрез із твердого сплаву у світі становить близько 20%.

Таблиця 2.3

Основні порівняльні характеристики швидкорізальної сталі та твердого сплаву.

Характеристика	Од. виміру	Швидкорізальна сталь	Твердий сплав, із зерном	
			< 2 мкм	< 0,7 мкм
Твердість, HV10	од.	800...900	1200...1600	1600...2100
Міцність на згин	Н/мм ²	5000	1700...2500	2500...4000
Модуль пружності	10 ³ Н/мм ²	217	480...560	560...650
Щільність	г/см ³	8,0...8,3	11...15	11...15
Коефіцієнт температурного розширення	мкм/(м·°C)	10...13	5...7	5...7
Теплопровідність	Вт/(м·°C)	19	30...100	30...100
Робоча температура	°C	500	1000	1000

На користь застосування твердого сплаву як інструментального матеріалу для черв'ячних фрез можна навести такі аргументи:

- скорочення часу різання за рахунок підвищення швидкості різання;
- суттєве покращення якості обробленої поверхні;
- хороші можливості для застосування сухої обробки завдяки високій зносостійкості при високих температурах;
- висока міцність різальної кромки.

У той же час існує низка аргументів проти застосування твердого сплаву:

- суттєво вища вартість інструменту;
- істотно більш висока вартість відновлення інструменту;
- великі терміни постачання інструменту (погана доступність);
- особливі вимоги при експлуатації (чутливість до ударів);
- іноді низька технологічна надійність.
- необхідність обов'язкового нанесення зносостійкого покриття через небезпеку виникнення дифузійного зносу, звідси висока вартість відновлення інструменту, збільшення складського запасу та збільшення пов'язаного капіталу;
- можливе виникнення проблем при хімічному знятті старого покриття (витік кобальту).

2.3 Сучасні зносостійкі покриття для черв'ячних фрез

За даними виробників черв'ячних фрез, на сьогоднішній день понад 90% цих інструментів випускаються з різними зносостійкими покриттями [20, 29]. Це практично найвище співвідношення інструментів із покриттям та без покриття серед усіх типів інструментів. Для порівняння: мітчики з покриттям складають 50% від загальної кількості, свердла та кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі – 45%, протяжки – 40%.

У процесі нанесення зносостійкого покриття на інструментальному матеріалі створюється твердий шар, який створює свого роду бар'єр між інструментальним і оброблюваним матеріалом, який також знижує тертя між стружкою та передньою поверхнею інструменту, що істотно скорочує абразивний знос. Наявність бар'єрного шару також послаблює ефект адгезійного зносу, так як скорочується утворення наросту у процесі різання. Наявність зносостійкого покриття скорочує кількість тепла, що потрапляє в інструментальний матеріал. Зменшення температури та створення бар'єру істотно зменшує ефект дифузії інструментального та оброблюваного матеріалів та пов'язаний із нею дифузійний знос. Покриття також створює хімічний бар'єр, збільшуючи стійкість інструменту проти окиснення та інших хімічних впливів.

Таким чином, наявність покриття уповільнює всі основні процеси зношування інструментального матеріалу [10]. Цим фактом можна скористатися не тільки для підвищення стійкості, але й для істотного підвищення продуктивності.

З існуючих двох основних методів нанесення зносостійких покриттів на різальні інструменти: методу хімічного осадження (CVD) та методу фізичного осадження (PVD) [8, 9, 23], для покриття черв'ячних фрез застосовують виключно другий метод. Це пов'язано із робочою температурою процесу, що становить для методу хімічного осадження 900...1100°C, що виключає його застосування для нанесення покриттів на фрези зі швидкорізальної сталі.

На сьогоднішній день існує багато видів зносостійких покриттів на інструмент. Вони різняться за структурою, за хімічним складом та товщиною.

В одношарових покриттях на матеріал наноситься рівномірний шар певного хімічного складу. Це найпростіші покриття. Сучасна технологія дозволяє наносити й складніші покриття з більш високими експлуатаційними характеристиками.

Градiєнтними називаються покриття, в яких хімічний склад поступово змінюється від матеріалу, що покривається до зовнішньої поверхні покриття. Градiєнтні покриття можуть складатися з однієї хімічної сполуки або реалізовувати поступове заміщення однієї хімічної сполуки іншим.

Покриття, в яких шари з різним хімічним складом чергуються і мають чітко окреслені межі, називаються багатошаровими. Якщо шарів багато, то вони дуже тонкі (товщина кожного шару становить кілька нанометрів і такі покриття називають наношаровими. У багатошарових і наношарових покриттях шари виконують різні функції: одні підвищують зносостійкість, інші, володіючи низькою теплопровідністю, створюють температурний бар'єр між основою та зовнішньою поверхнею покриття. Важливою властивістю багатошарових покриттів є здатність зупиняти виникаючі тріщини, які поширюються не вглиб покриття, а вздовж меж окремих шарів. Однією з особливих різновидів багатошарових покриттів є комбіноване покриття, коли поверх твердого покриття нанесений шар покриття з низьким коефіцієнтом тертя («покриття, що самозмащується») [29].

Від хімічного складу покриття багато в чому залежить його експлуатаційні характеристики. Покриття з різним хімічним складом, як правило, різняться за кольором, і досвідчений користувач завжди може визначити яке саме покриття нанесено на інструмент.

2.3.1 Властивості основних зносостійких покриттів

Зносостійкі покриття оцінюються за такими основними характеристиками:

- твердість шару покриття;
- теплостійкість покриття (здатність покриття зберігати свої властивості при високих температурах);

- коефіцієнт тертя (впливає на сход стружки і тепло, що при цьому виділяється);
- теплопровідність покриття (впливає на розподіл тепла, що виділяється при різанні);
- в'язкість покриття (здатність протистояти згинальним навантаженням без руйнування);
- шорсткість поверхні покриття (впливає на сход стружки і на виникнення вогнищ руйнування покриття).

Розглянемо докладніше зносостійкі покриття, які застосовуються для черв'ячних фрез [9, 20], табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Найменування	Зовнішній вигляд	Твердість (HV 0,05)	Товщина, мкм	Коефіцієнт тертя (по сталі, сухе)	Максимальна температура застосування, °C
TiN	Золотий	2500	1...7	0,4	600
TiCN	Сіро-блакитний	3300	1...4	0,35	450
TiAlN	Фіолетово-чорний	3500	1...4	0,45	800
AlCrN	Сіро-голубий	3200	2...5	0,45	1100

Найпоширенішим на сьогодні зносостійким покриттям для черв'ячних фрез є **нітрид титану TiN** [9, 12]. Цей вид покриття почав застосовуватися ще на початку 80-х років минулого століття і застосовується як покриття загального призначення для обробки різанням, обробки тиском, ливарних форм та зниження тертя в деталях машин. Покриття TiN має високу твердість у поєднанні з високою в'язкістю, гарною зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя [10] зі сталлю, гарною хімічною стійкістю, високим опором окисленню на повітрі, гарною адгезією на виробах складної форми. За рахунок високої твердості покриття, забезпечується опір як абразивному, так і лунковому зносу, тому стає можливим збільшення режимів обробки (швидкості різання і подачі), при цьому знос інструменту з покриттям залишається на рівні інструменту без покриття. Низький коефіцієнт тертя, в свою чергу, дозволяє поліпшити сходження стружки і зменшити кількість тепла, що при цьому виділяється. Низька хімічна активність

покриття TiN знижує ймовірність приварювання стружки до інструменту, зменшуючи тим самим лунковий знос.

Черв'ячна фреза, із покриттям TiN під час роботи має збільшену стійкість в 2...12 разів. Однак, враховуючи обмеження робочої температури експлуатації покриття (не більше 600°C), обробка повинна виконуватися тільки із застосуванням МОР, а збільшення швидкості різання відносно помірне.

Покриття, виконане з **карбонітриду титану TiCN** (правильніше написання Ti(CN), оскільки вміст вуглецю може бути різним) має більшу твердість, ніж покриття з TiN, оскільки має вуглець в кристалічній решітці [21]. Покриття з карбонітриду титану широко застосовується у машинобудуванні в якості покриття на різальний інструмент, а також для зниження тертя в деталях машин, оскільки має низький коефіцієнт тертя. Колір покриття сіро-блакитний або мідно-червоний і залежить від співвідношення часток вуглецю та азоту. Різальні інструменти із покриттям TiCN застосовуються із МОР, по причині низької температурної стійкості покриття. Зазвичай, покриття наноситься багатошарово, однак існує технологія градієнтного нанесення, при якій вміст вуглецю поступово збільшується від основи до поверхні.

Останніми роками все більшого розповсюдження набуває покриття (TiAl)N [9, 11, 20]. До переваг цього покриття слід віднести високу стійкість до окислення при дуже високій твердості та низькій теплопровідності. Покриття (TiAl)N працює як тепловий бар'єр, який практично ізолює від впливу тепла покриту частину інструменту під час різання, тому утворена теплова енергія переходить у стружку. Також відмінною рисою (TiAl)N є зниження зусиль при обробці, за рахунок утворення плівки оксиду алюмінію (яка має низький коефіцієнт тертя) через збільшення температури різання на поверхні цього покриття. Такі властивості покриття дозволили використовувати його на різальних інструментах із високим термічним навантаженням, зокрема під час високопродуктивної обробки (обробка із підвищеними режимами різання, які призводять до підвищення температури в зоні різання), та під час обробки без

застосування МОР. Поява та широке поширення цього покриття в промисловості посприяла популяризації «сухого» різання [16].

Відносно нове покриття AlCrN , що не має в своєму складі титану, широко розповсюдилося саме для покриття черв'ячних фрез [20]. Покриття має високу зносостійкість, чим збільшує стійкість інструменту та скорочує витрати на його експлуатацію. У порівнянні з розглянутими у розділі видами інструментальних покриттів, AlCrN притаманна висока хімічна стабільність, та стійкість до окислення навіть при робочій температурі до 1100°C [21]. Це покриття наносять як на черв'ячні фрези як з порошкової швидкорізальної сталі, так і з твердого сплаву. У порівнянні із покриттям TiAlN , черв'ячна фреза покрита AlCrN отримує подвійне зростання стійкості у деяких випадках.

2.3.2 Варіанти поєднання інструментальних матеріалів та зносостійких покриттів для черв'ячних фрез

На черв'ячні фрези зі швидкорізальної сталі, яка отримана традиційними металургічними методами, наносять покриття TiN , TiCN і TiAlN . Фрези із покриттям TiN використовуються при обробці із застосуванням МОР, швидкість різання при цьому не перевищує 100 м/хв. Черв'ячні фрези із покриттям TiCN також працюють із застосуванням МОР, застосовується, переважно, для обробки сталей із високою твердістю. Загалом, черв'ячні фрези із традиційної швидкорізальної сталі майже не застосовують для «сухої» обробки без МОР, однак фрезами із покриттям TiAlN таку обробку можна здійснити. Однак максимальна швидкість різання не перевищить 110 м/хв, з огляду на властивості швидкорізальної сталі [20].

Черв'ячна фреза, виготовлена із порошкової швидкорізальної сталі може бути покрита всіма розглянутими вище (р. 2.3.1) видами зносостійких покриттів. Усі види покриттів можуть бути застосовані для обробки з використанням МОР (швидкість різання до 130 м/хв), а черв'ячні фрези з покриттями, які містять алюміній, можуть використовуватися також для сухої обробки, тобто без МОР (швидкість різання до 180 м/хв). Слід відмітити, що черв'ячні фрези, які

працюють в умовах «сухої» обробки, після переточування обов'язково підлягають повторному нанесенню нового покриття, з метою запобігання виникнення лункового зносу. Стосовно черв'ячних фрез, що працюють із МОР, рішення про повторне нанесення покриття приймається в залежності від умов їх експлуатації.

Вид покриття на черв'ячну фрезу, виготовлену з твердого сплаву, також залежить від умов обробки, а саме від застосування МОР. Покриття AlCrN застосовується у всіх випадках. Для твердосплавних фрез із покриттям TiN МОР не застосовується, а із покриттям TiCN – тільки обробка із МОР. Твердосплавні фрези із одношаровим покриттям TiAlN застосовуються для сухого різання [16].

2.3.3 Технологія нанесення зносостійкого покриття

Зносостійкі покриття наноситися черв'ячні фрези безпосередньо при їх виготовленні та відновлюються після переточування інструменту [29]. В залежності від випадку, відрізнятися можуть лише підготовчі, операції.

Нова черв'ячна фреза перед нанесенням зносостійкого покриття проходить етап підготовки. Основний операцією на цьому етапі є обробка струменем спеціально підібраного абразиву. Така обробка проводиться з метою видалення задирок, які утворилися на різальній частині фрези після чистової обробки шліфуванням, та очищення поверхні для кращого зчеплення зносостійкого покриття з матеріалом інструменту.

Після обробки черв'ячної фрези струменем, вона, як правило, потрапляє на операцію нанесення зносостійкого покриття. Інколи, в етап підготовки вводять додаткову операцію спеціалізованої мийки.

На етапі нанесення покриття, черв'ячні фрези встановлюються на спеціальні поворотні стойки камери для нанесення покриття, рис. 2.6. Положення фрез у камері – вертикальне. Кількість фрез, що одночасно покриваються, залежить від розміру камери установки [23].

Контроль покриття здійснюється після завершення циклу нанесення. Так як черв'ячна фреза має складну форму, то контролювати якість покриття

безпосередньо на самій фрезі досить важко. З цією метою, в камеру для нанесення покриттів разом із черв'ячними фрезами поміщається невеликий зразок («свідок»). Так як зразок виготовляють із такого ж інструментального матеріалу, що й фреза, та наноситься таке саме покриття, то на ньому воно і контролюється.

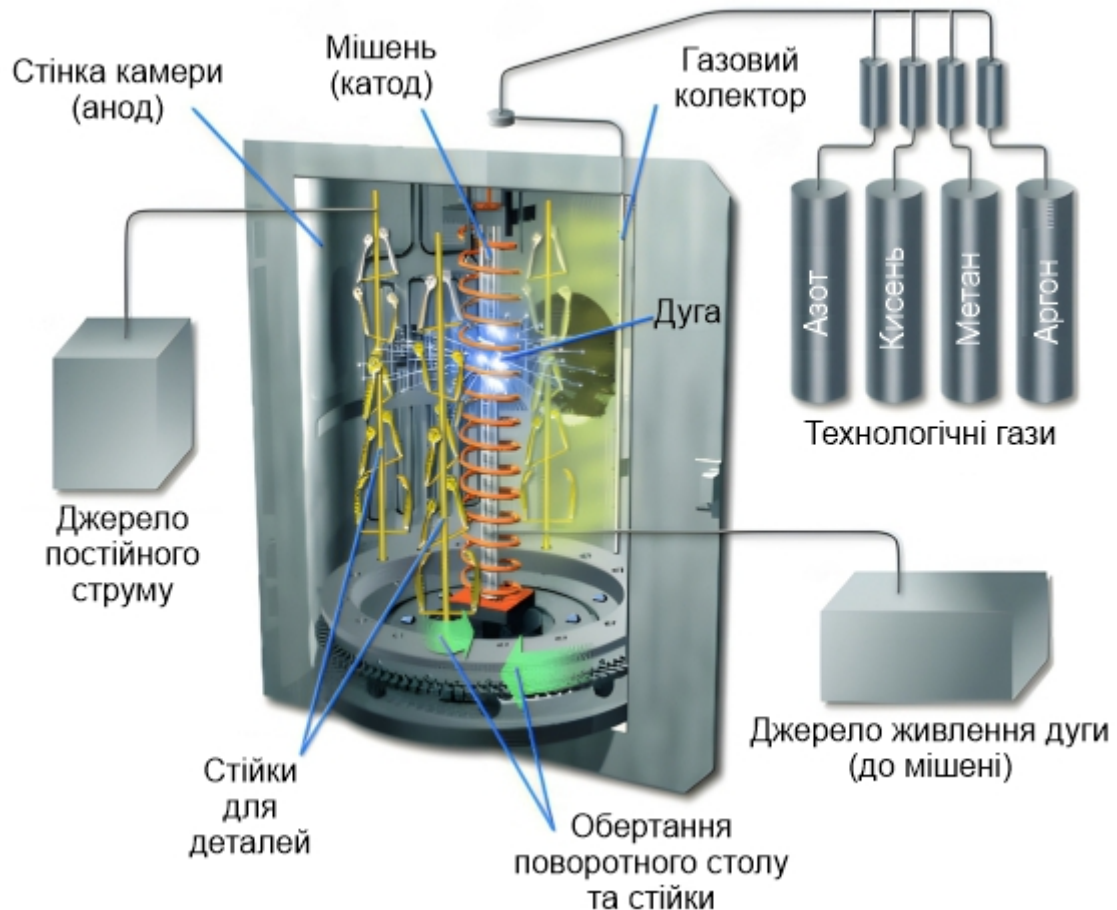


Рис. 2.6 Камера для нанесення PVD покриття.

У випадку повторного нанесення зносостійкого покриття на черв'ячну фрезу після переточування, процес підготовки відрізняється від розглянутої вище технології. У деяких випадках, зносостійкі покриття після переточування фрези по передній поверхні не наносять заново. Відновленням покриття нехтують у випадку обробки черв'ячною фрезою на низьких значеннях швидкості різання і обов'язковий захист передньої поверхні від лункового зносу не потрібен. У цьому випадку заточування черв'ячної виконують «по покриттю», що негативно впливає також на стійкість заточного шліфувального круга [10].

У випадку відновлення зносостійкого покриття на різальній частині інструменту, першим етапом стає видалення старого покриття. Видалення виконують розчиненням у спеціально підібраних розчинах, хімічним способом.

Наступним етапом після видалення покриття виконують заточування інструменту. Далі – процес повністю збігається із технологією нанесення покриття на нову черв'ячну фрезу. Тобто, фреза проходить очищення струменем абразиву для видалення задирок та підготовки поверхні під наступне нанесення зносостійкого покриття.

2.4 Дослідження меж ефективного застосування черв'ячних фрез із твердого сплаву

Досвід експлуатації твердосплавних черв'ячних фрез показав, що причиною, яка перешкоджає ефективному їх використанню при нарізанні зубчастих коліс із модулем $m = 2,5 \dots 6$ мм, являються сколи на різальних кромках фрези [26]. Сколи знижують стійкість інструменту та підвищують товщину інструментального матеріалу, який знімається при переточуванні, що призводить до додаткових витрат твердого сплаву та підвищує затрати на переточку [11].

Інтенсивність утворення сколів в більшій мірі залежить від товщини стружок, довжина яких приблизно рівна довжині дуги контакту фрези та заготовки.

Аналіз стружкоутворення при обробці зубчастих коліс черв'ячними фрезами показує, що стружки максимальної товщини переважно короткі [12], та не дають великих сколів. Максимальні сколи на твердосплавних фрезах утворюються на вершинах зубців першого вхідного витка (відносно міжвісєвого перпендикуляра), де товщина стружки сягає $0,7 \dots 0,8$ максимальної (однак довжина наближена до довжини дуги контакту фрези та заготовки) та температура різання найбільш висока.

Точне визначення найбільшої площі поперечного перерізу стружки пов'язаний із складними розрахунками, тому для практичних цілей за критерій

відсутності сколів на твердосплавній черв'ячній фрезі приймаємо максимальну товщину стружки, що зрізається [26], та яка розраховується по формулі:

$$S_{max} = 2,664 \cdot m^{0,6} \cdot S_o^{0,55} \cdot z^{-0,44} \cdot z_{\phi}^{-1}, \quad (2.2)$$

де m – модуль оброблюваного колеса, мм; S_o – осьова подача, мм/об; z – кількість зубців оброблюваного колеса, шт; z_{ϕ} – кількість зубців фрези, шт.

За даними експлуатації твердосплавних фрез встановлено, що при обробці зубчастих коліс при $S_{max} \leq 0,1$ мм сколи за період стійкості інструмента не утворюються. Подача $S_o = 2,5$ мм/об, при якій $S_{max} \approx 0,2$ мм являється гранично допустимою для нормального протікання процесу.

Виходячи з цього, визначимо співвідношення продуктивності при обробці однакових заготовок зі середнім числом зубців ($z = 30$ шт.) фрезами із твердого сплаву та швидкорізальної сталі із однаковим діаметром, довжиною та числом зубців. Вказане співвідношення назовемо коефіцієнтом інструментального матеріалу:

$$K_{im} = \frac{V_{TB} \cdot S_{o,TB}}{V_{ш} \cdot S_{o,ш}}, \quad (2.3)$$

де V_{TB} , $S_{o,TB}$ та $V_{ш}$, $S_{o,ш}$ – відповідно швидкість різання та вісева подача при обробці черв'ячними фрезами із твердого сплаву та швидкорізальної сталі.

Значення параметрів складових формули, показані на рис. 2.7, визначено на основі каталожної інформації та рекомендацій провідних виробників черв'ячних фрез [19], причому значення $S_{o,TB}$ визначені із виразу (2.2) в залежності від модуля оброблюваного колеса при $S_{max} = 0,1$ мм.

Отримані розрахунками по формулі (2.3) значення K_{im} представлено у вигляді графіку рис. 2.8, де видно, що $S_{max} \leq 0,1$ мм (при відсутності сколів на інструменті) використання твердосплавних черв'ячних фрез дозволяє підвищити продуктивність у порівнянні з продуктивністю при використанні швидкорізальних фрез, однак у межах $m \leq 2,5$ мм. При відсутності сколів твердосплавні фрези підлягають переточці тільки по передній поверхні, при цьому знімається не великий шар інструментального матеріалу.

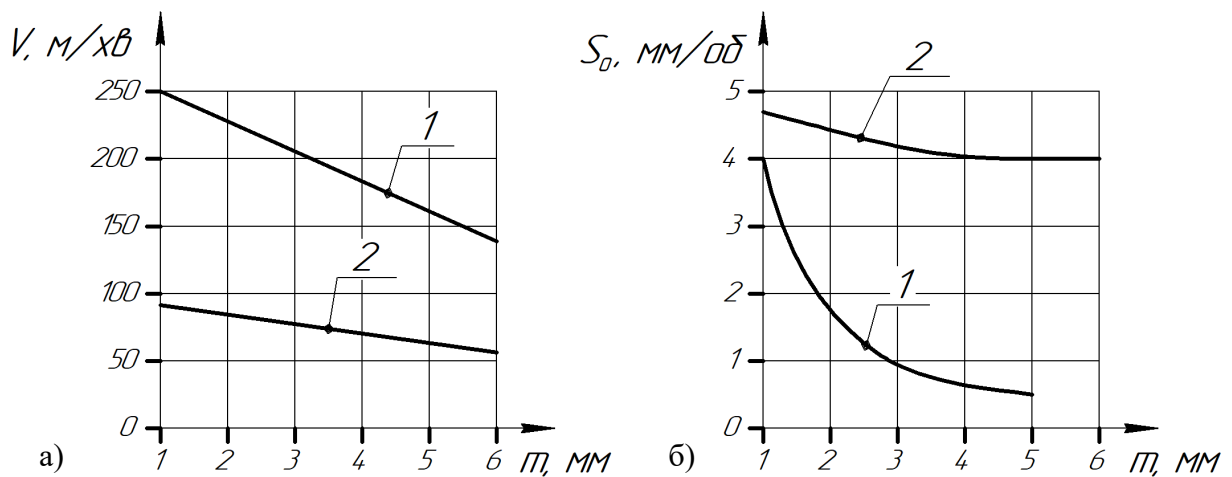


Рис. 2.7 Залежність швидкості різання (а) та вісєвої подачі (б) від модуля оброблюваних зубчастих коліс при $S_{max} = 0,1$ мм.

1 – твердий сплав; 2 – швидкорізальна сталь.

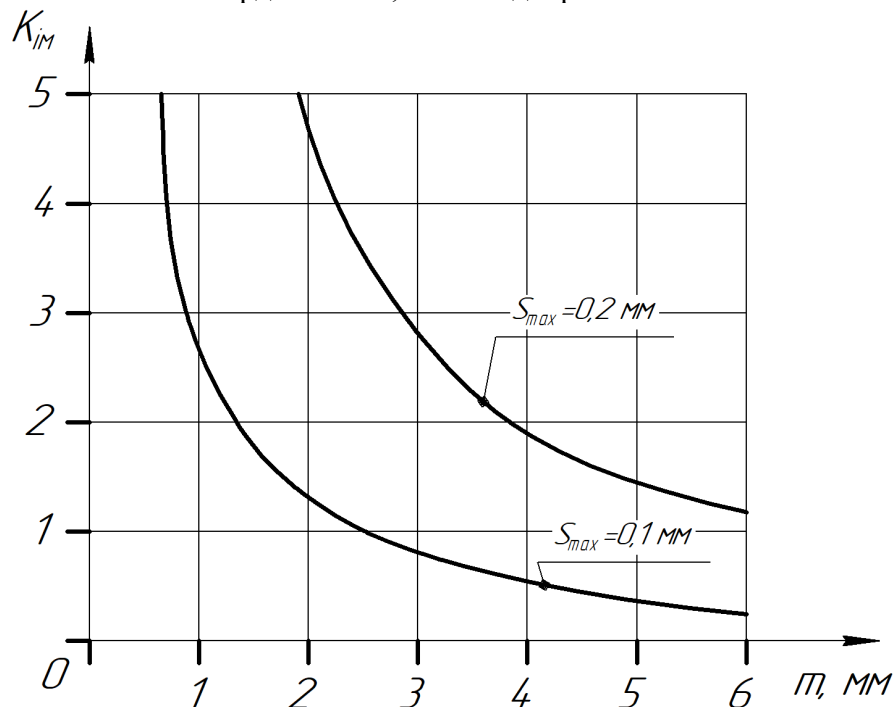


Рис. 2.8 Залежність коефіцієнта K_{im} від максимальної товщини S_{max} стружки та модуля оброблюваних зубчастих коліс.

При $m > 2,5$ мм підвищити продуктивність при використанні твердосплавних фрез можна лише шляхом підвищення подачі до значень, при яких можливе утворення сколів. При цьому слід враховувати, що в цьому випадку переточка черв'ячних фрез зі сколами по передній поверхні не ефективна, тому слід застосовувати переточку по задніх поверхнях.

Ця обставина стримує використання черв'ячних фрез з $m > 2,5$ мм, так як обладнання для переточки черв'ячних фрез по задній поверхні (фактично –

відновлення профілю) дороговартісне, процес заточки – складний та малопродуктивний. А у випадку відновлення фрези із нанесеним зносостійким покриттям, затрати на відновлення збільшуються.

Всі вказані обставини обумовлюють доцільність розділення операції нарізання зубчастих коліс твердосплавними черв'ячними фрезами за два проходи, які виконуються чорною та чистою фрезою.

2.5 Висновки

1. У розділі було проаналізовано особливості сучасних черв'ячних фрез: конструктивні характеристики, інструментальні матеріали та зносостійкі покриття. Оцінено вплив різних конструктивних параметрів на продуктивність та стійкість фрез. Визначено, що ефект від застосування зносостійких покриттів присутній і в випадку нанесення його на черв'ячні фрези традиційної конструкції, зі звичайної швидкорізальної сталі.

2. Проведене дослідження меж ефективного застосування черв'ячних фрез із твердого сплаву на основі аналізу рекомендацій провідних виробників черв'ячних фрез дало змогу зробити наступні висновки:

- широке застосування твердосплавних черв'ячних фрез для зубофрезерування стримується по причині сколів, які утворюються на вершинах зубців у процесі обробки;
- основною причиною сколів являється перевищення допустимої товщини знімаємої стружки ($S_{max} = 0,1$ мм);
- при роботі у режимі «без сколів» ($S_{max} \leq 0,1$ мм), черв'ячне зубофрезерування твердосплавними фрезами ефективне тільки для коліс із $m \leq 2,5$ мм;
- при обробці зубчастих коліс із $m > 2,5$ мм ефективне розподілення операції зубофрезерування на чорновий та чистовий переходи, із диференціацією інструменту.

3. Заданий вектор розвитку інструментальних матеріалів та зносостійких покриттів у майбутньому розкриє додаткові можливості для підвищення стійкості та продуктивності черв'ячних фрез.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРНІ ВЕДУЧОЇ

3.1 Службове призначення шестерні ведучої НШ50-3-04

Шестерня ведуча НШ50-3-04 входить до складу насосу НШ50М-3, який використовується у тракторах, сільськогосподарських машинах, будівельній та іншій техніці для подачі робочої рідини в гідравлічну систему.

Шестерня ведуча призначена для передачі крутного моменту на ведену шестерню та нагнітання, разом із нею, робочої рідини в систему під тиском. Крутний момент на шестерню передається через шліцеву поверхню. Шестерня ведуча розташовується в колодязі корпусу насосу і опирається цапфами у втулки, які виконують роль підшипників.

Головними робочими поверхнями шестерні ведучої являються торці зубчатого вінця, точність виготовлення яких впливає на продуктивність насосу. Дві цапфи являються конструкторськими базами – по цих поверхнях деталь базується в складальній одиниці. Деталь за своєю формою відноситься до класу тіл обертання, а саме до валів із зубчастим вінцем. Вона має зовнішні циліндричні, торцеві поверхні, канавки, фаски, шліці та зубчасту поверхню.

Функціональними являються зубчаста евольвентна поверхня та шліцева евольвентна поверхня. Основними поверхнями є зовнішні циліндричні поверхні цапф шестерні. Вільними поверхнями є торці, зовнішній діаметр зубчастого вінця та сальникова шийка. Конструкторською базою є геометрична вісь деталі, яка співпадає із технологічною базою (центрові отвори R5).

Вал-шестерню виготовлено зі сталі 18ХГТ. Вага деталі 1,040 кг. Габаритні розміри 168,5 x 59,8 мм. Деталь працює в сприятливих умовах, завжди змащена, але є поверхні які працюють під навантаженням: зубчастий вінець та шліцева шийка.

Шестеренний насос НШ50М-3 показано на рис. 3.1. Він складається із: ведучої шестерні, веденої шестерні, корпусу, кришки, манжети, чотирьох втулок, двох компенсаторів із комплектами ущільнень.

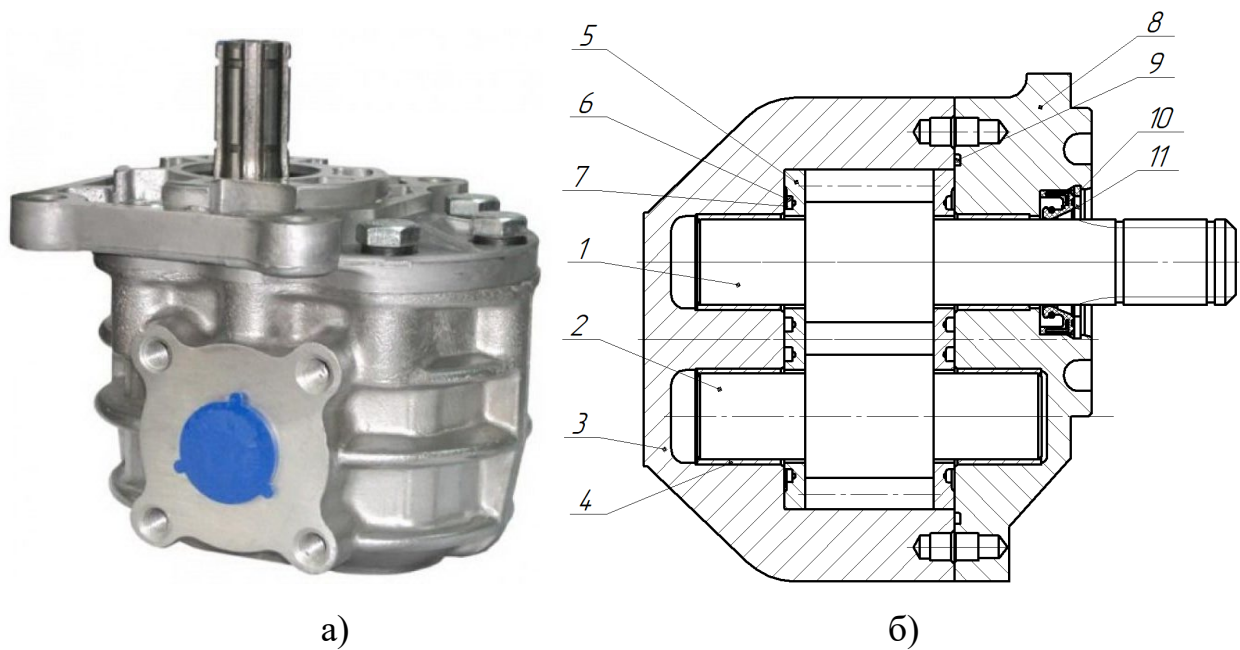


Рис. 3.1 Насос шестеренний НШ50М-3

а) зовнішній вигляд; б) повздовжній переріз;

1 – шестерня ведуча; 2 – шестерня ведена; 3 – корпус; 4 – металофторопластові втулки;
5 – компенсатор; 6 – ущільнення; 7 – захисна пластина; 8 – кришка;
9 – ущільнення кришки; 10 – манжета; 11 – стопорне кільце.

Тиск та подача робочої рідини в шестеренному насосі забезпечуються за рахунок обертання шестерень, які знаходяться в постійному зачепленні та розташовані у розточках корпусу між компенсаторами. Із входної порожнини корпусу насосу рідина зачерпується міжзубовими впадинами і переноситься вздовж циліндричних стінок колодязів корпусу до вихідної порожнини.

Високий коефіцієнт корисної дії (ККД) та утворення необхідного тиску рідини може забезпечити герметичний насос, який має мінімальний зазор між зовнішнім діаметром шестерень та стінкою колодязів. Це забезпечується точною обробкою корпусу і шестерень, та надійним і точним встановленням шестерень в металфторопластові (МФП) втулки, які запресовані консольно в розточки корпусу та кришки. Торцеві поверхні шестерень ущільнюються двома компенсаторами, що також впливає на ККД.

Зовнішня герметичність забезпечується за рахунок ущільнення ведучого валу насоса манжетою та за допомогою гумового ущільнюючого кільця по площині роз'єму корпус-кришка.

Коротка технічна характеристика насоса НШ50М-3 наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Назва параметру	Одиниця виміру	Значення
Номінальний робочий об'єм	см ³	50
Частота обертання: - номінальна - максимальна - мінімальна	хв ⁻¹	1800 3000 600
Номінальна подача, не менше	л/хв	85
Тиск на виході: - номінальний - максимальний піковий	МПа	16 25
Тиск на вході: - номінальний - максимальний	МПа	0,08 0,15
Коефіцієнт подачі, не менше	-	0,94
Коефіцієнт корисної дії, не менше	-	0,91
Маса, не більше	кг	5
Номінальна потужність, не більше	кВт	40,8
Габаритні розміри	мм	163×148×134
Температура навколишнього середовища: - мінімальна - максимальна	С°	-60 +50
Характеристика робочої рідини: - кінематична в'язкість, номінальна - температура: а) мінімальна б) максимальна	мм ² /с С°	30...40 0 +80

3.2 Розробка технології виготовлення шестерні ведучої

3.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва розраховують з урахуванням річної програми виготовлення деталі та її маси, визначають за допомогою довідників, але найбільш точний метод – розрахунок коефіцієнту закріплення операцій.

При розрахунку типу виробництва деталі шестерня ведуча НШ50-3-04, використовуємо прикладну комп'ютерну програму «ТИП» [5, 6].

Вихідні данні для розрахунку:

- значення штучних часів за окремими операціями базового технологічного процесу;
- дійсний фонд часу роботи обладнання – 4176 год.;
- програма випуску продукції – 60000 шт.

Протокол розрахунку комп'ютерної програми «ТИП»:

Розрахунок типу виробництва

Шестерня НШ50-3-04

Вихідні дані		
Програма випуску 60000		
Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
210	4176	0.5800
215	4176	2.1270
220	4176	2.4300
225	4176	1.2150
230	4176	1.8230
235	4176	2.5700
240	4176	2.9700
245	4176	2.7600
250	4176	1.4200
310	4176	0.4280
315	4176	0.9900
320	4176	2.4100
325	4176	2.4100
330	4176	0.8845
335	4176	0.4100

Результати розрахунку			
Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
210	0.1390	1	7.19
215	0.5090	1	1.96
220	0.5820	1	1.72
225	0.2910	1	3.44
230	0.4370	1	2.29
235	0.6150	1	1.63
240	0.7110	1	1.41
245	0.6610	1	1.51
250	0.3400	1	2.94
310	0.1020	1	9.80
315	0.2370	1	4.22
320	0.5770	1	1.73
325	0.5770	1	1.73
330	0.2120	1	4.72
335	0.0980	1	10.20

Коефіцієнт закріплення операцій 4,708247

Тип виробництва – крупносерійний

Визначений тип виробництва – крупносерійний.

Крупносерійне виробництво характеризується великими обсягами випуску продукції впродовж значного проміжку часу, що безперервно виготовляється на одних і тих же робочих місцях. Широко використовується продуктивне устаткування (спеціальне, спеціалізоване, верстати з ЧПУ) із автоматизованими пристосуваннями, автоматичні лінії, спеціальні різальні інструменти, засоби міжопераційного транспортування деталей. Принцип розташування верстатів – в послідовності виконання технологічних операцій. Вимоги до кваліфікації працівників – невисокі, кількість працівників – необхідна і достатня.

Розроблені технологічні процеси мають високу детальність. Операції споряджуються на високому рівні допоміжними засобами, які забезпечують високу точність та взаємозамінність деталей, зменшують витрати часу на виготовлення продукції та її собівартість.

Перелічені особливості крупносерійного типу виробництва необхідно враховувати при подальшій розробці технологічного процесу деталі.

3.2.2 Аналіз точності та технологічності

Аналіз точності потрібний для визначення поверхонь, до яких висунуті найбільші вимоги по точності та шорсткості. Це дає змогу з'ясувати, які поверхні в деталі виконують головні функції, та прийняти міри до як найретельнішої обробки саме цих поверхонь. Також з аналізу визначають найбільш важливі для службового призначення деталі поверхні (конструкторські бази) і їх взаємні розмірні зв'язки. Аналіз виконується з метою розробки найоптимальнішого технологічного процесу виготовлення деталі [5, 6].

Деталь відноситься до технологічного класу «тіл обертання», має досить просту конструктивну форму, зручні технологічні бази, а також вільний доступ різального і вимірювального інструментів до всіх оброблювальних поверхонь.

Для поелементного аналізу точності поверхонь деталі виконуємо ескіз деталі (рис. 3.2) із зазначенням всіх поверхонь, які підлягають механічній обробці, а дані аналізу точності параметрів заносимо в табл. 3.2.

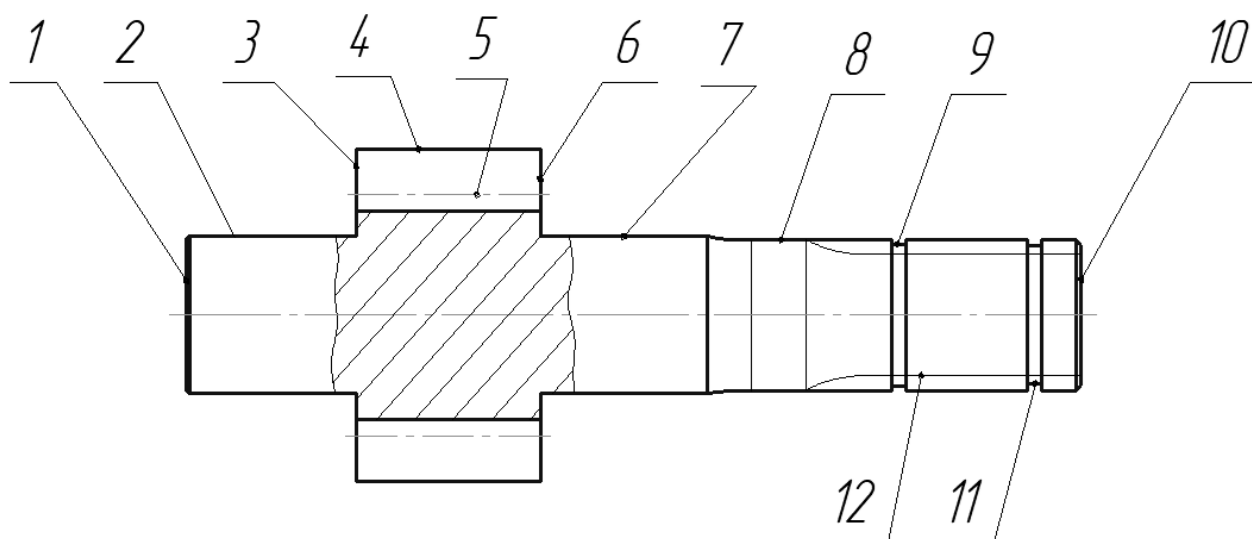


Рис. 3.2 Ескіз деталі шестерня ведуча НШ50-3-04

Таблиця 3.2

Характеристика параметрів точності поверхонь шестерні ведучої

№ поверхні	Найм. поверхні	Розмір з відхиленням	Квалітет точності	Точність форми та розташування	Шорсткість, Ra						
1,10	Торець	168,5±0,23	$\pm \frac{IT14}{2}$	—	12,5						
2	Цапфа	$\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$	h4	<table><tr><td></td><td>0,005</td></tr><tr><td></td><td>0,005</td></tr></table>		0,005		0,005	0,16		
	0,005										
	0,005										
3,6	Торець зубчатого вінця	31,05-0,020	h8	<table><tr><td></td><td>0,008</td><td>Б</td></tr><tr><td>—</td><td>0,012</td><td></td></tr></table>		0,008	Б	—	0,012		0,16
	0,008	Б									
—	0,012										
4	Зубчатий вінець	$\varnothing 59,8_{-0,030}$	h7	<table><tr><td></td><td>R0,01</td><td>ДЗ</td></tr></table>		R0,01	ДЗ	1,25			
	R0,01	ДЗ									
5	Впадина зуба	$\varnothing 39_{-0,300}^{+0,200}$	h13	—	1,6						
7	Цапфа	$\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$	h4	<table><tr><td></td><td>0,005</td></tr><tr><td></td><td>0,005</td></tr></table>		0,005		0,005	0,16		
	0,005										
	0,005										
8	Шліцева шийка	$\varnothing 25_{-0,07}^{-0,040}$	e9	-	0,32						
9,11	Канавка	$\varnothing 23,5_{-0,21}^{+0,300}$	H14 Js16	—	6,3 3,2						
12	Евольвента шліцевої шийки	$\varnothing 21_{-0,07}$	e9	-	1,25						

Точність виготовлення деталі визначається службовим призначенням поверхонь. Від точності виготовлення зубчатого вінця та торцю зубчатого вінця залежить працездатність насоса.

Аналіз параметрів точності поверхонь шестерні ведучої показує, що всі розміри деталі відповідають діючим стандартам та умовам експлуатації, задані в достатній кількості для обробки поверхонь.

Аналіз показує, що до поверхонь з високими вимогами по точності та шорсткості відносяться (рис. 3.2):

- торцеві поверхні поз. 3, 6 з розміром $31,05_{-0,020}^{+0,055}$, шорсткістю $R_a 0,16$ мкм;
- зовнішні циліндричні поверхні поз. 2, 7, які призначені для базування деталі у підшипниках ковзання і мають точність $h4 \text{ } \varnothing 30_{-0,07}^{+0,055}$, шорсткістю $R_a 0,16$.

Підвищені вимоги по точності та якості обумовлені службовим призначенням зазначених поверхонь. Наявність вказаних поверхонь значно підвищує собівартість виготовлення деталі.

Шестерня ведуча виготовляється з легованої сталі ДСТУ 7806:2015 і конструкція деталі не викликає значних ускладнень під час вибору заготовки. За вимогами креслення, деталь потрібно цементувати $h 0,6 \dots 1,0$ мм, загартовувати на твердість $57 \dots 63$ HRC і серцевину на $25 \dots 45$ HRC, для підвищення зносостійкості деталі.

З точки зору механічної обробки деталь достатньо технологічна, має просту конструктивну форму. Конструкція деталі дозволяє вести токарну обробку поверхонь, на верстаті з ЧПУ, за одну установку, використовуючи правий та лівий різець. Для обробки деталі можна використовувати інструменти оснащені пластинами із твердих сплавів.

З точки зору виготовлення заготовки – не технологічна, так як деталь виготовляється методом штамповки, для цього потрібне спеціальне обладнання.

З точки зору базування – технологічна, так як на кожній операції за базу приймають центрові отвори, які суміщають конструкторську і технологічну бази.

З точки зору застосування металорізальних верстатів переважно технологічна, тому що для обробки тільки двох поверхонь (зубчастої та шліцевої) потрібні спеціальні верстати.

В цілому деталь можна вважати достатньо технологічною.

3.2.3 Аналіз базового технологічного процесу

Основне завдання цього підрозділу – аналіз базового технологічного процесу з точки зору забезпечення високої продуктивності, низької технологічної собівартості при тому рівні якості, який вимагається. Проводимо оцінку застосованих технологічних методів обробки поверхонь, структури технологічних операцій і процесу в цілому [5, 6].

Аналіз діючих на базовому підприємстві технологічних процесів механічної обробки вказаних деталей показує, що вони забезпечують виготовлення деталей із заданими вимогами щодо точності.

В більшості випадків для механічної обробки заданих деталей використовуються застарілі моделі технологічного обладнання, металообробні автомати та напівавтомати, агрегатні верстати.

Завдяки використанню нових конструкцій обробних центрів, верстатів з ЧПК можливо значно скоротити загальну кількість верстатів та іншого технологічного обладнання, а відповідно виробничих площ, витрат електроенергії, чисельності робітників, що в свою чергу дозволить зменшити собівартість виготовлення деталей.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі наведено в табл. 3.3.

Технологічний процес механічної обробки шестерні ведучої, діючий на базовому підприємстві, складається з двадцяти дев'яти операцій, на яких задіяні різне за продуктивністю технологічне обладнання.

Для чорнової обробки зовнішніх поверхонь використовуються токарно-копіювальні верстати, для обробки зубців використовуються зубофрезерний, зубодовбальний та зубошевінгувальний верстати, для обробки шліців – шліцефрезерний верстат. Для чистової обробки зовнішніх циліндричних та

торцевих поверхонь шестерні застосовуються круглошліфувальні верстати мод. 3А151, 3М151 та торцекруглошліфувальні верстати мод. SASE 200/05. Для забезпечення потрібної шорсткості на зовнішніх циліндричних поверхнях застосовується суперфінішний безцентровий верстат мод. 3879, а для доводки торців – верстат для алмазної доводки мод. 020-011.

Таблиця 3.3

Базовий технологічний процес обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04

№ операції	Назва операції	Обладнання	Зміст операцій
001	Заготівельна	-	-
005	Транспортна	Електрокара ЕВ-678	Транспортувати заготовки в МСЦ №2
010	Фрезерно- центрувальна	Фрезерно-центрувальний КЛ-37	Фрезерувати та центрувати торці шестерні
015	Токарно- копіювальна	Токарно-копіювальний ЕМ-288	Точити цапфу і вінець шестерні, підрізати торець вінця
020	Токарно- копіювальна	Токарно-копіювальний ЕМ-288	Точити шліцеву шийку і цапфу, підрізати торець вінця
025	Токарно- копіювальна	Токарно-копіювальний СА023	Підрізати торці вінця з 2-ох сторін, точити канавки
030	Токарно- копіювальна	Токарно-копіювальний 1Н713	Точити поверхні 2-ох цапф одночасно, врізати канавки
035	Зубофрезерна	Зубофрезерний 5В312	Фрезерувати зубці шестерні
040	Зубодовбальна	Зубодовбальний 5122КН24	Довбати зубці шестерні
045	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний 5702В	Шевінгувати зубці шестерні
050	Шліцефрезерна	Шліцефрезерний 5350А	Фрезерувати шліци деталі
055	Промивочна	Миюча машина ГМ752	Промити деталі
060	Контрольна	Стіл контрольний ГМ1765	Перевірити деталі
065	Транспортна	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати деталі
070	Дифузійно насичувальна	-	
075	Дробоструйна	-	
080	Транспортна	Електрокара ЕВ-678	Транспортувати деталі

Продовження табл. 3.3

№ операції	Назва операції	Обладнання	Зміст операцій
085	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3A151	Шліфувати зубчастий вінець
090	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати шліцеву і сальникову шийку
095	Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно
100	Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно
105	Електрохімічна	ГМ2685	Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадини зуба
110	Промивочна	Миюча машина ГМ2879	Промити деталі
115	Суперфінішна	Безцентрово-суперфінішний 3879	Суперфінішувати дві цапфи і шийку
120	Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-011	Довести два торця одночасно
125	Заточна	Верстат заточний 3B634	Зачистити торець шліцевої шийки
130	Промивочна	Миюча машина ГМ2879	Промити деталі
135	Контрольна	Стіл контрольний ГМ1765	Перевірити деталі
140	Транспортна	Електрокара ЕВ-678	Транспортувати деталі

Базовий технологічний процес обумовлює значну кількість переустановлень деталі, що впливає на точність обробки. В даному технологічному процесі знайшов використання принцип диференціації операцій, що властиво для масового типу виробництва, але в умовах багатосерійного виробництва це не дуже ефективно.

Використання верстатів з ЧПУ дасть можливість суттєво підвищити гнучкість виробництва, при забезпеченні заданої продуктивності та собівартості обробки.

Токарна обробка поверхонь шестерні ведучої, згідно базового технологічного процесу, виконується на 4-х операціях з використанням токарно-копіювальних верстатів ЕМ-288, СА023 та 1Н713. Пропонується, з метою зменшення кількості операцій, токарну обробку поверхонь виконувати на двох операціях, використавши токарні верстати з ЧПУ Haas ST-20.

Таким чином, це дозволить зменшити кількість верстатів, робітників а також кількість транспортних операцій.

3.2.4 Вибір заготовки

Вибір способу отримання заготовки для виготовлення шестерні ведучої здійснюється з урахуванням її конструктивної форми, службового призначення та фізико-механічних властивостей її матеріалу, а також типу виробництва та технологічних можливостей заготівельного виробництва конкретного підприємства [5, 6].

Шестерня виготовляється із матеріалу сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015, що обумовлено необхідністю забезпечення підвищеної міцності і в'язкості серцевини, а також високої поверхневої твердості, так як шестерня працює під дією ударних навантажень. Хімічний склад матеріалу та його механічні властивості наведено у табл. 3.4 та табл. 3.5.

Таблиця 3.4

Хімічний склад матеріалу заготовки

Марка матеріалу	Зміст елементів, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mg	Ti
18ХГТ	0,17÷0,23	0,17÷0,37	0,80÷1,10	1,0÷1,3	0,30	0,1	0,1

Таблиця 3.5

Механічні властивості матеріалу заготовки

Марка матеріалу	σ_t , МПа	σ_b , МПа	Твердість НВ
	Не менше		Не більше
18ХГТ	90	100	217

На підставі аналізу методу отримання заготовки на базовому підприємстві, а також літературних джерел, щодо методів отримання заготовок для виготовлення деталей аналогічних конструктивних форм та призначення, обираємо метод отримання заготовки – поковка на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).

ГКМ являє собою горизонтальний кривошипний гарячештампувальний прес і призначена для штампування поковок типу стрижень з голівкою, що висаджується в торець, і поковок з піднутреннями однієї або двох взаємно перпендикулярних площинах. Особливості штампування таких поковок зумовлюють особливості влаштування штампів. Штампи ГКМ (на відміну від молотових та пресових) повинні мати роз'єми у двох взаємно перпендикулярних площинах. По-перше, головний роз'єм по площині змикання рухомих частин робочого інструменту (пуансони, прошивки), закріплених на головному (висадковому) повзуні які передають активне навантаження від приводу, і, по-друге, роз'єм по площині змикання рухомої та нерухомої половин матриці.

Розрахунок собівартості виготовлення поковки здійснюємо за формулою:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000},$$

де: $C_i = 85300$ грн. – базова вартість 1 т заготовок на ВАТ «Гідросила» 2024 р.;

$k_T = 1$; $k_C = 0,88$; $k_B = 1,05$; $k_M = 1,21$; $k_{II} = 1,0$ – коефіцієнти, що залежать від точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

$Q = 1,92$ кг – маса заготовки;

$q = 1,04$ кг – маса готової деталі;

$S_{\text{відх.}} = 1700$ грн. – ціна 1 т відходів.

Підставивши значення, маємо:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{85300}{1000} \cdot 1,92 \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 1,05 \cdot 1,21 \cdot 1,0 \right) - (1,92 - 1,04) \cdot \frac{1700}{1000} = 181,612 \text{ грн.}$$

На програму (60000 шт/рік): $S_{\text{заг}} = 10896720$ грн.

Вибраний спосіб виготовлення заготовки дозволяє отримати поковку високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

3.2.5 Вибір маршрутів обробки окремих поверхонь

Сучасна теорія технології машинобудування представляє побудову оптимального технологічного процесу виготовлення деталі як направлений пошук з використанням багатьох конструктивних, функціональних, економічних особливостей та обмежень, а також особливостей керування і організації виробництва. На більшість цих особливостей великий вплив має підмножина маршрутів обробки окремих поверхонь деталі. Таку підмножину маршрутів можна визначити виходячи з необхідної точності та шорсткості оброблюваних поверхонь деталей та точності заготовки на підставі закону копіювання похибок з урахуванням типових маршрутів обробки поверхонь і таблиць економічної точності різних методів обробки [5, 6].

Розрахунок проводимо для поверхні 2 деталі вал-шестерня НШ50-3-04.

Допуск на деталь становить $\delta_d = 0,015$ мм, шорсткість Ra 0,16 мкм, а допуск на заготовку $\delta_z = 2$ мм.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{\delta_d},$$

де: δ_z – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на розмір деталі.

$$\varepsilon_z = \frac{2,0}{0,015} = 133,3$$

Для порівняння, вибираємо два маршрути обробки поверхні:

- чорнове, чистове точіння та чорнове шліфування;
- чорнове, чистове точіння та чорнове, чистове шліфування.

По кожному проміжному методу обробки вибираємо допуски на обробку і розраховуємо частинні коефіцієнти уточнень за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i},$$

де: δ_{i-1}, δ_i – допуск на розмір відповідно до попереднього і поточного методу обробки.

Розраховуємо фактичні уточнення за формулою:

$$\varepsilon_3 \leq \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdots \varepsilon_n.$$

Із можливих варіантів маршрутів обробки перевагу слід надавати тим варіантам, які ближче відповідають рівності:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_\phi$$

Економічні допуски на проміжні методи обробки та частинні коефіцієнти уточнення становлять відповідно:

Перший варіант:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Чорнове точіння $\delta_1 - 0,33$; $\varepsilon_1 - 6,06$ | $\varepsilon_{\phi 1} = 153,6$ |
| 2. Чистове точіння $\delta_2 - 0,052$; $\varepsilon_2 - 6,34$ | $\varepsilon_3 = 133,3$ |
| 3. Шліфування чорнове $\delta_3 - 0,013$; $\varepsilon_3 - 4$ | $\varepsilon_\phi > \varepsilon_3$ |

Другий варіант:

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Чорнове точіння $\delta_1 - 0,33$; $\varepsilon_1 - 6,06$ | $\varepsilon_{\phi 2} = 152,7$ |
| 2. Чистове точіння $\delta_2 - 0,052$; $\varepsilon_2 - 6,34$ | $\varepsilon_3 = 133,3$ |
| 3. Шліфування чорнове $\delta_3 - 0,021$; $\varepsilon_3 - 2,47$ | $\varepsilon_\phi > \varepsilon_3$ |
| 4. Шліфування чистове $\delta_4 - 0,013$; $\varepsilon_4 - 1,61$ | |

Фактичні уточнення: для першого варіанту $\varepsilon_{\phi 1} = 153,68$; для другого $\varepsilon_{\phi 2} = 152,78$. Як для першого варіанту, так і для другого умова $\varepsilon_\phi \geq \varepsilon_3$ виконується. Але остаточно приймаємо перший варіант маршруту обробки.

Результати розрахунків по деталі шестерня ведуча зведені до табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Технологічні маршрути обробки поверхонь деталі шестерня НШ50-3-04

Позначення поверхні (рис. 3.2)	Допуск на поверхню деталі δ_d , мм	Шорсткість поверхні R_a	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення ε_z	Можливі технологічні маршрути обробки		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	Фактичні уточнення
					№	Зміст маршруту			
1,10	0,23	12,5	2	8	1	Фрезерування	0,25	8,69	8,69
2	0,015	1,6	2	133,33	1	Точіння чорнове	0,33	6,06	153,68
						Точіння чистове	0,052	6,34	
						Шліфування	0,013	4	
					2	Точіння чорнове	0,33	6,06	152,78
						Точіння чистове	0,052	6,34	
						Шліфування чорнове	0,021	2,47	
						Шліфування тонке	0,013	1,61	
3,6	0,02	0,16	2,5	125	1	Точіння чорнове	0,39	6,41	155,95
						Точіння чистове	0,25	1,56	
						Шліфування чорнове	0,062	4,03	
						Шліфування чистове	0,016	3,87	
4	0,030	1,25	2	66,6	1	Точіння чорнове	0,46	4,34	66,7
						Точіння чистове	0,087	5,28	
						Шліфування чорнове	0,074	2,9	
5	0,1	1,6	2	20	1	Фрезерування	0,39	5,1	31
						Довбання	0,087	6,2	
7	0,015	1,6	2	133,33	1	Точіння чорнове	0,33	6,06	153,68
						Точіння чистове	0,052	6,34	
						Шліфування	0,013	4	
8	0,03	0,32	1,5	50	1	Точіння чорнове	0,33	6,06	60,32
						Точіння чистове	0,052	6,34	
						Шліфування	0,033	1,57	
9,11	0,21	6,3	1,5	7,1	1	Точіння чорнове	0,21	1	7,1
12	0,07	1,25	1,5	1,2	1	Фрезерування	0,052	1,2	1,2

3.2.6 Розробка маршруту виготовлення шестерні ведучої

На підставі вибраного оптимального маршруту обробки поверхонь шестерні ведучої (табл. 3.6), розробляємо маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі. Основними критеріями аналізу технологічного процесу є [5, 6]:

- продуктивність обробки, рівень механізації та автоматизації;
- розряд робітника;
- кількість верстатів;
- розміри виробничої площі;
- термін технологічної підготовки, та інші.

Розроблений маршрут представлено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

№ операції	Найменування	Технологічне обладнання	Зміст операції
001	Транспортна	Електронавантажувач ЕВ-678	Транспортувати заготовки в МСЦ
005	Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР-76	Фрезерувати і центрувати торці шестерні 1, 10
010	Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Точити поверхні 2, 3, 4 начорно Точити поверхні 2, 3, 4 начисто
015	Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Точити поверхні 8, 7, 6 начорно Точити поверхні 8, 7, 6 начисто Врізати канавки 9, 11.
020	Зубофрезерна	Зубофрезерний н/а 5В312	Фрезерувати поверхню 5
025	Зубодовбальна	Зубодовбальний н/а 5122	Довбати поверхню 5
030	Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний н/а 5702В	Шевінгувати поверхню 5
035	Шліцефрезерна	Шліцефрезерний н/а 5350А	Фрезерувати поверхню 8
040	Слюсарна	Стіл слюсарний ГМ 752	Зняти заусенці, притупити гострі кромки

Продовження табл. 3.7

№ операції	Найменування	Технологічне обладнання	Зміст операції
042	Промивка	Машина мийна ГМ752	Промити деталі
045	Контрольна	Стіл контрольний ГМ1765	Провірити отримані розміри деталі та шорсткість поверхні
047	Транспортування	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати деталі
050	Термічна	-	Загартувати деталь
051	Очистка дробоструйна	-	Очистити деталь
052	Транспортування	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати деталі
055	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3А151	Шліфувати поверхню 4
060	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3М151	Шліфувати поверхні 8
065	Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05	Шліфувати поверхні 2, 3.
070	Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05	Шліфувати поверхні 6, 7
075	Слюсарна-електрохімічна	Установка електрохімічна ГМ2685	Притупити гострі кромки по профілю евольвенти та впадини зубців
080	Суперфінішна	Безцентрово-суперфінішний 3879	Суперфінішувати поверхні 2, 7, 8
085	Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-011	Довести торці 3, 6
088	Заточна	Верстат заточний 3В634	Зачистити торець шліцевої шийки під маркування
090	Промивочна	Машина мийна ГМ2879	Промити деталь
095	Контрольна	Стіл контрольний ГМ1765	Провірити розміри деталі
098	Комплектування	Стіл контрольний ГМ1765	Розбити деталі по групам
099	Транспортна	Електрокара ЕВ-678	Транспортувати деталі на дільницю складання

3.2.7 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз є одним з важливіших етапів проектування технологічних процесів, так як від коректного вибору залежить одержання необхідної точності деталі [4, 5, 6]. Вибір технологічних баз необхідно починати з вибору чорнової бази для виконання першої операції, на якій виготовляються бази для наступних операцій. Під час вибору баз необхідно забезпечити принцип єдності та сталості баз. Результати вибору баз для операцій механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04 наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8.

Номер та назва операції	Технологічне обладнання	Технологічні бази	Число відібраних ступенів свободи
005 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР-76	Торець зубчатого вінця, зовнішня циліндрична поверхня (ЗЦП)	5
010 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Торець зубчатого вінця, ЗЦП	5
015 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Торець зубчатого вінця, ЗЦП	5
020 Зубофрезерна	Зубофрезерний н/а 5В312	Центрові отвори, торець цапфи	5
025 Зубодовбальна	Зубодовбальний н/а 5122	Центрові отвори, ЗЦП	5
030 Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний н/а 5702В	Центрові отвори, ЗЦП	5
035 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний 5350А	Центрові отвори, ЗЦП	5
055 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3А151	Центрові отвори, ЗЦП	5
060 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3М151	Центрові отвори, ЗЦП	5
065 Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Центрові отвори, ЗЦП	5
070 Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Центрові отвори, ЗЦП	5
080 Суперфінішна	Безцентрово-суперфінішний 3879	ЗЦП	4
085 Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-111	Центрові отвори	5

На першій операції механічної обробки деталі шестерня ведуча за технологічну базу приймаємо зовнішню поверхню поковки і торець заготовки. На послідуючих операціях механічної обробки – токарна, зубообробні, шліфувальні – технологічні бази: зовнішні циліндричні поверхні, центрові отвори та торець зубчатого вінця деталі.

3.2.8 Розробка структури та змісту технологічних операцій

Розробка структури та змісту кожної операції технологічного процесу механічної обробки шестерні веденої здійснюється на підставі прийнятих методів і маршруту обробки (табл. 3.7) та загальних рекомендацій щодо проектування операційного технологічного процесу.

Для виробництва деталі шестерня ведуча використовують різноманітне обладнання: токарні верстати, зубо- та шліцефрезерні верстати, шліфувальні верстати, верстати для відділкової обробки, які забезпечують високу точність та продуктивність обробки [4, 5, 6].

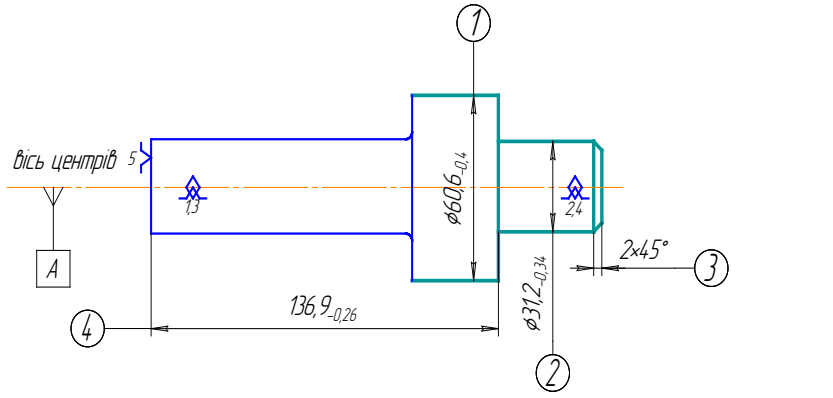
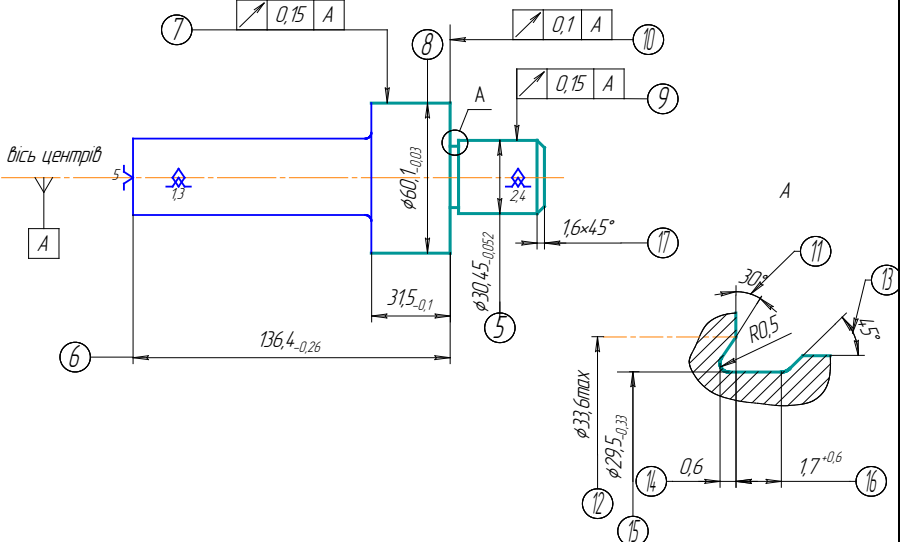
При розробці структури технологічних операцій, важливо враховувати взаємозв'язок між операціями задля уникнення зайвих переходів, так як це може призвести до збільшення витрат на виробництво та збільшення часу обробки.

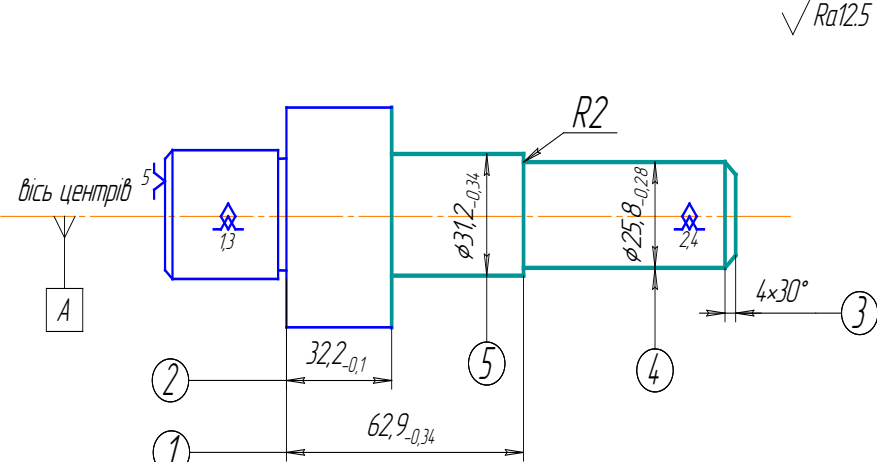
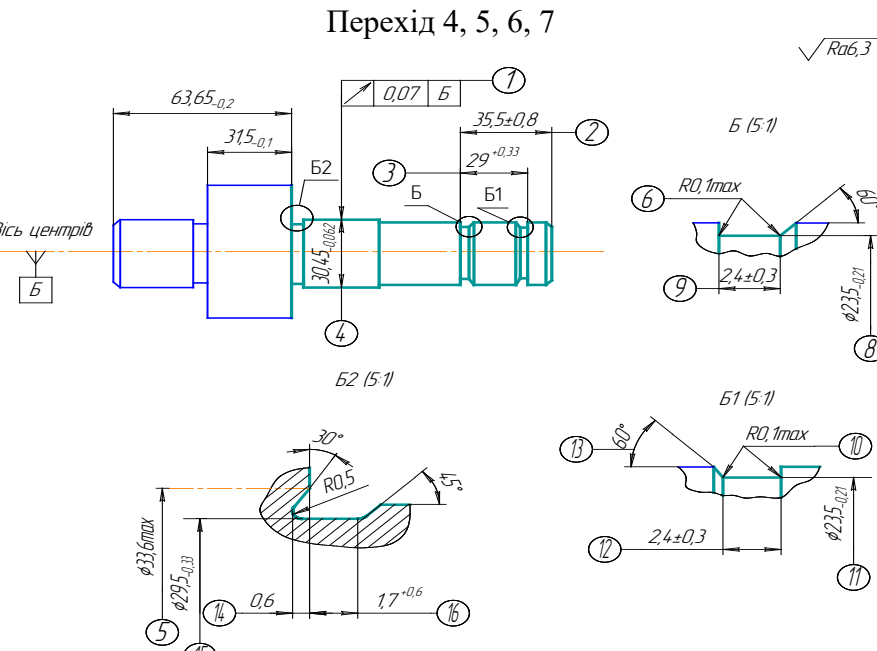
Структура та зміст операцій механічної обробки шестерні ведучої представлено в табл. 3.9.

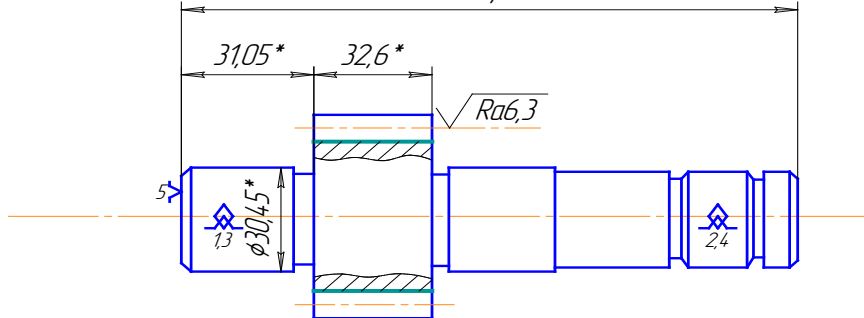
Таблиця 3.9

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний МР-76	Переходи 2, 3 $\sqrt{Ra6,3}$ $168,5_{-0,53}$ $138,2_{-0,53}$ $11,2^*$ $\phi 5^*$ $R12,5_{-0,16}$ $\phi 10,6 \pm 0,15$ 20 мм $0,5$ A 13 24 5 A вісь центрів	Позиція 1 1. Встановити та закріпити деталь. Позиція 2 2. Одночасно фрезерувати торці, отримуючи 1 і 2. Позиція 3 3. Одночасно свердлити два центрові отвори, отримуючи розмір 4 і допуск 3.

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Переходи 2, 3  Переходи 4, 5, 6 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Послідовно точити начорно поверхні цапфи і вінця отримуючи розміри 1,2. 3. Підрізати торець вінця, точити фаску отримуючи розміри 4,3. 4. Послідовно точити начисто поверхні цапфи і вінця отримуючи розміри 5, 8 та допуски 7,9. 5. Підрізати торець вінця, точити фаску отримуючи розміри 6, 11 та допуск 10. 6. Точити канавку в торці вінця отримуючи розміри 12, 14, 15.

1	2	3	4
015 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ Haas ST-20	Перехід 2, 3  Перехід 4, 5, 6, 7 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Послідовно точити начорно поверхні шліцевої шийки та цапфи отримуючи розміри 1, 4, 5. 3. Підрізати торець вінця, точити фаску отримуючи розміри 3, 2. 4. Послідовно точити начисто поверхні шліцевої шийки та цапфи отримуючи розміри 4 та допуск 1. 5. Підрізати торець вінця, отримуючи розмір 7. 6. Точити канавки отримуючи розміри 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16.

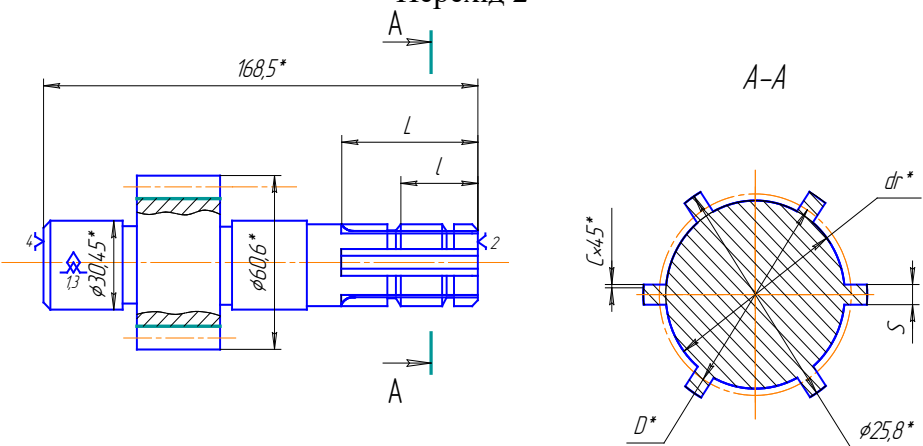
1	2	3	4																																		
020 Зубофрезерна	Зубофрезерний н/а 5В312	Перехід 2 168,5*  <table><tr><td>модуль</td><td><i>m</i></td><td>5</td></tr><tr><td>число зубів</td><td><i>z</i></td><td>9</td></tr><tr><td>вихідний контур</td><td>–</td><td>ГОСТ 13755–81</td></tr><tr><td>коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td><i>x</i></td><td>+0,657</td></tr><tr><td rowspan="2">придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані</td><td>верхнє</td><td><i>E_a</i>''</td><td>–</td></tr><tr><td>нижнє</td><td><i>E_a</i>''</td><td>–</td></tr><tr><td rowspan="2">допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані</td><td>за одерт колеса</td><td><i>F_i</i>''</td><td>0,3</td></tr><tr><td>на одному зубі</td><td><i>f_i</i>''</td><td>0,1</td></tr><tr><td>допуск на похибку напрямлення зуба</td><td><i>F_β</i></td><td>0,1</td><td></td></tr><tr><td>Довжина загальної нормалі</td><td><i>W</i></td><td>26,25–0,2</td><td></td></tr></table> *Розміри для довідок	модуль	<i>m</i>	5	число зубів	<i>z</i>	9	вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81	коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,657	придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	–	нижнє	<i>E_a</i> ''	–	допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані	за одерт колеса	<i>F_i</i> ''	0,3	на одному зубі	<i>f_i</i> ''	0,1	допуск на похибку напрямлення зуба	<i>F_β</i>	0,1		Довжина загальної нормалі	<i>W</i>	26,25–0,2		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.
		модуль	<i>m</i>	5																																	
число зубів	<i>z</i>	9																																			
вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81																																			
коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,657																																			
придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	–																																		
	нижнє	<i>E_a</i> ''	–																																		
допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані	за одерт колеса	<i>F_i</i> ''	0,3																																		
	на одному зубі	<i>f_i</i> ''	0,1																																		
допуск на похибку напрямлення зуба	<i>F_β</i>	0,1																																			
Довжина загальної нормалі	<i>W</i>	26,25–0,2																																			

**Розміри для довідок*

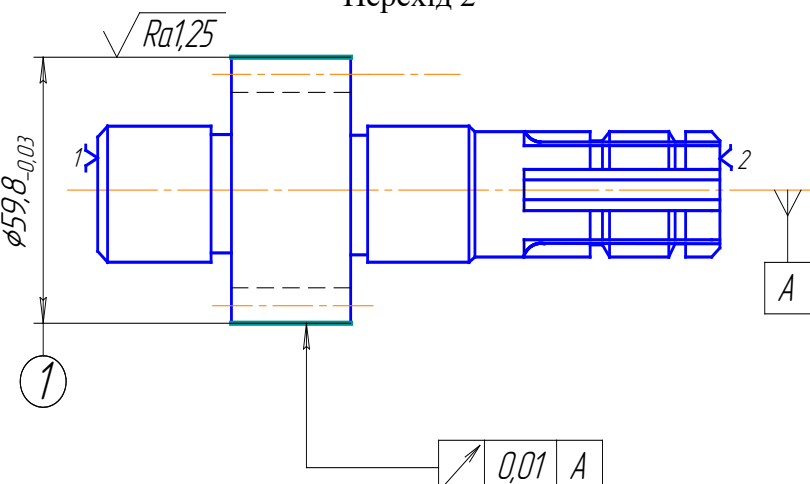
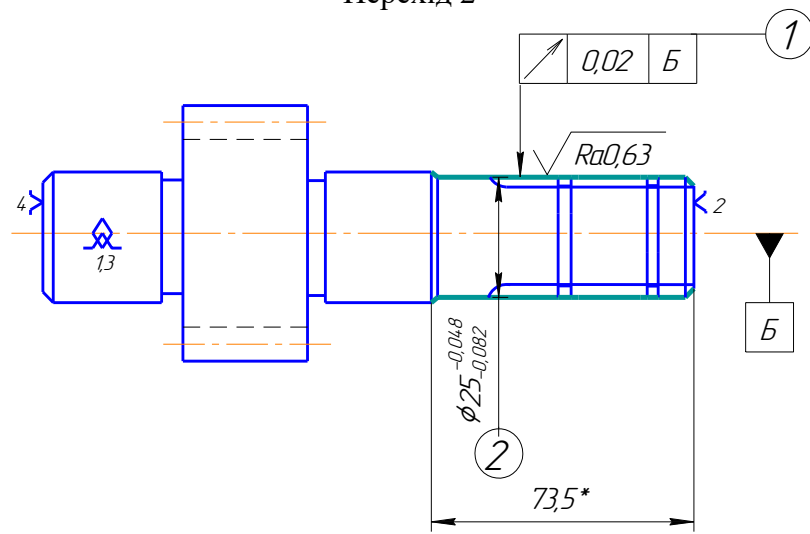
1. Встановити та закріпити деталь.
2. Довбати зубці деталі в два проходи, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.

1	2	3	4																																
030 Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний н/а 5702В	Перехід 2 168,5* <table><tr><td>модуль</td><td><i>m</i></td><td>5</td></tr><tr><td>число зубів</td><td><i>z</i></td><td>9</td></tr><tr><td>вихідний контур</td><td>–</td><td>ГОСТ 13755–81</td></tr><tr><td>коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td><i>x</i></td><td>+0,657</td></tr><tr><td rowspan="2">придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані</td><td>верхнє</td><td><i>E_a</i>''</td><td>+0,015</td></tr><tr><td>нижнє</td><td><i>E_a</i>s''</td><td>–0,110</td></tr><tr><td rowspan="2">допуск на коливання вимі- рювальної міжосьової відстані</td><td>за оберт копеса</td><td><i>F_i</i>''</td><td>0,052</td></tr><tr><td>на одному зубі</td><td><i>f_i</i>''</td><td>0,028</td></tr><tr><td>допуск на похибку направлення зуба</td><td><i>F_β</i></td><td>0,017</td></tr><tr><td>Похибка довжини загальної нормалі(для наладок)</td><td><i>V_w</i></td><td>0,05</td></tr></table> *Розміри для довідок	модуль	<i>m</i>	5	число зубів	<i>z</i>	9	вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81	коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,657	придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	+0,015	нижнє	<i>E_a</i> s''	–0,110	допуск на коливання вимі- рювальної міжосьової відстані	за оберт копеса	<i>F_i</i> ''	0,052	на одному зубі	<i>f_i</i> ''	0,028	допуск на похибку направлення зуба	<i>F_β</i>	0,017	Похибка довжини загальної нормалі(для наладок)	<i>V_w</i>	0,05	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шевінгувати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.
		модуль	<i>m</i>	5																															
число зубів	<i>z</i>	9																																	
вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81																																	
коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,657																																	
придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	+0,015																																
	нижнє	<i>E_a</i> s''	–0,110																																
допуск на коливання вимі- рювальної міжосьової відстані	за оберт копеса	<i>F_i</i> ''	0,052																																
	на одному зубі	<i>f_i</i> ''	0,028																																
допуск на похибку направлення зуба	<i>F_β</i>	0,017																																	
Похибка довжини загальної нормалі(для наладок)	<i>V_w</i>	0,05																																	

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4																											
035 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний н/а 5350А	Перехід 2 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шліци, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.																											
		<table><tr><td>кількість шліців</td><td>z</td><td>6</td></tr><tr><td>тип шліця</td><td>-</td><td>прямодічний</td></tr><tr><td>довжина шліців з глибиною</td><td>l</td><td>39</td></tr><tr><td>сумарна довжина шліців</td><td>L</td><td>53-0,74</td></tr><tr><td>Діаметр впадини</td><td>DS</td><td>21,1-0,7</td></tr><tr><td>Середній діаметр</td><td>D</td><td>21</td></tr><tr><td>Товщина шліця</td><td>S</td><td>5^{-0,080}_{-0,150}</td></tr><tr><td>Діаметр фрези</td><td>d</td><td>70</td></tr><tr><td>Величина фаски</td><td>c</td><td>0,3+0,2x45°</td></tr></table>		кількість шліців	z	6	тип шліця	-	прямодічний	довжина шліців з глибиною	l	39	сумарна довжина шліців	L	53-0,74	Діаметр впадини	DS	21,1-0,7	Середній діаметр	D	21	Товщина шліця	S	5 ^{-0,080} _{-0,150}	Діаметр фрези	d	70	Величина фаски	c	0,3+0,2x45°
		кількість шліців		z	6																									
		тип шліця		-	прямодічний																									
		довжина шліців з глибиною		l	39																									
сумарна довжина шліців	L	53-0,74																												
Діаметр впадини	DS	21,1-0,7																												
Середній діаметр	D	21																												
Товщина шліця	S	5 ^{-0,080} _{-0,150}																												
Діаметр фрези	d	70																												
Величина фаски	c	0,3+0,2x45°																												
		*Розміри для довідок																												

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4
055 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний ЗА151	Перехід 2 	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зубчастий вінець, витримуючи розмір 1, допуск та шорсткість Ra 1,25.
060 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний ЗА151	Перехід 2  * Розміри для справок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати шийку витримуючи розмір 2, допуск 1 та шорсткість Ra 0,63.

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4
065 Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05	Перехід 2	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно шліфувати шийку з короткого кінця та торець, витримуючи розміри 1, 2, допуски та шорсткість Ra0,63.
070 Шліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05	Перехід 2	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно шліфувати шийку з довгого кінця та торець, витримуючи розміри 1, 2, допуски та шорсткість Ra0,63.

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4
080 Суперфінішна	Безцентровосупер- фінішний 3879	Перехід 2 $\phi 30_{-0,055}^{0,070}$ $\sqrt{Ra 0,16}$	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно суперфінішувати дві цапфи та шийку до шорсткості $Ra 0,16$.
085 Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-011	Перехід 2 $\sqrt{Ra 0,16}$ 31,05_{-0,02} * Розміри для справок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно довести торці, витримуючи розміри 5, допуски торцевого биття 1, 4; допуски непрямолінійності 2, 3 та шорсткість $Ra 0,16$.

3.2.9 Вибір обладнання

Для реалізації розробленого технологічного процесу механічної обробки шестерні ведучої необхідно визначити відповідне технологічне обладнання. Вибір обладнання здійснюється з урахуванням структури та змісту операцій, методів обробки та типу виробництва.

Стисла технічна характеристика вибраного технологічного обладнання наведена в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

№ операції	Модель та назва верстату	Розміри робочого столу, діаметр обробки, робочі	Діапазон частот обертання (хв ⁻¹)	Діапазон подач	Потужність (кВт)	Габаритні розміри (мм)
005	Фрезерно-центрувальний МР-76	Ø25-80 L=1000	270-1254	20-400 мм/хв	6,6	3790x1375x2130
010	Токарний з ЧПУ	Ø320	48...4000	0,5...24 м/хв	15	3620x2290x2340
015	Haas ST-20	L=572				
020	Зубофрезерний 5B312	Ø320 L=180 m=6	100...500	2,5...100 мм/хв	9,7	1790x1000x2450
025	Зубодовбальний 5122	Ø220 L=50 m=5	200...850 под.х/хв	0,16...1,6 мм/подв.х.	3,2	2700x1100x1945
030	Зубошевінговальний 5702В	Ø320 L=100 m=6	63...500	18...300 мм/хв	3,6	1820x1500x2120
035	Шліцефрезерний 5350А	Ø150 L=170 m=6	80...250	0,63...5 мм/об	9,5	2335×1550×1650
055	Круглошліфувальний 3А151	Ø180 L=630	1112/1272	0,08...4,7	9	3100×2100×1500
060	Круглошліфувальний 3М151	Ø200 L=700	1115	0,05...5	13	4635×2450×2170
065	Торце-круглошліфувальний	Ø200 L=630	31,5...710	0,006...12	11	2500x2300x2000
070	SASE 200/05					
080	Безцентрово-суперфінішний 3879	Ø125 L _{min} =0,8	5...50 ход/хв	-	3,2	2400×1400×1800
085	Верстат для алмазної доводки 020-011	Ø125 L=180	125...2500	0,01...1,1	2,2	2300×2200×1750

3.2.10 Вибір верстатних пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів

На наступному етапі проектування технологічного процесу механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04 необхідно для кожної операції механічної обробки обрати затискні верстатні пристрої, різальні інструменти та контрольні і вимірювальні засоби [5, 6].

Вибір верстатних пристосувань

Для забезпечення заданої точності обробки шестерні ведучої визначаються верстатні затискні пристрої, в залежності від теоретичної схеми базування, конструктивної форми деталі, методу обробки та типу виробництва.

Верстатні затискні пристрої наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт	Вид приводу
005	Призма ліва 7270-6002-05	-	Електромеханічний
	Призма права 7270-6002-07	-	Електромеханічний
010	Патрон трикулачковий Strong UBN 208H6	-	Гідравлічний
015			
020	Пристосування 7533-4073	-	Гідравлічний
	Центр 1 – Н – 5	ГОСТ 8742 – 75	-
025	Пристосування 7520-4065	-	Гідравлічний
030	Пристосування 7533-4073	-	Гідравлічний
	Центр 1 – Н – 5	ГОСТ 8742 – 75	-
035	Центр передній 7032-4006	ГОСТ 18257 – 72	-
	Центр 7032-0056	ГОСТ 18257 – 72	Механічний
055	Поводок 7067-6004	-	Механічний
060	Центр 7562-4050-01	-	-
	Центр 7562-4050-04	-	Механічний
065	Центр передній 7162-0056	ГОСТ 18257 – 72	-
	Центр задній 7032-0030	ГОСТ 13214 – 79	Механічний
070	Центр передній 7032-4214	ГОСТ 13214 – 79	-
	Центр задній 7032-4216	ГОСТ 13214 – 79	Гідравлічний
075	Центр передній 7032-4215	ГОСТ 13214 – 79	-
	Центр задній 7032-4214	ГОСТ 13214 – 79	Гідравлічний
085	Валок ведучий 7662-4170-02	-	-
	Валок ведений 7662-4171-02	-	-
090	Центр передній 7032-4293	ГОСТ 13214 – 79	-
	Центр задній ЗНК5	ГОСТ 2742 – 75	Механічний

Вибір різального інструменту

Різальний інструмент для обробки поверхонь шестерні ведучої вибирається в залежності від методу обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу, типу виробництва.

Характеристика різального інструменту, вибраного для механічної обробки шестерні веденої наведена в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Різальна частина	
				Матеріал	Стандарт (код)
005	2	Фреза торцева Ø 100	19064-80	T15K6	3882-74
	3	Свердло центровочне Ø4	14952-75	P6M5	19265-73
010	2	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	3				
	4	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8115	TaeguTec
015	5	Пластина VNMG 16040 4MT	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	6	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8115	TaeguTec
	6	Пластина VNMG 16040 4MT Пластина TTG32L15020 R10	TaeguTec	TT 8125 CTT9030	TaeguTec
020	2	Фреза черв'ячна m=5	9324-80	P6M5	19265-73
025	2	Довбач дисковий m=5	9323-80	P6M5	19265-73
030	2	Шевер дисковий m=5	8570-80	P6M5	19265-73
035	2	Фреза шліцева 6x21x25	8027-86	P6M5	19265-73
055	2	Круг шліфувальний ПП600x50x305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	28818-90
060	2	Круг шліфувальний ПП600x100x305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	28818-90
065	2	Круг шліфувальний ПК175x63x32	2424-83	24A25CM1 M3K8	28818-90
070	2	Круг шліфувальний ПК175x63x32	2424-83	24A25CM1 M3K8	28818-90
080	2	Брусok алмазний АБС 125x80x5x20 R16 СК-8-1-К	ТУ 88 106-87 ИСМ	АМК 20/14	9206-80
085	2	Алм. Круг 200x32x50x3	ТУ2-037-233-78	В3-01 50%	9206-80

Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Для контролю параметрів точності деталі шестерня ведуча вибираємо вимірювальний інструмент, в залежності від точності поверхні, конструктивної форми та типу виробництва.

Вимірювальний інструмент та пристосування для контролю параметрів точності поверхонь деталі зведені до табл. 3.13.

Таблиця 3.13

№ опер.	№ пер.	Контрольований параметр деталі	Найменування інструменту	Код
005	2	Лінійний розмір 168,5 _{-0,53} Лінійний розмір 138,2 _{-0,53}	Калібр 168,5 _{-0,53} Калібр 136,25 _{-0,53}	8150-4806 8102-4455
010	2	Діаметральні розміри Ø60,6 _{-0,04} Ø31,2 _{-0,34}	Калібр-скоба Ø60,6 _{-0,04} Ø31,2 _{-0,034}	8113-4102 8113-4104
	3	Лінійні розміри 136,9 _{-0,26}	Шаблон 136,9 _{-0,26}	8384-4067
	4	Діаметральний розмір Ø60,1 _{-0,03} Ø30,45 _{-0,062}	Скоба Ø60,1 _{-0,03} Ø30,45 _{-0,052}	8113-4102-01 8113-4104-01
	5	Лінійні розміри 136,4 _{-0,26}	Шаблон 136,4 _{-0,26}	8384-4068
015	2	Лінійний розмір 62,9 _{-0,34} Діаметральний розмір Ø31,2 _{-0,34} Ø25,8 _{-0,28}	Шаблон 62,9 _{-0,34} Скоба Ø31,2 _{-0,43} Скоба Ø25,8 _{-0,28}	8384-4449 8113-4104 8113-4107
	4	Діаметральні розміри Ø30,45 _{-0,062} Ø25,2 _{-0,12}	Скоба Ø30,45 _{-0,062} Скоба Ø25,2 _{-0,12}	8113-4104-01 8113-4107-01
020	2	Допуск направлення зубців 0,1 Довжина загальної нормалі 26,25 _{-0,2}	Прибор для контролю Нормалемір М1-АВ Контрольний зразок	8532-4054 ТУ2-034-212-85 8431-4025
025	2	Допуск направлення зубців 0,02 Діаметр впадин Ø39 _{-0,3} ^{+0,2}	Прибор для контролю Калібр	8532-4054 8124-4066
030	2	Допуск направлення зубців 0,017 Похибка довжини загальної нормалі	Прибор для контролю Нормалемір М1-АВ Контрольний зразок	8532-4054 ТУ2-034-212-85 8431-4025-02
035	2	Ширина шліцу 5 _{-0,15} ^{-0,08}	Скоба 5 _{-0,15} ^{-0,08}	8152-6015
055	2	Діаметральний розмір Ø59,8 _{-0,03}	Скоба Ø59,8 _{-0,03}	8113-4102-03
060	2	Діаметральний розмір Ø25 _{-0,082} ^{-0,03}	Скоба Ø25 _{-0,082} ^{-0,03}	8113-4107-02
065	2	Діаметральний розмір Ø30 _{-0,070} ^{-0,055} Лінійний розмір 31,25 _{-0,05}	Скоба Ø30 _{-0,070} ^{-0,055} Шаблон 31,25 _{-0,05}	8113-4104-02 8384-4449
070	2	Діаметральний розмір Ø30 _{-0,070} ^{-0,055} Лінійний розмір 31,25 _{-0,05}	Скоба Ø30 _{-0,070} ^{-0,055} Шаблон 31,25 _{-0,05}	8113-4104-02 8384-4449
085	2	Лінійний розмір 31,05 _{-0,02}	Шаблон 31,05 _{-0,02}	8384-4449-01

Окрім перелічених у табл. 3.13 засобів, на операціях технологічного процесу використовуються штангенциркулі ШЦ 1-160-0,1 ГОСТ 166-89, центра контрольні ТИП ПБ-500 ТУ2-034-450-75 із індикатором ИЧ10 кл.1 по ДСТУ 577:2009 для контролю радіального биття, міжцентромір МЦ-400Б ГОСТ 5368-81 із індикатором ИЧ10 кл.1 по ДСТУ 577:2009 та колесом еталонним $m=5$ (8473-4021) для контролю кінематичних параметрів зубчастого вінця, профілометр системи М по ГОСТ 19300-86 для контролю параметру шорсткості.

3.2.11 Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Після вибору плану обробки поверхонь, розробки маршрутної технології, розраховуємо припуски на механічну обробку [5, 6].

Для розрахунків припуску обираємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$ мм, використовуємо методику професора Кована.

Маршрут обробки поверхні:

- 1) точіння чорнове;
- 2) точіння чистове;
- 3) шліфування чорнове;
- 4) шліфування чистове.

Заготовка: поковка, допуск $\delta_z=2,2$ мм (верхнє відхилення $+1,4$, нижнє $-0,8$). Значення елементів припуску заготовки вибираємо з довідників та заносимо до табл. 3.14.

Для всіх переходів базою є вісь зовнішньої циліндричної поверхні і торець деталі, деталь встановлюється в центрах; тому похибка встановлення в радіальному напрямку дорівнює 0, що має значення для розміру, що розраховується. Сумарне значення просторових відхилень ρ для деталі типу тіла обертання при встановленні в центрі з притисканням до торцевої поверхні визначається за формулою:

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 5 \cdot 32,6 = 163 \text{ мкм} ,$$

де $\Delta_k = 5 \text{ мкм/мм}$ - питома кривизна заготовки.

$$\rho_{\text{см}} = 1 \text{ мм.}$$

Залишкові просторові відхилення по переходах визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{зал}} = k_y \cdot \rho_{\text{кор.}}$$

1 перехід – точіння чорнове $\rho_1 = 0,06 \times 163 = 9,78 \text{ мкм}$;

2 перехід – точіння чистове $\rho_2 = 0,04 \times 163 = 6,52 \text{ мкм}$;

3 перехід – шліфування чорнове $\rho_3 = 0,02 \times 163 = 3,26 \text{ мкм}$;

4 перехід – суперфініш чистове $\rho_4 = 0,01 \times 163 = 1,63 \text{ мкм}$;

Визначаємо мінімальні припуски по переходах за формулою:

$$2Z_{\text{min}} = 2(R_{z-c-1} + T_{i-1} + \rho_{\text{кор}}).$$

Мінімальні припуски:

- під точіння чорнове:

$$2Z_{\text{min}1} = 2(150 + 200 + 163) = 2 \cdot 513 \text{ мкм};$$

- під точіння чистове:

$$2Z_{\text{min}2} = 2(50 + 50 + 9,7) = 2 \cdot 109 \text{ мкм};$$

- під шліфування чорнове:

$$2Z_{\text{min}3} = 2(30 + 30 + 6,5) = 2 \cdot 66 \text{ мкм};$$

- під шліфування чистове:

$$2Z_{\text{min}4} = 2(10 + 20 + 3,2) = 2 \cdot 33 \text{ мкм}.$$

Визначаємо розрахункові розміри по переходах починаючи з кінцевого (з креслення) шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу:

$$d_{p3} = 29,93 + 0,066 = 29,996 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 29,996 + 0,122 = 30,118 \text{ мм};$$

$$d_{p1} = 30,118 + 0,218 = 30,336 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 30,336 + 1,02 = 31,356 \text{ мм}.$$

Визначення граничних розмірів виконуємо, починаючи з кінцевого розміру (згідно креслення). Результати зведено в табл. 3.14.

$$d_{\max 4}=d_{\min 4}+\delta_4=29,93 + 0,013 = 29,943 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3}=d_{\min 3}+\delta_3=29,996 + 0,021 =30,017 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2}=d_{\min 2}+\delta_2=30,118 + 0,052 = 30,17 \text{ мм};$$

$$d_{\max 1}=d_{\min 1}+\delta_1=30,336 + 0,33 = 30,666 \text{ мм};$$

$$d_{\max \text{заг}}=d_{\min \text{заг}}+\delta_{\text{заг}}=31,356 + 2,2 = 33,556 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків визначаємо, як різницю найбільших або найменших граничних розмірів за формулами:

$$Z_{\min}^{\text{п}}=d_{\max i}-d_{\max i-1};$$

$$Z_{\max}^{\text{п}}=d_{\min i}-d_{\min i-1};$$

$$2Z_{\min 4}^{\text{п}}=29,996- 29,93 = 0,066 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 4}^{\text{п}}=30,017 - 29,943 = 0,074 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 3}^{\text{п}}=30,118- 29,996= 0,122 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 3}^{\text{п}}=30,17 - 30,017 = 0,153 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 2}^{\text{п}}=30,336- 30,118= 0,218 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{п}}=30,666 - 30,17 = 0,496 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 1}^{\text{п}}=31,356- 30,336= 1,02 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{п}}=33,556 - 30,666 = 2,89 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$Z_{\max 4}^{\text{п}}-Z_{\min 4}^{\text{п}}=74-66=8 \text{ мкм};$$

$$\delta_3-\delta_4=21-13=8 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max 3}^{\text{п}}-Z_{\min 3}^{\text{п}}=153-122=31 \text{ мкм};$$

$$\delta_2-\delta_3=52-21=31 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max 2}^{\text{п}}-Z_{\min 2}^{\text{п}}=496-218=278 \text{ мкм};$$

$$\delta_1-\delta_2=330-52=278 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max 1}^{\text{п}}-Z_{\min 1}^{\text{п}}=2890-1020=1870 \text{ мкм};$$

$$\delta_1-\delta_3=2200-330=1870 \text{ мкм}.$$

Розрахунки виконано вірно.

На інші поверхні припуски визначаємо по нормативним даним, і заносимо їх до табл. 3.15.

Будуємо схему графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$, рис. 3.3.

Таблиця 3.14

Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на
обробку зовнішньої циліндричної $\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$

Технологічні переходи обробки отвору	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення, мкм	
	R_z	T	ρ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	150	200	163	-	31,356	2200	31,356	33,556	-	-
Точіння чорнове	50	50	9,7	2x513	30,336	330	30,336	30,666	1020	2890
Точіння чистове	30	30	6,5	2x109	30,118	52	30,118	30,17	218	496
Шліфування чорнове	10	20	3,2	2x66	29,996	21	29,996	30,017	122	153
Шліфування чистове	5	15	1,63	2x33	29,93	13	29,93	29,943	66	74
Разом									1426	3613

Таблиця 3.15.

Припуски на обробку поверхонь деталі шестерня ведуча НШ50-3-04

№ пов. згідно рис. 3.2	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск Z_{min} , мм	Технологічний допуск, мм
1,10	Торець	Фрезерування	4	0,53
2,7	Шийка валу	Точіння чорнове	2,4	0,4
		Точіння чистове	0,8	0,062
		Шліфування чорн.	0,28	0,021
		Шліфування чист.	0,06	0,005
3,6	Торець	Точіння чорнове	2,4	1,26
		Точіння чистове	0,8	0,1
		Шліфування чорн.	0,28	0,025
		Шліфування чист.	0,06	0,008
9,11	Канавка	Точіння чорнове	0,3	0,33
4	Зубчатий вінець	Точіння чорнове	2,4	0,4
		Точіння чистове	0,8	0,12
		Шліфування чорн.	0,28	0,03
5	Зубці	Фрезерування	9,7	0,2
		Довбання	1,3	0,04
		Шевінгування	0,12	0,017
8	Шліцева шийка	Точіння чорнове	2,4	0,34
		Точіння чистове	0,8	0,062
		Шліфування чорн.	0,28	0,021
12	Шліці	Фрезерування	2,9	0,7

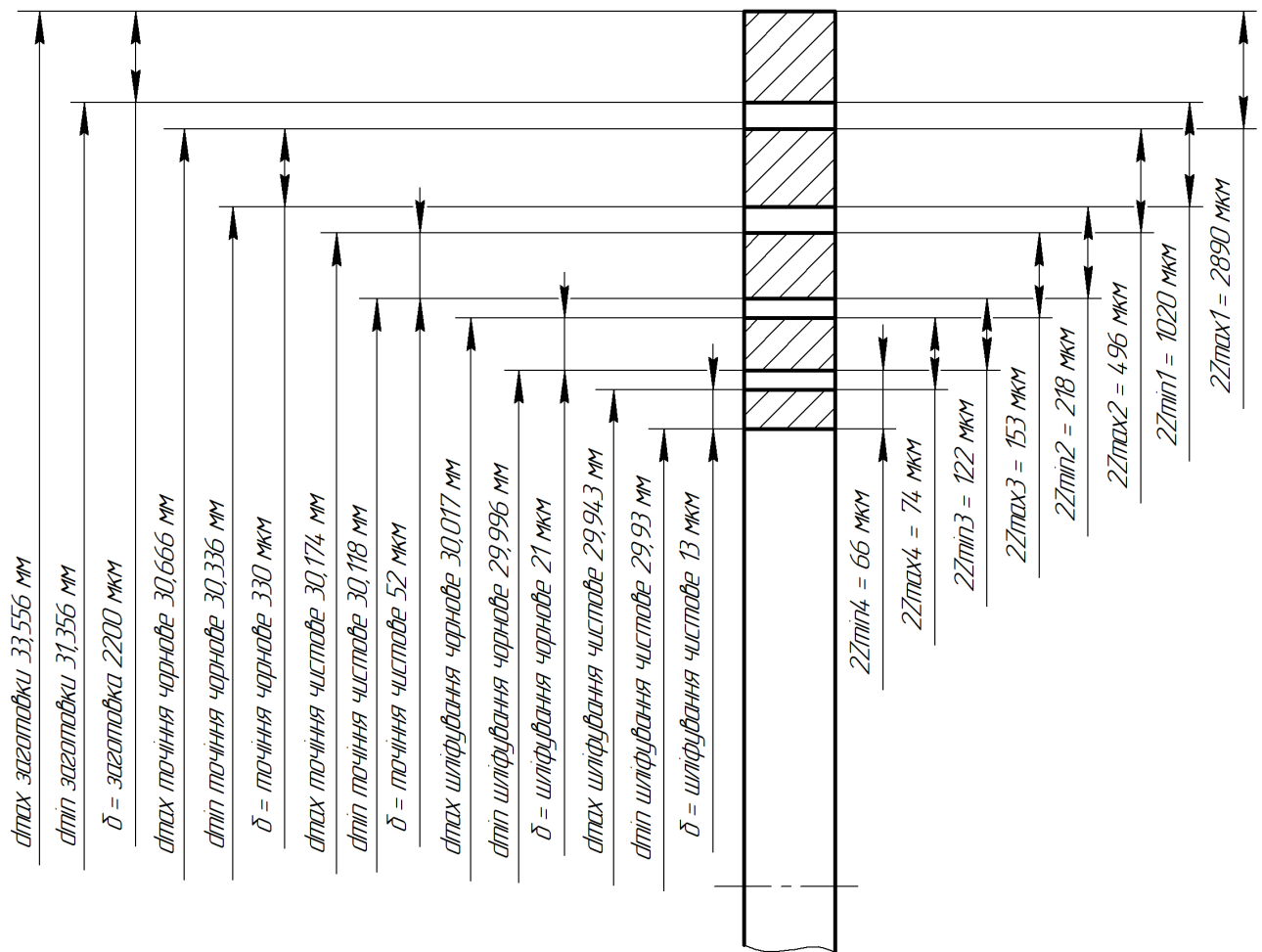


Рис. 3.3. Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку
поверхні $\varnothing 30_{-0,07}^{-0,055}$.

3.2.12 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання [5, 6] проводимо для шліфувальної операції 055 технологічного процесу обробки шестерні.

Вихідні дані:

- 1) верстат - круглошліфувальний мод. 3A151;
- 2) матеріал деталі – сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015;
- 3) інструмент - шліфувальний круг ПП 600 x 40 x 305 24A25СТ1;
- 4) частота обертання круга $n_{кр} = 1080 \text{ хв}^{-1}$;
- 5) розмір деталі – $d_{заг} = 60,1_{-0,03} \text{ мм}$, $b = 32,6 \text{ мм}$, обробка на діаметральний розмір $\varnothing 59,8_{-0,03}$.

Визначаємо дійсну швидкість шліфувального круга:

$$V_{кр} = \frac{\pi \times D \times n_{кр}}{1000 \times 60},$$

де: $n_{кр} = 1080 \text{ хв}^{-1}$ – частота обертання круга згідно паспорту верстата;

D - діаметр круга, мм.

$$V_{кр} = \frac{3,14 \times 600 \times 1080}{1000 \times 60} = 33,9 \text{ м/с}$$

Рекомендована швидкість круга $V = 35 \text{ м/с}$.

Визначаємо швидкість різання деталі по нормативам:

$$V_g = 20 \dots 25 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання деталі:

$$n_g = \frac{1000 \times V_g}{\pi \times D},$$

$$n_g = \frac{1000 \times 25}{3,14 \times 60,1} = 132,408 \text{ хв}^{-1}.$$

Привод верстата має безступінчасте регулювання частоти обертів оброблюваної деталі у межах $63 \dots 400 \text{ хв}^{-1}$, тому приймаємо:

$$n_g = 130 \text{ хв}^{-1}$$

Уточнюємо швидкість обертання деталі:

$$V_{\partial} = \frac{\pi \times D \times n_g}{1000},$$

$$V_{\partial} = \frac{3,14 \times 60,1 \times 130}{1000} = 24,54 \approx 25 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$S_{хв} = S_{хв.р} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

де: $S_{хв.р}$ – радіальна хвилинна подача, мм/хв;

$K_1 = 0,9$ – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

$K_2 = 0,8$ – коефіцієнт, який залежить від діаметру круга та характеристик поверхні;

$K_3 = 0,9$ – коефіцієнт, який залежить від припуску та точності поверхні.

$$S_{хв.р} = S_p \cdot n_{кр},$$

де: S_p – радіальна обертова подача, мм/об.

Рекомендований діапазон $S_p = 0,001 \dots 0,005$ мм/об.

Приймаємо $S_p = 0,001$ мм/об, тоді:

$$S_{xb,p} = 0,001 \times 1080 = 1,08 \text{ мм/хв.}$$

$$S_{xb} = 1,08 \times 0,9 \times 0,8 \times 0,9 = 0,69 \text{ мм/хв.}$$

Приймаємо $S_{xb} = 0,6$ мм/хв.

Визначаємо ефективну потужність при шліфуванні, кВт:

$$N = C_N \times V_o^r \times S_p^y \times D^q \times b^z,$$

де C_N , r , y , q , z – коефіцієнти та показники степені, в залежності від умов обробки обираємо з довідників:

$$C_N = 0,14; r = 0,8; y = 1; q = 0,2; z = 1,0.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$N = 0,14 \cdot 25^{0,8} \cdot 0,001^1 \cdot 60,1^{0,2} \cdot 32,6^1 = 0,14 \cdot 13,13 \cdot 0,001 \cdot 2,27 \cdot 32,6 = 0,13 \text{ кВт.}$$

Потужність шпінделя верстата $N_{un} = 7,5$ кВт, виконання обробки можливе.

Визначаємо основний час на обробку, хв:

$$T_o = \frac{1,3(a - d_{вих})}{S_{xb}} + t_{вих}.$$

Визначаємо величину припуску, який знімається при виходжуванні, та час на виходжування:

$$d_{вих} = 0,05 \text{ мм}; \quad t_{вих} = 0,08 \text{ хв.}$$

Визначаємо величину шару, знімаемого при виходжуванні:

$$T_o = \frac{1,3(0,15 - 0,05)}{0,6} + 0,08 = 0,296 \text{ хв.}$$

Розраховані значення режимів різання для всіх операцій технологічного процесу заносимо в табл. 3.16.

Таблиця 3.16

Режими різання на операціях механічної обробки

Номер		t, мм	S,мм/об S,мм/хв	V, м/хв	N, хв ⁻¹	to, хв	
Операції	Переходу					Переходу	Операції
005	2	4	155	66	582	0,29	0,535
	3	6	0,06	34	815	0,245	
010	2	2,5	0,2	81,8	1000	0,24	0,49
	3	1	0,1	132,9	1600	0,2	
	4	2,4	0,1	226,1	1200	0,02	
	5	3,6	0,1	301,4	1600	0,02	
	6	2,4	0,1	148,7	1600	0,01	
015	2	2,1	0,4	175,5	1000	0,14	0,61
	3	0,275	0,3	280,3	1600	0,4	
	4	1,2	0,4	226,1	1200	0,04	
	5	0,75	0,3	301,4	1600	0,02	
	6	2,4	0,1	148,7	1600	0,01	
020	2	9,7	2,8	28,2	100	1,72	
025	2	0,8	0,45	15,5	205	3,25	
030	2	0,12	56	20	50	3,05	
035	2	2,9	1,2	56	224	1,14	
055	2	0,36	1,0	35	250	0,296	
060	2	0,17	0,048	16/50	180	0,46	
065	2	0,17	0,008	16/50	180	0,13	
070	2	0,17	0,008	16/50	180	0,13	
080	2	0,17	0,008	16/50	300	0,5	
085	2	0,17	0,0075	70	1530/300	0,42	

3.2.13 Технічне нормування операцій

У роботі, технічні норми часу на виконання операцій технологічного процесу визначаємо розрахунково-аналітичним методом [5, 6].

Розрахунок норм часу виконуємо для операції 055 круглошліфувальної, обробка виконується за $t_o = 0,296$ хв.

Визначаємо за довідниками допоміжний час як складову:

- час на встановлення та закріплення деталі $t_1 = 0,12$ хв;
- час на підведення і відведення шліфувального круга $t_2 = 0,12$ хв;
- час на керування верстатом: $t_3 = 0,08$ хв;
- час на вимірювання деталі: $t_4 = 0,06$ хв;
- час на правку круга: $t_5 = 0,06$ хв.

Допоміжний час на операцію:

$$t_{\text{доп.}} = 0,12 + 0,12 + 0,08 + 0,06 + 0,06 = 0,44 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час на операцію:

$$t_{\text{опер.}} = t_o + t_{\text{доп.}}$$

$$t_{\text{опер.}} = 0,296 + 0,44 = 0,736 \text{ хв.}$$

Час на технічне обслуговування визначається в залежності від оперативного часу. Згідно довідковим матеріалам приймаємо 4% від $t_{\text{опер.}}$:

$$t_{\text{техн.обсл.}} = 0,736 \times 0,04 = 0,029 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування також визначають як відсоток від оперативного часу. Згідно довідковим матеріалам приймаємо $\beta = 1,7\%$:

$$t_{\text{орг.обсл.}} = 0,736 \times 0,017 = 0,012 \text{ хв.}$$

Час на перерву, відпочинок і особисті потреби робітника також визначається як відсоток від оперативного часу: $\gamma = 7\%$. Визначаємо $t_{\text{відп.}}$:

$$t_{\text{відп.}} = 0,736 \times 0,07 = 0,051 \text{ хв}$$

Штучний час на операцію визначаємо за формулою:

$$t_{\text{шт.}} = t_o + t_{\text{доп.}} + t_{\text{техн.обсл.}} + t_{\text{орг.обсл.}} + t_{\text{відп.}}$$

$$t_{\text{шт.}} = 0,296 + 0,44 + 0,029 + 0,012 + 0,051 = 0,428 \text{ хв.}$$

Для крупносерійного виробництва проводять розрахунок штучно-калькуляційного часу, хв:

$$t_{\text{шт.-к.}} = t_{\text{шт.}} + \frac{t_{\text{п.з.}}}{n},$$

де $t_{\text{п.з.}}$ - підготовчо-заклучний час, згідно довідкової літератури $t_{\text{п.з.}} = 11 \text{ хв}$;

n – кількість деталей в партії, шт., визначається:

$$n = \frac{N_e \times a}{F},$$

де N_e - програма випуску продукції – 60000 шт

a - періодичність запуску-випуску виробу, $a = 5$ днів;

F - число робочих днів в році, $F = 261$ днів (за 2024 рік).

$$n = \frac{60000 \times 5}{261} = 1150 \text{ шт.}$$

$$t_{\text{шт-к.}} = 0,428 + \frac{11}{1150} = 0,437 \text{ хв.}$$

На інші операції розрахунок норм часу проводим аналогічно і результати зводимо в табл. 3.17.

Таблиця 3.17.

№ операції	t _о , хв	t _{доп} , хв	t _{т.о.} , хв	t _{о.о.} , хв	t _{відп.} , хв	t _{шт.} , хв	T _{п.з.} , хв	t _{шт.к.} , хв
005	0,54	-	0,02	0,01	0,01	0,58	10	0,63
010	1,49	0,7	0,23			3,04	16	3,12
015	2,0	0,7	0,27			3,59	16	3,67
020	2,1	0,22	0,12	0,06	0,07	2,57	16	2,65
025	2,4	0,37	0,1	0,04	0,06	2,97	28	3,11
030	2,39	0,16	0,1	0,04	0,07	2,76	19	2,855
035	0,98	0,31	0,06	0,02	0,04	1,42	23	1,535
055	0,296	0,44	0,029	0,012	0,051	0,428	11	0,437
060	0,63	0,32	0,12	0,05	0,09	0,99	10	1,04
065	2,11	0,08	0,1	0,05	0,07	2,41	10	2,46
070	2,11	0,08	0,1	0,05	0,07	2,41	10	2,46
080	0,5	0,225	0,065	0,0435	0,051	0,8845	10	0,8993
085	0,32	0,01	0,02	0,005	0,01	0,36	12	0,41

3.3 Висновки

У розділі приведено результати розробки технологічного процесу механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04.

Спершу було виконано аналіз конструкції деталі та базовий технологічний процес. Запропоноване технічне раціоналізаторське рішення, яке в перспективі може знизити собівартість виробу. Використання верстатів з ЧПУ Haas ST-20 на токарних операціях скоротить час на обробку шестерні, зменшить кількість задіяного металорізального обладнання, кількість різального інструменту, вимірювальних засобів, підвищить гнучкість виробництва.

Для розробленого, із врахуванням пропонованого рішення, технологічного процесу здійснено підбір технічного забезпечення, а саме: металорізальних верстатів, верстатних затискних пристосувань, різальних інструментів та вимірювальних засобів. Також проведено розрахунок припусків на механічну обробку, режимів різання і технічне нормування операцій.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою

Вихідні дані:

- 1) операція – зубодовбальна;
- 2) верстат – зубодовбальний н/а мод. 5122;
- 3) зміст операції – довбати зубці шестерні;
- 4) тип виробництва – крупносерійний;
- 5) матеріал деталі – сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015;
- 6) різальний інструмент – довбач дисковий $m=5$, ГОСТ 9323-80, $\varnothing 125\text{мм}$;
- 7) Операційний ескіз оброблюваної деталі наведено в додатку.

4.1.1 Схема базування деталі під час обробки

Схема базування деталі зображена на рис. 4.1.

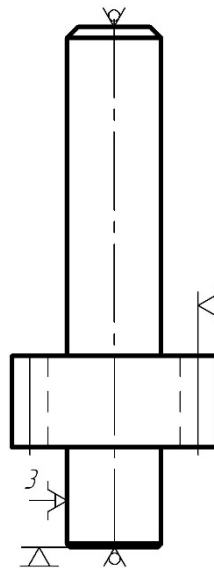


Рис. 4.1 Схема базування деталі.

Для обробки деталь базується по двом центровим отворах в центрах пристрою (нижній та верхній) – вони позбавляють деталь п'яти ступенів свободи, та затискається в трикулачковому патроні. Міжзубова западина лишає деталь однієї ступені свободи, за рахунок фіксатора, який забезпечує правильне

положення деталі в пристрої відносно довбача. Всього у деталі відбирається шість ступенів вільного переміщення. При такій схемі, похибка базування рівна нулю.

4.1.2 Конструкція та принцип роботи пристрою

Затискний пристрій використовується для встановлення та надійного кріплення деталі при обробці на зубодовбальному верстаті 5122.

Пристрій класифікують по ознакам:

- по типу верстата – зубодовбальний;
- по ступеню спеціалізації – спеціальний;
- по рівню механізації – механізований;
- по джерелу енергії – гідравлічний.

Пристрій, рис. 4.2, складається з верхнього поз. 1 та нижнього поз. 2 центрів, планшайби, трьох кулачків поз. 8, фіксатора, та двох гідроциліндрів, які працюють одночасно.

Для затиску в центрах деталь встановлюють центровим отвором у нижній центр поз. 2 та фіксують верхнім центром, поз. 1, який вільно рухається у втулці. Деталь фіксують у певному положенні відносно довбача за допомогою фіксатора. При натисканні кнопки на верстаті рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у безштокову порожнину першого гідроциліндру і тисне на поршень. Шток із приєднаним верхнім центром поз. 1 переміщується вниз. При цьому попередньо зафіксована деталь надійно притискається верхнім центром поз. 1. Затиск деталі в центрах здійснено.

Для затиску деталі в кулачках використовується другий гідроциліндр. При натисканні кнопки на верстаті рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у штокову порожнину поз. 6 другого гідроциліндру і тисне на поршень поз. 7, який з'єднаний зі штоком поз. 5. Шток із приєднаною тягою переміщується вниз. Тяга жорстко з'єднана з фланцем за допомогою трьох втулок і болтів, а фланець у свою чергу передає рух на упор через кульку. До упору приєднано три тяги, які діють на двохплечі важелі поз. 3, плечі яких розташовані під кутом 90°. При

цьому кожен важіль обертаючись навколо своєї нерухомої вісі діє на кулачок, який під дією важелів сходяться до вісі деталі. Затиск здійснено.

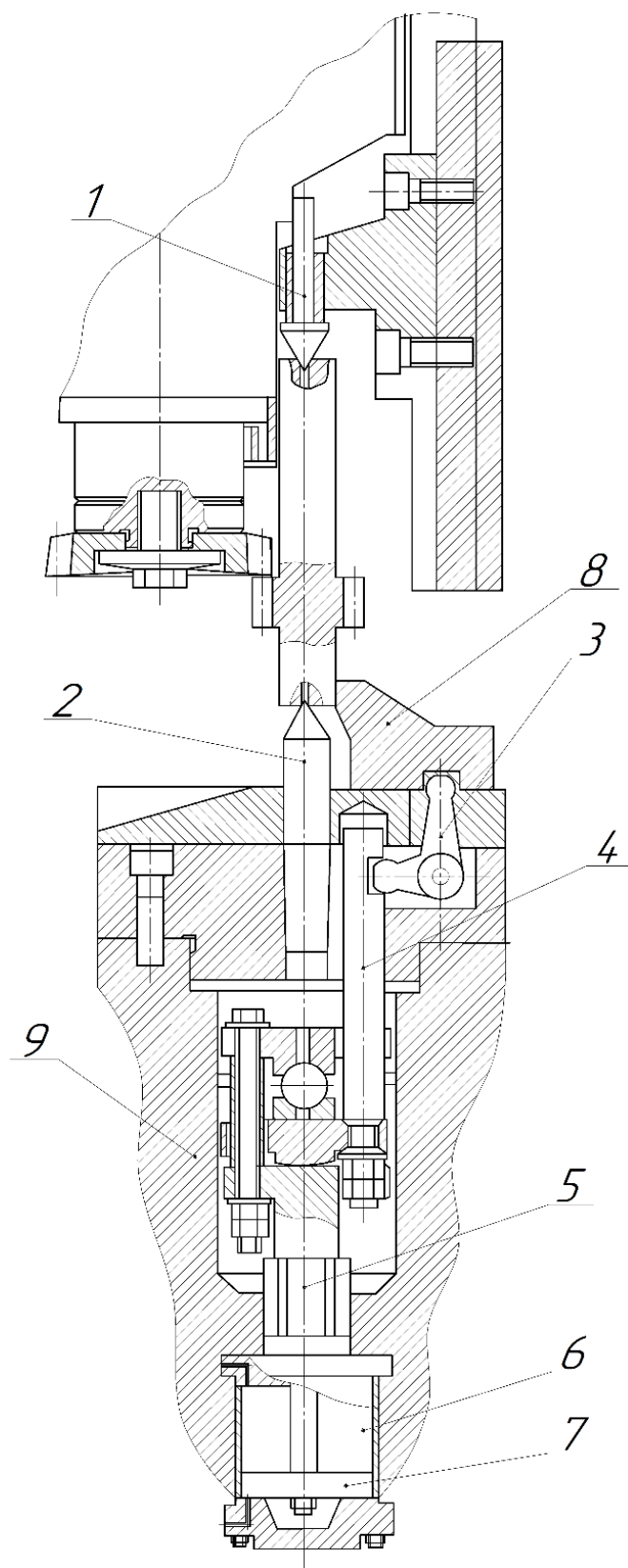


Рис. 4.2 Конструкція затискного пристосування

1 – верхній центр; 2 – нижній центр; 3 – важіль; 4 – тяга; 5 – шток гідроциліндра; 6 – штокова порожнина гідроциліндра; 7 – поршень; 8 – кулачок; 9 – планшайба верстату.

Розтиск деталі відбувається в зворотному напрямку. При перемиканні кнопки на верстаті, рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у штокову порожнину першого гідроциліндру і тисне на поршень. Шток із приєднаним верхнім центром переміщується вгору. Розтиск деталі в центах здійснено.

Одночасно з розтиском деталі в центрах відбувається розтиск кулачків. Рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у без штокову порожнину другого гідроциліндру і тисне на поршень поз. 7, який з'єднаний з штоком поз. 5. Шток із приєднаною тягою переміщується вгору. Тяга жорстко з'єднана з фланцем за допомогою трьох втулок і болтів. Фланець передає рух упору через кульку. Тяги, які з'єднані з упором діють на двохплечі важелі поз. 3. При цьому важелі обертаючись навколо нерухомої вісі діє на кулачок поз. 8. Під дією важелів кулачки розходяться від вісі деталі. Розтиск деталі здійснено.

4.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску та розмірів приводу

Розрахунок сил затиску [5, 6] проводиться з метою забезпечення надійного і стабільного закріплення заготовки при обробці. Методика розрахунку враховує вплив сил різання, тертя, тяжіння, інерції, реакції в опорах та саму силу затиску.

Структурна схема пристрою наведена на рис. 4.3, схема дії сил та моментів різання і затиску показана на рис. 4.4.

Вихідні данні до розрахунків:

- глибина різання $t = 0,8$ мм;
- подача $S_z = 0,06$ мм/зуб;
- швидкість різання $V = 15,5$ м/хв;
- довжина короткого плеча двохплечого важеля, $l_1 = 0,030$ м;
- довжина довгого плеча двохплечого важеля, $l_2 = 0,054$ м;
- довжина від вісі деталі до діаметра кола впадин шестерні, $l_3 = 0,022$ м;
- тиск в гідросистемі $\rho = 3 \cdot 10^6$ Па;
- діаметр деталі, за який здійснено затиск $d_3 = \varnothing 30,45$ мм;
- d_{um} - діаметр штоку гідроциліндру, $d_{um} = 0042$ м.

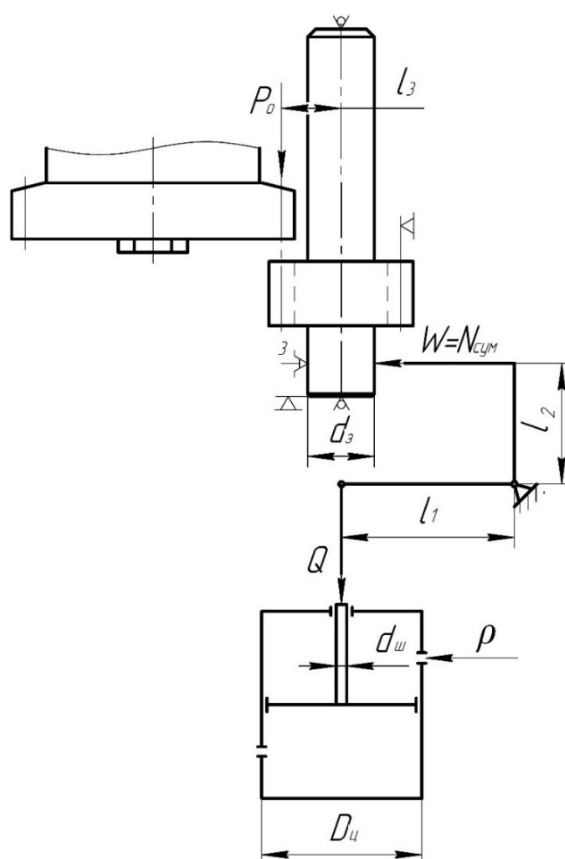


Рис. 4.3 Структурна схема пристрою

P_0 - осьова сила різання; l_1 - довжина короткого плеча двохплечого важеля; l_2 - довжина довгого плеча двохплечого важеля; l_3 - довжина від вісі деталі до діаметра кола впадин шестерні; d_3 - діаметр деталі, за який здійснено затиск; W - сила затиску деталі; Q - зусилля на штоці гідроциліндру; $d_{ш}$ - діаметр штоку; $D_{ц}$ - діаметр циліндру; p - тиск гідросистеми.

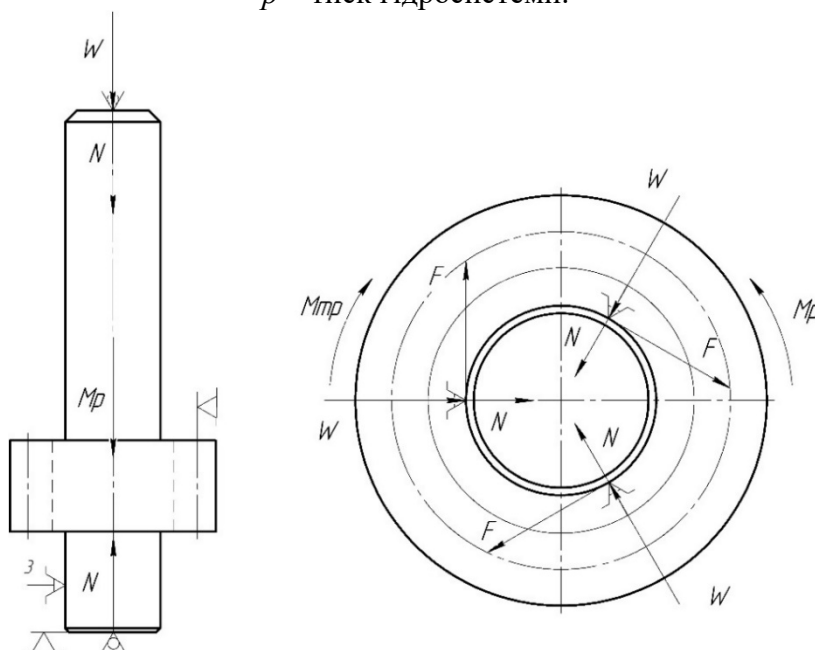


Рис. 4.4 Схема дії сил та моментів різання і затиску

W - сила затиску деталі; N - сила тертя; M_p - момент різання; $M_{тр}$ - момент тертя від дії сил F .

Визначаємо осьову силу різання P_z , Н.

Сила різання визначається за формулою теорії різання:

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

де: C_p , x , y , n , K_p – коефіцієнти що враховують умови різання, визначаємо задовідниками: $C_p = 212$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$; коефіцієнт K_p розраховується за формулою:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp},$$

де: K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив властивостей оброблюваного матеріалу, та розраховується за формулою:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,22,$$

де: n – показник ступеню, $n = 0,75$;

інші показники: $K_{\phi p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 1,0$.

$$K_p = 1,22 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,22.$$

Отже, сила різання, Н:

$$P_z = 10 \cdot 212 \cdot 0,8^{1,0} \cdot 0,06^{0,75} \cdot 15,5^0 \cdot 1,22 = 248.$$

Розрахунок сил затиску та конструктивних розмірів гідроциліндру виконуємо враховуючи рівновагу деталі під дією моментів сил різання та моментів сил затиску (сил тертя) з врахуванням коефіцієнту запасу K_z , який розраховується за формулою:

$$K_z = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

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

K_1 – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, $K_1 = 1,0$;

K_2 – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту, $K_2 = 1,3$;

K_3 – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання при непостійному різанні, $K_3 = 1,0$;

K_4 – коефіцієнт, який враховує постійність сили затиску, від силових приводів пристрою, $K_4 = 1,0$;

K_5 - коефіцієнт, який враховує наявність крутного моменту, $K_5 = 1,0$.

Підставивши значення, отримаємо:

$$K_3 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,95.$$

Основне розрахункове рівняння:

$$K_3 \cdot M_p \leq M_{mp}.$$

Визначаємо момент різання:

$$M_p = l_3 \cdot P_Z.$$

Визначаємо момент тертя:

$$M_{mp} = \frac{W \cdot d_3 \cdot f}{2}.$$

З основного розрахункового рівняння виводимо:

$$K_3 \cdot l_3 \cdot P_Z \leq \frac{W \cdot d_3 \cdot f}{2};$$

$$W \cdot l_2 = Q \cdot l_1;$$

$$Q = \frac{\pi \cdot (D_y^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot \rho \cdot \eta;$$

$$W = \frac{Q \cdot l_1}{l_2};$$

$$W = \frac{\pi \cdot (D_y^2 - d_{um}^2) \cdot l_1}{4 \cdot l_2} \cdot \rho \cdot \eta;$$

$$K_3 \cdot l_3 \cdot P_Z = \frac{\pi \cdot (D_y^2 - d_{um}^2) \cdot l_1 \cdot d_3 \cdot f}{8 \cdot l_2} \cdot \rho \cdot \eta;$$

$$D_y^2 - d_{um}^2 = \frac{8 \cdot l_2 \cdot K_3 \cdot l_3 \cdot P_Z}{\pi \cdot l_1 \cdot \rho \cdot \eta \cdot d_3 \cdot f};$$

Визначаємо діаметр гідроциліндру, м:

$$D_y = \sqrt{\frac{8 \cdot l_2 \cdot K_3 \cdot l_3 \cdot P_Z}{\pi \cdot l_1 \cdot \rho \cdot \eta \cdot d_3 \cdot f} + d_{um}^2},$$

де: η - коефіцієнт корисної дії затискного пристрою, $\eta = 0,85$;

f – коефіцієнт тертя поверхні деталі із затискними елементами, визначаємо $f = 0,3$.

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,054 \cdot 1,95 \cdot 0,022 \cdot 248}{3,14 \cdot 0,03 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0,85 \cdot 0,03 \cdot 0,3}} + 0,042^2 = 0,062.$$

Розрахункове значення діаметру гідроциліндру $D_{\text{ц}} = 62$ мм. Тобто, при умовах обробки, які розглядаються, це необхідний і достатній діаметр гідроциліндру для створення потрібного зусилля затиску. По паспортним даним, верстат 5122 укомплектовується гідроциліндром $D_{\text{ц}} = 125$ мм.

Складальне креслення пристосування представлено в додатках до роботи.

4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою

Контрольний пристрій служить для контролю допуску прямолінійності на торцях зубчастого вінця деталі шестерня ведуча НШ50-3-04.

Технічна характеристика контрольного пристрою наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика контрольного пристрою.

Параметри пристрою	Значення параметру
Границі вимірювання, мм.	0-1
Максимальна похибка, мм	0,0037
Варіація, мм	0,0005
Вимірювальне зусилля, Н	2
Габаритні розміри, мм	210x560x248

Склад пристрою:

- 1) контрольно-вимірювальний пристрій у зборі;
- 2) індикатор типу 1 МИГ ГОСТ 9696-75, з ціною поділки 0,001 мм;
- 3) контрольного зразку для налагодження індикатора на нуль; допускається використання еталонної деталі, обміряної на координатно вимірювальній машині або інструментальному мікроскопі.

Короткий опис пристрою

Структурна схема контрольного пристрою приведена на рис. 4.5. Пристрій складається із корпусу поз. 3, на якому кріпиться стакан поз. 29 з втулкою. Вилка поз. 4 закріплена на плиті поз. 24, яка рухається в кулькових направляючих.

У важіль поз. 5 закріплюється утримувач поз. 30 разом з індикатором поз. 50 і наконечниками поз. 2, за допомогою затискачів поз. 31. Наконечник переміщується по копіру поз. 1, який закріплений у вилці поз. 35. Паралельність копіра відносно торця втулки регулюється гвинтом поз. 32. Переміщення наконечника індикатора по торцю шестерень здійснюється за допомогою гвинта поз. 12. Переміщення наконечників індикатора обмежується упорами поз. 10.

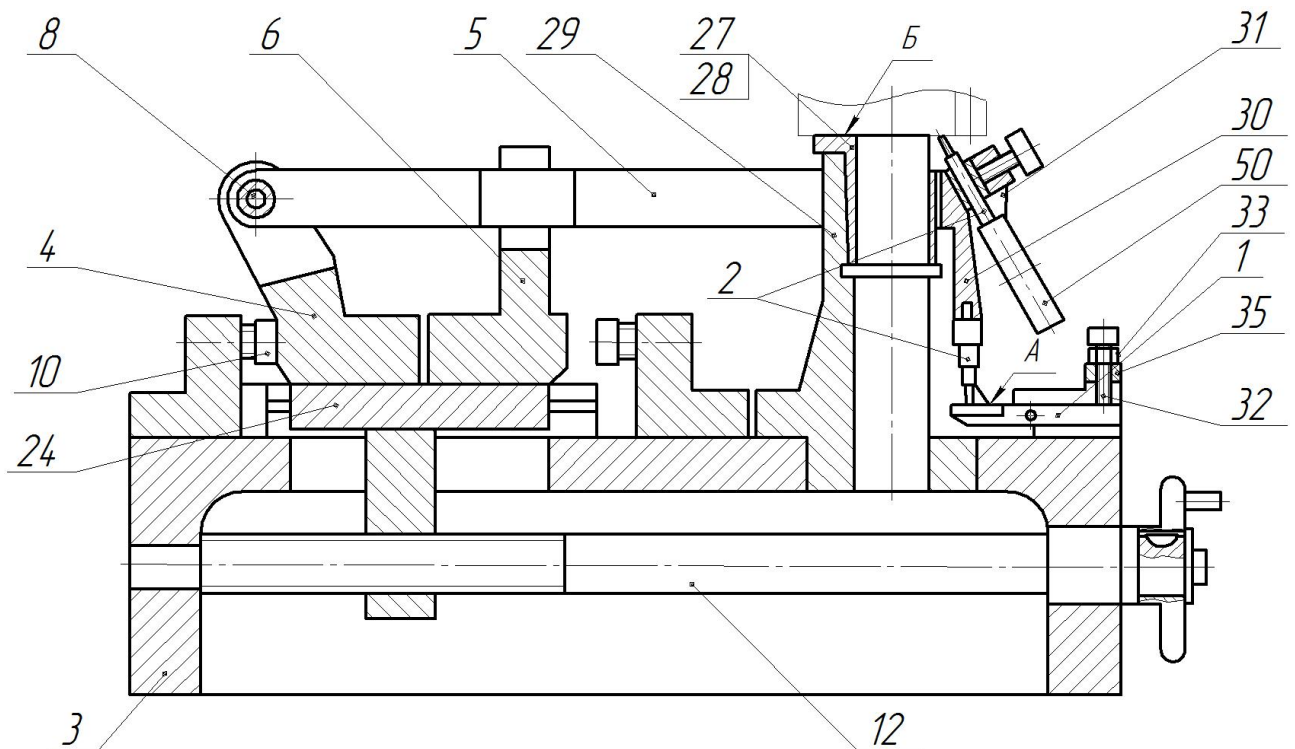


Рис. 4.5 Структурна схема пристрою.

1 – копір; 2 – наконечники; 3 – корпус; 4 – вилка; 5 – важіль; 6 – стійка; 8 – вісь; 10 – упор; 12 – гвинт; 24 – плита; 27, 28 – втулка; 29 – стакан; 30 – тримач; 31 – затискач; 32 – гвинт; 33 – контргайка; 35 – вилка; 50 – індикатор.

Принцип заміру оснований на одночасному переміщенні наконечників по торцю деталі і копіру. Замір проводиться при переміщенні наконечника від вершини зуба до ніжки.

Перед початком роботи виставляється поверхня А копіра поз. 1 паралельно поверхні Б втулки поз. 27, поз. 28, за допомогою гвинта поз. 32 і контргайки поз. 33. При цьому використовується контрольний зразок.

Деталь вважається придатною, якщо показники індикатора знаходяться в межах 12 мкм.

Визначення похибок вимірювання контрольного пристрою

Виконаємо перевірку контрольного пристрою по працездатності [5, 6]:

$$[\Delta_{\text{вим}}] \geq \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_{\text{вд}}^2 + \Delta_{\text{пп}}^2 + \Delta_{\text{вз}}^2 + \Delta_{\text{взв}}^2 + \Delta_{\text{від}}^2},$$

де: Δ_6 – похибка базування деталі, $\Delta_6 = 0$;

$\Delta_{\text{вд}}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\text{вд}} = 0,004$ мм;

$\Delta_{\text{пп}}$ – похибка передавального пристрою, $\Delta_{\text{пп}} = 0,005$ мм;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\text{вз}} = 0,0025$ мм;

$\Delta_{\text{взв}}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\text{взв}} = 0,001$ мм;

$\Delta_{\text{від}}$ – похибка відліку, $\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, тобто маємо:

$$\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot 0,001 = 0,0002 \text{ мм},$$

$[\Delta_{\text{вим}}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,012$ мм.

Тоді:

$$\sqrt{0,004^2 + 0,005^2 + 0,001^2 + 0,0002^2} = 0,0069 \text{ мм}.$$

Допустима похибка вимірювання складає 0,012 мм, а розрахункова – 0,0069 мм. Тобто умова виконується.

Складальне креслення вимірювального пристосування представлено в додатках до роботи.

4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту

Фреза торцева використовується для фрезерування торців шестерні на операції 005 Фрезерно-центрувальна, що виконується на верстаті МР-76.

Дана торцева фреза, рис. 4.6, це збірний інструмент з механічним кріпленням багатограних непереточуваних пластин, призначений для подальшої обробки торцевих поверхонь, отриманих у вигляді заготовки.

Вихідні дані для розрахунку фрези:

- глибина різання $t = 1,65$ мм;
- частота обертів шпінделя верстата $n = 580$ об/хв;
- ширина фрезерування $B = 32$ мм;

- матеріал деталі: сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015;
- шорсткість обробленої поверхні Ra 12,5 мкм;
- верстат: фрезерно-центрувальний МР-76;
- різальна частина інструменту: багатогранні непереточувані пластини з твердого сплаву Т15К6.

4.3.1 Опис конструкції торцевої фрези

Торцева фреза складається з корпусу поз. 1, восьми втулок поз. 2, восьми пружин поз. 5, восьми болтів М5×25 поз. 4 та восьми різців поз. 3. Кожен різець, в свою чергу, складається з державки, штифта, та п'ятигранної непереточної пластини з твердого сплаву Т15К6, яка механічно кріпиться на державці різця.

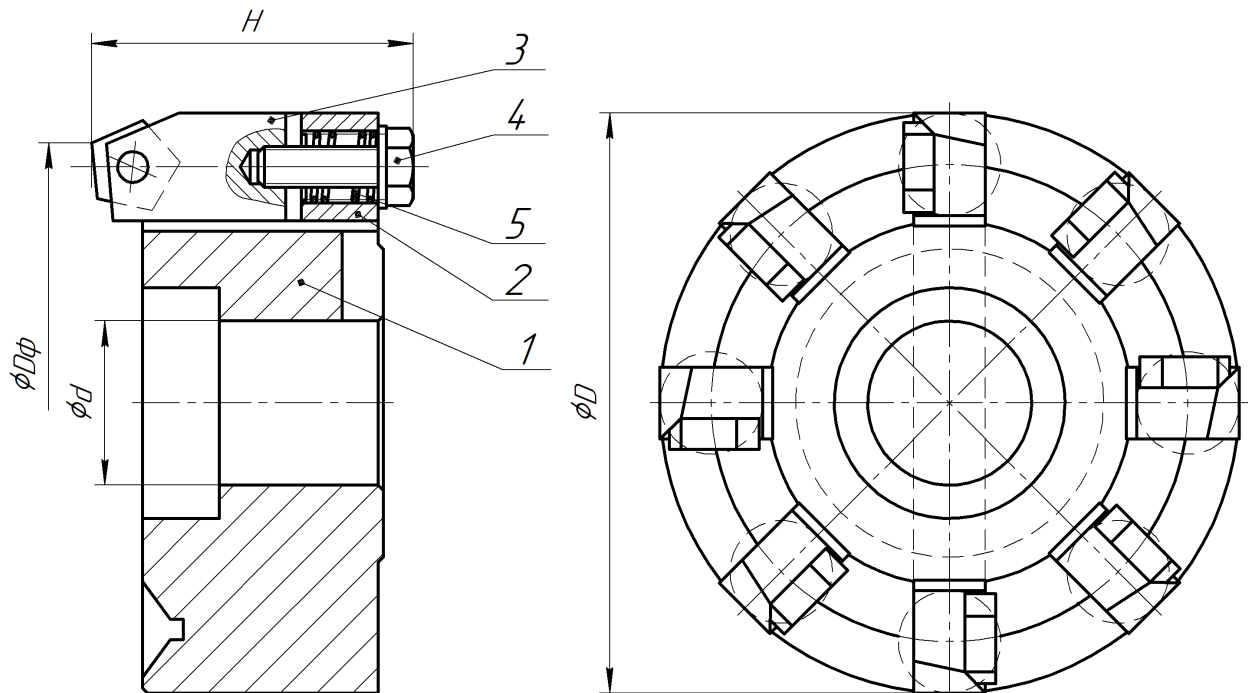


Рис. 4.6 Торцева фреза.

D – зовнішній діаметр фрези; Dφ – діаметр фрезерування; d – отвір у корпусі під оправку;
H – висота фрези;

1 – корпус; 2 – втулка; 3 – різець; 4 – гвинт; 5 – пружина.

Конструкція різця передбачає можливість повороту пластинки відносно своєї вісі після спрацювання однієї грані для того, щоб різання виконувала інша різальна кромка. Пластинку повертають на штифті без зняття її з різця, для цього різець опускають вниз гвинтом до виходу пластинки з кільцевого тригранного

паза, зробленого на торці корпусу фрези. Після повороту на одну грань пластинка разом з державкою затягується гвинтом та притискається до обумовленої торцевої виточки, базуючись по граням. Центральний отвір d в корпусі призначений для встановлення фрези в шпіндель верстата на оправці. Різання здійснюється за рахунок обертання фрези, крутний момент передається на фрезу через оправку за допомогою шпонки і шпонкового пазу.

4.3.2 Розрахунок торцевої фрези

Розрахунок фрези проводимо у наступній послідовності [3].

1) Попередньо задаємо довжину фрези, діаметр, число зубців та кут ω :

$$L = 45 \text{ мм}; D' = 100 \text{ мм}; z' = 8; \omega = 45^\circ.$$

2) Обираємо подачу по нормативам:

$$S_z = 0,15 \text{ мм/зуб}.$$

3) Розраховуємо діаметр отвору під оправку:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сум}}}{0,1 \cdot \sigma_{\text{u.д.}}}}.$$

Головну складову сили різання при $t = 1,65$ мм визначаємо по формулі:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}.$$

Визначаємо коефіцієнти:

$$C_p = 825; x = 1,0; y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; w = 0,2;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^n = \left(\frac{980}{750} \right)^{0,3} = 1,08.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 1,65^{1,0} \cdot 0,15^{0,75} \cdot 32^{1,1} \cdot 8}{100^{1,3} \cdot 580^{0,2}} \cdot 1,08 = 902,45 \text{ Н}.$$

Сумарний момент, що діє на фрезерну оправку:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} \cdot R \cdot l \right)^2 + \left(\frac{P_z D'}{2} \right)^2}.$$

Визначаємо рівнодіючу силу:

$$R = 1,411 \cdot P_z,$$

$$R = 1,411 \cdot 902,45 = 1273,36H.$$

Відстань між опорами фрезерної державки приймають в залежності від довжини посадкової ділянки центральної фрезерної оправки. Приймаємо $l=32$ мм.

Отже, сумарний момент на фрезерній оправці буде рівний:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16} \cdot 1273,36 \cdot 32 \cdot 10^3\right)^2 + \left(\frac{902,45 \cdot 100 \cdot 10^3}{2}\right)^2} = 457,64H \cdot \text{м}.$$

Допустиму напругу на згин матеріалу державки приймаємо $\sigma_{\text{и.д.}} = 250\text{МПа}$.

Підставляємо знайдені значення $M_{\text{сум}}$ та $\sigma_{\text{и.д.}}$, та розраховуємо діаметр отвору під оправку фрези:

$$d = \sqrt[3]{\frac{457,64}{0,1 \cdot 250 \cdot 10^6}} = 0,02635\text{м} = 26,35\text{мм}.$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр отвору фрези: $d = 32$ мм.

4) Визначаємо зовнішній діаметр фрези, остаточно:

$$D = 2,5 \cdot d ; D = 2,5 \cdot 32 = 80\text{мм}.$$

Для заданих умов виробництва приймаємо найближчий зовнішній діаметр фрези: $D = 100$ мм, довжину фрези $l = 47$ мм. З урахуванням запасу для кріплення пластин приймаємо максимальний зовнішній діаметр $D_{\text{max}} = 113$ мм.

5) Визначаємо кінцеву кількість зубців:

$$z = m \cdot \sqrt{D} ; z = 0,8 \cdot \sqrt{113} = 8,5\text{шт}.$$

Приймаємо парну кількість $z = 8$ шт.

6) Визначаємо крок зубів фрези:

- коловий торцевий крок:

$$S_{\text{окр}} = \frac{\pi \cdot D}{z} ; S_{\text{окр}} = \frac{3,14 \cdot 113}{8} = 44,35 \text{ мм}$$

- вісевий крок при $\omega = 45^\circ$, $\text{ctg } 45^\circ = 1$:

$$S_{\text{віс}} = \frac{\pi \cdot D}{z} \cdot \text{ctg } \omega ; S_{\text{віс}} = \frac{3,14 \cdot 113}{8} \cdot 1 = 44,35 \text{ мм}$$

7) Перевіряємо отримані значення кількості зубців z та вісєвого кроку фрези $S_{\text{віс}}$ на умову рівномірного фрезерування:

$$C = \frac{B}{S_{\text{вс}}} ; \quad C = \frac{32}{44,35} = 0,72 .$$

Умову рівномірного фрезерування забезпечено.

8) Обираємо геометричні параметри робочої частини фрези:

- головний передній кут $\gamma = -11^\circ$;
- головний кут в плані $\phi = 66^\circ$;
- допоміжний кут в плані $\phi_1 = 6^\circ$;
- головний задній кут $\alpha = 11^\circ$.

9) Вибираємо матеріали елементів фрези та твердість деталей:

- корпус – сталь 45, твердість HRC 40...45;
- різальна частина – багатогранні пластини з твердого сплаву T15K6, твердість HRA 87...92;
- державка різців – сталь 45, твердість HRC 40...45.

10) Приймаємо допуски на основні елементи фрези та інші технічні вимоги.

12) Виконуємо складальне креслення фрези з вказанням основних технічних вимог, робоче креслення фрези представлено в додатках до роботи.

4.4 Висновки

Конструкція розробленого затискного пристрою на зубодовбальну операцію забезпечить швидке, надійне та безпечне закріплення деталі шестерня ведуча НШ50-3-04 із забезпеченням необхідної точності під час обробки на верстаті 5122.

Розроблена конструкція контрольного пристрою дає можливість контролювати прямолінійність торців зубчастого вінця шестерні. Контрольований параметр має значний вплив на внутрішню герметичність та шумові характеристики насосу, а отже на ККД агрегату.

Розроблена конструкція торцевої фрези забезпечує фрезерування торців шестерні на фрезерно-центрувальній операції із необхідною точністю та якістю.

РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Потребу в обладнанні на операціях проєктного технологічного процесу механічної обробки деталі «шестерня ведуча НШ50-3-04» визначимо згідно [1, 2] за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_g}, \quad (5.1)$$

де N_z – річна програма запуску деталі (за попередніми розрахунками $N_z=60000$ шт.);

$t_{шт(i)}$ - штучний час і-ої операції, хв.;

$F_{дрм}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання (за попередніми розрахунками $F_{дрм} = 4176$ год.):

k_v - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно з [1, 2]).

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{60000 \cdot 0,63}{4176 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,139.$$

Розрахунки виконані аналогічно за іншими операціями технологічного процесу зведено до табл. 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{з(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (5.2)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць.

На операції 005 техпроцесу:

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,139}{1} = 0,139.$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведено до табл. 5.1.

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{5,846}{13} = 0,45 \quad (5.3)$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	$t_{шт}, \text{хв.}$	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
005	Фрезерно-центрувальна	0,58	0,139	1	0,139	0,45
010	Токарна з ЧПУ	3,04	0,728	1	0,728	
015	Токарна з ЧПУ	3,59	0,860	1	0,860	
020	Зубофрезерна	2,57	0,615	1	0,615	
025	Зубодовбальна	2,97	0,711	1	0,711	
030	Зубошівінгувальна	2,76	0,661	1	0,661	
035	Шліцефрезерна	1,42	0,340	1	0,340	
055	Круглошліфувальна	0,428	0,102	1	0,102	
060	Круглошліфувальна	0,99	0,237	1	0,237	
065	Шліфувальна	2,41	0,577	1	0,577	
070	Шліфувальна	2,41	0,577	1	0,577	
080	Суперфінішна	0,8845	0,212	1	0,212	
085	Доводочна	0,36	0,086	1	0,086	
	Всього	24,4125	5,846	13	5,846	

Середній коефіцієнт завантаження відповідає великосерійному типу виробництва (BC).

5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать: розмір партії деталей; кількість запусків партії деталей; періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей; тривалість операційних та технологічного циклів обробки деталі; розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням виробничих умов.

Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося другим методом [1, 2], який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заклучний час не перевищує 30 хв.). Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5F_{зм.д}}{t_{um}^{min}}, \quad (5.4)$$

де $F_{зм.д}$ - дійсний фонд часу зміни (440 хв.);

t_{um}^{min} - штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,36} = 611 \text{ шт.}$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової кількості партій протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{60000}{611} = 98, \quad (5.5)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_ϕ) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду:

$$1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250;$$

після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_ϕ , розмір партії деталей:

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_\phi} = \frac{60000}{104} = 577 \text{ шт.} \quad (5.6)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_\phi} = \frac{250}{104} = 2,4 \text{ роб. днів}, \quad (5.7)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (5.8)$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ - калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_g \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-з(i)}}{n_{np}}, \quad (5.9)$$

де k_g - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{т(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для операції 005:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{0,58}{1 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{10}{577} = 0,597 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{577 \cdot 0,597}{2 \cdot 440} = 0,39 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	$t_{п-з}$, хв.	$t_{\kappa-\partial}$, хв.	T_o , днів	$t_{мо}$, днів
005	Фрезерно-центрувальна	0,58	10	0,597	0,39	0,31
010	Токарна з ЧПУ	3,04	16	3,068	2,01	0,31
015	Токарна з ЧПУ	3,59	16	3,618	2,37	0,31
020	Зубофрезерна	2,57	16	2,598	1,70	0,31
025	Зубодовбальна	2,97	28	3,019	1,98	0,31
030	Зубошевінгувальна	2,76	19	2,793	1,83	0,31
035	Шліцефрезерна	1,42	23	1,460	0,96	0,31
055	Круглошліфувальна	0,428	11	0,447	0,29	0,31
060	Круглошліфувальна	0,99	10	1,007	0,66	0,31
065	Шліфувальна	2,41	10	2,427	1,59	0,31
070	Шліфувальна	2,41	10	2,427	1,59	0,31
080	Суперфінішна	0,8845	10	0,902	0,59	0,31
085	Доводочна	0,36	12	0,381	0,25	0,31
	Всього	24,4125	-	24,744	16,22	4,03

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні.

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 16,22 + 4,03 = 20,25 \text{ днів}, \quad (5.10)$$

де t_{mo} - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,25 \cdot 16,22}{12} = 0,31 \text{ дні}, \quad (5.11)$$

Графік послідовного руху партії деталей представлено на рис. 5.1.

Середній розмір циклового запасу деталей визначається за формулою:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{n_{np} \cdot T_n}{R_3} = \frac{577 \cdot 20,25}{2,4} = 3869 \text{ шт.} \quad (5.12)$$

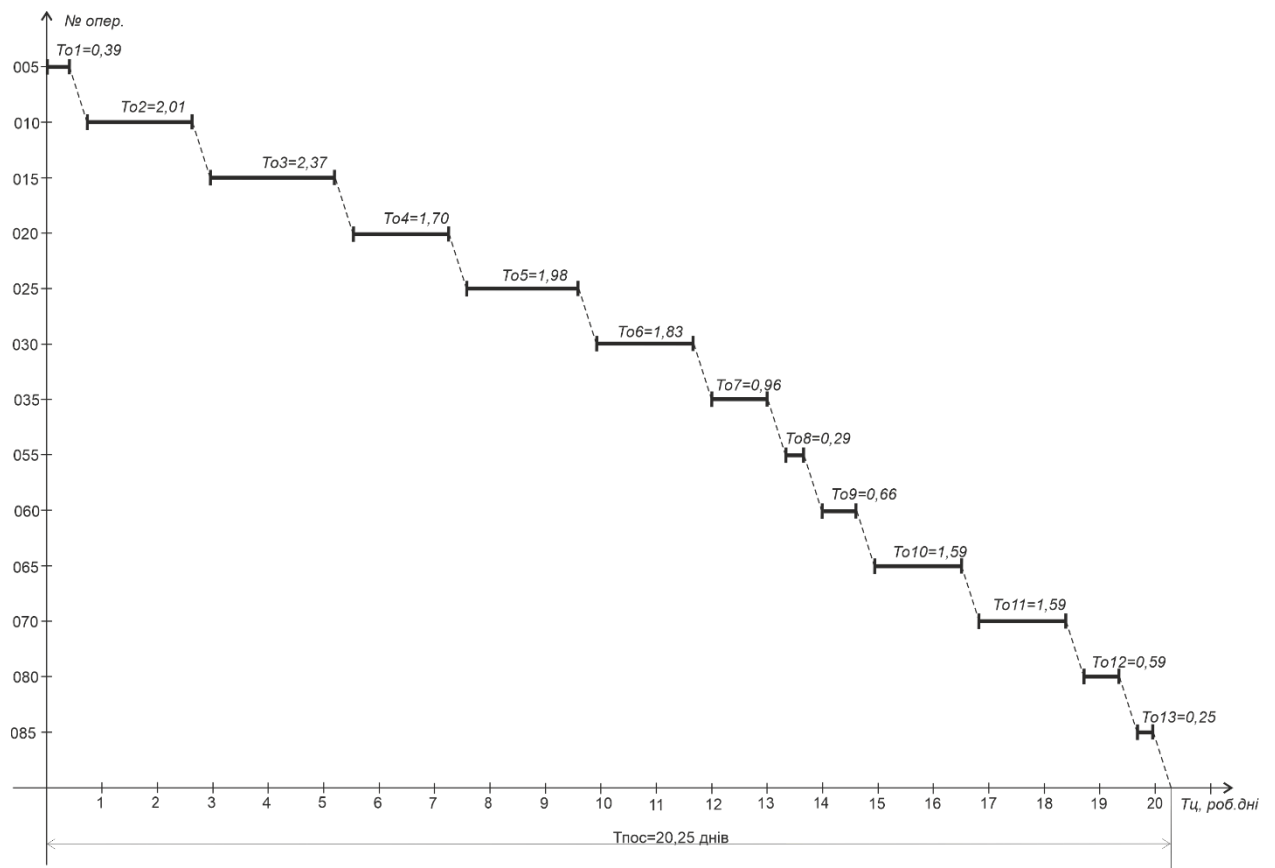


Рис. 5.1 Графік послідовного руху партії деталей «шестерня ведуча» 577 шт.

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у великосерійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{op}}, \quad (5.13)$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{дов} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.14)$$

де $K_{дов}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного ($\eta_{зн}$) для даного типу виробництва [1, 2]:

$$K_{дов} = \frac{\eta_{зн}}{\bar{\eta}} = \frac{0,8}{0,45} = 1,78 \quad (5.15)$$

d – відсоток додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15...20\%$;

$F_{др}$ - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{др} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (5.16)$$

$$T_p = 60000 \cdot \frac{24,4125}{60} \cdot 1,78 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 52145 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{52145}{1840} = 28 \text{ осіб.}$$

5.4 Висновки

У розділі виконано розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнтів його завантаження, календарно-планових нормативів, визначено чисельність основних робітників цеху по виробництву деталі шестерня ведуча НШ50-3-04.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для того, щоб довести доцільність впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу, необхідно зробити його економічний аналіз. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (6.1)$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

Порівнюючи варіанти технологічного процесу, проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого. Так само, порівнювати доцільно лише операції, які відрізняються (табл. 6.1, 6.2).

Таблиця 6.1

Характеристика змін при обробці деталі «шестерня»

№ оп.	Базовий варіант		Розряд	№ оп.	Проектний варіант		Розряд
	Найменування операції	t_{um} , хв.			Найменування операції	t_{um} , хв.	
015	Токарно-копіювальна	1,73	4	010	Токарна з ЧПУ	3,12	4
020	Токарно-копіювальна	2,255	4				
025	Токарно-копіювальна	1,45	4	015	Токарна з ЧПУ	3,67	4
030	Токарно-копіювальна	2,58	3				
	Всього	8,015			Всього	6,79	

6.1.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + 3_{овс} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ин.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{еп}, \quad (6.2)$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не змінюються у порівнюваних варіантах), грн.;

$Z_{одв}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн. (однакові у порівнюваних варіантах);

$B_{ам.у}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (6.3)$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{ум(i)}$ – штучний час i -тої операції, хв.;

K_d , K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot (1,73 + 2,255 + 1,45) + 70,18 \cdot 2,58}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 13,529 \text{ грн.};$$

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot 6,79}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 11,843 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, 2] складемо таблицю щодо характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного технологічних процесів (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електродвигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної частини, УРО	Площа в плані S_{od} , м ²	Оптова ціна, тис. грн.
Базовий варіант					
Токарно-копіювальний ЕМ-288	3,36×1,71	27,5	11	5,75	219,0
Токарно-копіювальний СА023	2,443×1,283	10,0	21	3,14	309,50
Токарно-копіювальний 1Н713	2,45×1,29	18,5	17	3,16	231,60
Проектний варіант					
Токарний з ЧПУ Haas ST-20	3,62×2,29	15,0	35	8,29	2605,0

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_e \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d \cdot t_{um}}{\eta_e \cdot \eta_m} \cdot C_{el}, \quad (6.4)$$

де N_e – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o=0,65\dots0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,5...0,6 – для токарних верстатів);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_d=0,3\dots0,5$;

η_e – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_e=0,92\dots0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86\dots0,9$;

C_{el} – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

Для операцій проектного техпроцесу:

$$E_{np} = \frac{15 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{6,79}{60} \cdot 7,5 = 3,655 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Розрахунок витрат на електроенергію

№ опер.	N_e , кВт	K_N	$t_{ум}$, хв.	$E_{с.баз}$, грн
015-020	27,5	0,6	3,985	3,933
025	10,0	0,6	1,45	0,520
030	18,5	0,6	2,58	1,713
Всього	-	-	8,015	6,166

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m \cdot k_e \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60}, \quad (6.5)$$

де W_m – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності механічної частини обладнання, грн.;

R_m – категорія ремонтної складності механічної частини обладнання, УРО;

k_e – коефіцієнт, який враховує витрати на всі види ремонту та обслуговування електричної частини обладнання (приймається в розмірі 1,3).

$$B_{p.пр} = \frac{880 \cdot 15 \cdot 1,3}{4176} \cdot \frac{6,79}{60} = 0,3039 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Розрахунок витрат на ремонт

№ опер.	R_m , УРО	$t_{ум}$, хв.	B_p , грн.
015-020	11	3,985	0,200
025	21	1,45	0,139
030	17	2,58	0,200
Всього	-	8,015	0,539

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{зв} \cdot R_m \cdot t_{ум}}{100 \cdot 60} \cdot K_8, \quad (6.6)$$

де $M_{зв}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

K_8 – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{\text{мд.пр}} = \frac{79,5 \cdot 35 \cdot 6,79}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 3,464 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

№ опер.	R_m , УРО	$t_{\text{шт}}$, хв.	$B_{\text{мд.баз}}$, грн.
015-020	11	3,985	0,639
025	21	1,45	0,444
030	17	2,58	0,639
Всього	-	8,015	1,722

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{\text{ам}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a \cdot t_{\text{шт}}}{F_{\text{орм}} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{\text{зн}}}, \quad (6.7)$$

де $\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{\text{бал}} = C_{\text{онт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_m + K_{\text{ф}}), \quad (6.8)$$

де $C_{\text{онт}}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{\text{тр}}$, K_m , $K_{\text{ф}}$ – коефіцієнти, які враховують відповідно витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

Балансова вартість проектного верстата: $2605 \cdot 1,16 = 3021,8$ тис. грн.

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{\text{ам.пр}} = \frac{3021800 \cdot 15 \cdot 6,79}{4176 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 15,354 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті серед порівнюваних операцій лише на одній використовується універсальний верстат 1Н713, балансова вартість якого: $231600 \cdot 1,16 = 199650$ грн. Таким чином:

$$B_{\text{ам.баз}} = \frac{199655,2 \cdot 15 \cdot 2,58}{4176 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 0,967 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{od} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.9)$$

де S_{od} – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м²;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [1, 2].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1м² виробничого приміщення, грн.

$$B_{en.пр} = \frac{8,29 \cdot 2,5 \cdot 780}{4176 \cdot 0,8} \cdot \frac{6,79}{60} = 0,482 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Розрахунок витрат на утримання приміщення

№ опер.	S_{od} , м ²	k_f	$S_{od} \times k_f$, м ²	$t_{ум}$, хв.	$B_{en.баз}$, грн.
015-020	5,75	3,0	17,25	3,985	0,267
025	3,14	3,5	10,99	1,45	0,062
030	3,16	3,5	11,06	2,58	0,111
Всього	-	-	39,3	8,015	0,441

6.1.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (6.10)$$

де $B_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у базовому варіанті відсутні);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у базовому варіанті відсутні), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ, грн (програмне забезпечення в проєктному варіанті входить до вартості верстата з ЧПУ).

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{\text{нал}} = C_{\text{зн}} \cdot \frac{t_{\text{н-з}}}{60} \cdot (1 + K_{\delta}) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (6.11)$$

де $C_{\text{зн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

$t_{\text{н-з}}$ – підготовчо-заклучний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{\text{нал.баз}} = 103,972 \cdot \frac{19+19+22+20}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 104 = 19348,22 \text{ грн.};$$

$$B_{\text{нал.пр}} = 103,972 \cdot \frac{16+16}{60} \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,22) \cdot 104 = 7739,29 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію спеціального обладнання:

$$B_{\text{ам.сп}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{100}, \quad (6.12)$$

де $\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість спеціального обладнання, грн.

Розрахунок витрат на амортизацію спеціального обладнання у базовому техпроцесі зведемо до табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Розрахунок витрат на амортизацію спеціального обладнання

№ опер.	$C_{\text{опт}}$, грн	$K_{\text{тмф}}$	$\Phi_{\text{бал}}$, грн	Потреба в обладнанні	$B_{\text{ам.сп}}$, грн.
015-020	219000	0,16	254040	2	76212
025	309500	0,16	359020	1	53853
Всього	-	-			130065

6.1.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 6.8.

Розрахунок технологічної собівартості

№з /п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		базовий варіант	проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	13,529	11,843
1.2	Електроенергія силова	6,166	3,655
1.3	Ремонт обладнання	0,539	1,089
1.4	Матеріали допоміжні	1,722	3,464
1.5	Амортизація універсального обладнання	0,967	15,356
1.6	Експлуатація приміщень	0,441	0,482
	Всього змінних витрат	23,364	35,889
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	19348,22	7739,29
2.2	Амортизація спеціального обладнання	130065,00	-
	Всього постійних витрат	149413,20	7739,29
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	1551253	2161079

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 23,365 \cdot 60000 + 149413,20 = 1551253 \text{ грн.};$$

$$C_{тех.пр} = 35,889 \cdot 60000 + 7739,29 = 2161079 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня ведуча» $N_3=60000$ шт. є базовий варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання порівнюваних варіантів технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{тех.баз}=C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{7739,29 - 19348,22}{23,364 - 35,889} = 19669 \text{ шт.} \quad (6.12)$$

Технологічна собівартість при критичному обсязі виробництва складе:

$$C_{тех.кр} = 23,365 \cdot 19669 + 149413,20 = 35,889 \cdot 19669 + 7739,29 = 608979 \text{ грн.}$$

Розраховане значення $N_{кр}$ означає, що до програми запуску деталі «шестерня ведуча» 19669 шт. ефективнішим з економічної точки зору є

проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі, а для програми запуску, яке перевищує це значення, у тому числі і для запланованої програми 60000 шт., більш ефективним є базовий варіант, що виключає необхідність визначення економічного ефекту від використання проектного техпроцесу.

Графік розмежування області ефективного застосування варіантів техпроцесу механічної обробки деталі «шестерня ведуча» зображено на рис. 6.1.

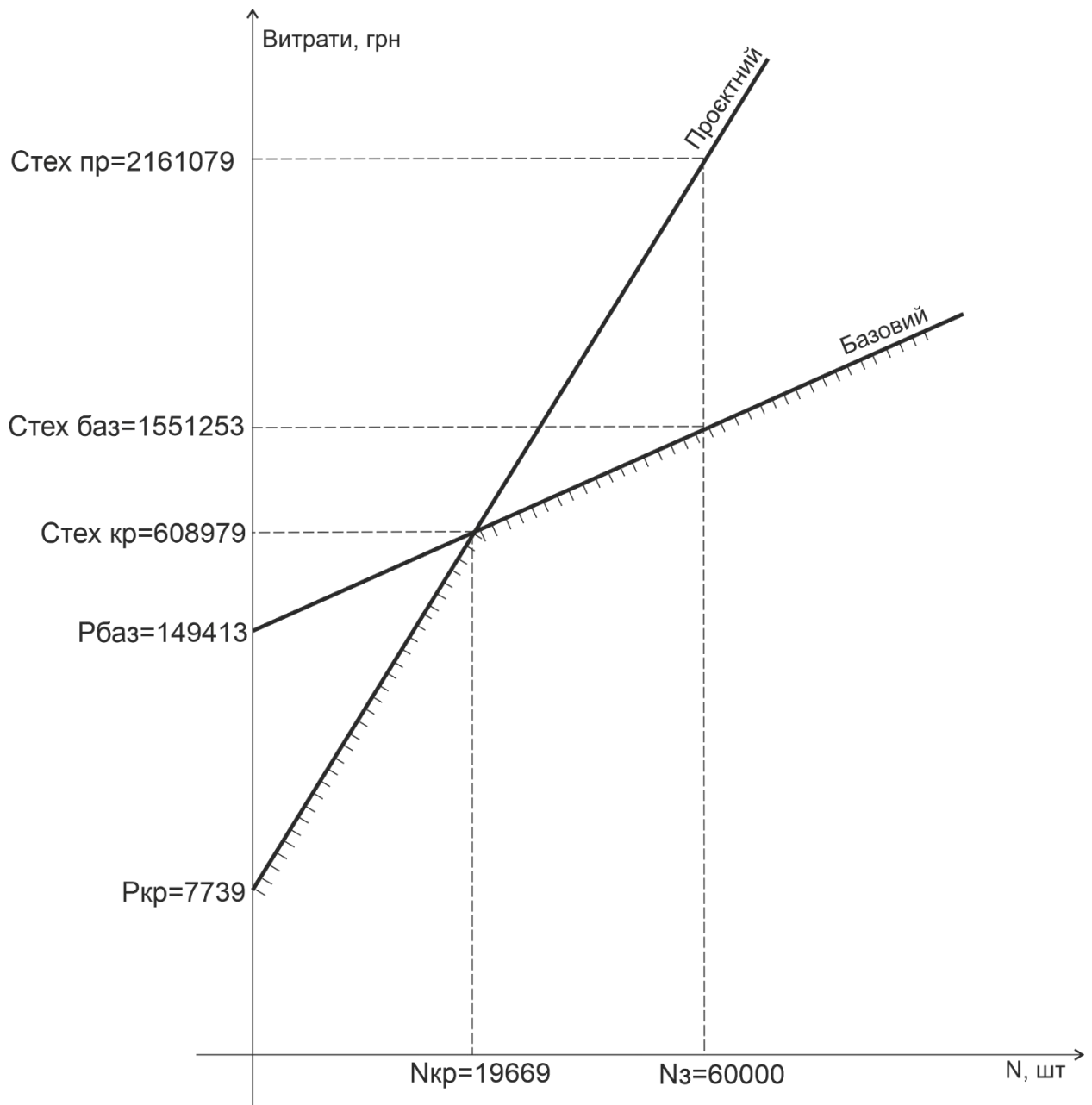


Рис. 6.1 Графік розмежування області ефективного розмежування варіантів техпроцесу механічної обробки деталі «шестерня ведуча»

Проте слід зазначити, що в розрахунках технологічної собівартості, зокрема амортизації обладнання в проектному варіанті було узято оптову ціну нового верстата Haas ST-20, а в базовому варіанті – середні ціни верстатів, які були у використанні, оскільки мод. токарно-копіювальних верстатів ЕМ-288, СА023 і 1Н713 наразі не випускаються. Придбання підприємством на вторинному ринку такого фізично та морально зношеного обладнання мало б свої негативні наслідки, а саме: збільшення витрат на його утримання і ремонт, зростання браку виготовлюваної продукції, необхідність їх скорішої заміни через неможливість подальшої експлуатації таке інше. Відповідні втрати нами не були враховані у даному розрахунку.

Тож впровадження проектного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства.

6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{od} + B_c + B_{in} + B_o + B_{\text{ц}}, \quad (6.16)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

Z_{od} - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

B_{in} - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{\text{ц}}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot \Pi_m \cdot K_{mp} - a_g \cdot \Pi_g, \quad (6.17)$$

де a_p - норма витрат матеріалу (сталь 18ХГТ), кг;

Π_m - ціна матеріалу, грн./кг;

K_{mp} - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати при зберіганні матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

a_6 - маса відходів, кг;

C_6 - ціна відходів, грн./кг;

$$M_o = 1,92 \cdot 39,2 \cdot 1,05 - (1,92 - 1,04) \cdot 5,9 = 73,835 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_6 (1 + K_d), \quad (6.18)$$

де P_6 - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_6 = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{zod_i}^6 \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (6.19)$$

де $e_{zod_i}^6$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{um-\kappa_i}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції техпроцесу, хв.:

На першій операції техпроцесу:

$$P_{on_1} = 77,80 \cdot \frac{1,423}{60} = 1,8496 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 6.9.

Таблиця 6.9

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Фрезерно-центрувальна	0,597	3	70,180	0,6983
010	Токарна з ЧПУ	3,068	4	77,980	3,9874
015	Токарна з ЧПУ	3,618	4	77,980	4,7022
020	Зубофрезерна	2,598	4	77,980	3,3765
025	Зубодовбальна	3,019	4	77,980	3,9237
030	Зубошевінгувальна	2,793	4	77,980	3,6300
035	Шліцефрезерна	1,460	4	77,980	1,8975
055	Круглошліфувальна	0,447	4	77,980	0,5810
060	Круглошліфувальна	1,007	4	77,980	1,3088
065	Шліфувальна	2,427	3	70,180	2,8388
070	Шліфувальна	2,427	3	70,180	2,8388
080	Суперфінішна	0,902	4	77,980	1,1723
085	Доводочна	0,381	3	70,180	0,4456
	Всього	24,744	-	-	31,4008

$$З_{од} = 31,4008 \cdot (1 + 0,1) = 34,5409 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 34,5409 \cdot \frac{22}{100} = 7,5990 \text{ грн.}, \quad (6.20)$$

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 25 \cdot \frac{24,4125}{60} = 10,1719 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = 31,4008 \cdot \frac{320}{100} = 100,4826 \text{ грн.}, \quad (6.21)$$

де $\Pi_{во}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

$З_o$ - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = 31,4008 \cdot \frac{280}{100} = 87,9222 \text{ грн.}, \quad (6.22)$$

де $\Pi_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 6.10.

Таблиця 6.10

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	73,8350
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	31,4008
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3,1401
4.	Відрахування у соціальні фонди	7,5990
5.	Експлуатація спеціального оснащення	10,1719
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	100,4826
7.	Цехові витрати	87,9222
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	314,5516

6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах дипломної роботи, слід додатково визначити такі:

- зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках):

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{8,015}{6,79} \cdot 100 - 100 = 18,0\%, \quad (6.23)$$

- виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{52145}{28} = 1862,3 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (6.24)$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми дільниці, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- зарплатомісткість продукції:

$$З_{zn} = \frac{З_{од}}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{34,541}{314,552} \cdot 100 = 11,0\%, \quad (6.28)$$

де $З_{од}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{ц}$ - цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$З_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{73,835}{314,552} \cdot 100 = 23,5\%, \quad (6.29)$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} = 314,552 \cdot 60000 \cdot 1,78 = 33594154 \text{ грн.} \quad (6.30)$$

Підсумкові техніко-економічні показники зведемо до табл. 6.11.

Таблиця 6.11

Підсумкові техніко-економічні показники

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_3)	шт./рік	60000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	52145
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	314,552
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	грн./рік	33594154
5.	Чисельність основних робітників	осіб	28
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год./ос.	1862
7.	Матеріаломісткість продукції	%	23,5
8.	Зарплатомісткість продукції	%	11,0
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	18,0

6.4 Висновки

У розділі зроблено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу. Цей аналіз виконано шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по базовому і проектному варіантах технологічних процесів.

Розрахунки показали, що, при застосуванні запропонованого варіанту технологічного процесу, слід очікувати зниження трудомісткості виготовлення деталі на 18%. Визначено, що за програми запуску деталі «шестерня ведуча НШ50-3-04» у кількості 19669 шт. ефективнішим з економічної точки зору буде проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі, а для запланованої програми запуску у 60000 шт. – більш ефективним є базовий варіант, що виключає необхідність визначення економічного ефекту від використання проектного техпроцесу. Однак, використання фізично та морально зношеного обладнання у базовому варіанті техпроцесу має свої негативні наслідки, а саме: збільшені витрати на утримання та ремонт верстатів, зростання браку виготовлюваної продукції та, в решті, необхідність їх скорішої заміни через неможливість подальшої експлуатації.

Тож впровадження проектного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня із дослідженням методу черв'ячного зубофрезерування» проаналізовано сучасний стан методу черв'ячного зубофрезерування, визначено основні напрямки підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень та запропоновано заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу обробки деталі шестерня ведуча НШ50-3-04.

Було виконано аналіз конструкції деталі та базового технологічного процесу. Запропоновано технічне раціоналізаторське рішення, яке в перспективі має знизити собівартість виробу, скоротити час на обробку шестерні, зменшити кількість задіяного металорізального обладнання, підвищити гнучкість виробництва. Для розробленого, із врахуванням пропонованого рішення, технологічного процесу здійснено підбір технічного забезпечення, а саме: металорізальних верстатів, верстатних затискних пристосувань, різальних інструментів та вимірювальних засобів. Також проведено розрахунок припусків на механічну обробку, режимів різання і технічне нормування операцій.

Розроблено конструкцію затискного верстатного пристрою, контрольного пристосування та різального інструменту – торцевої фрези. Виконано необхідні розрахунки.

Здійснено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого варіанту технологічного процесу. Визначено, що слід очікувати зниження трудомісткості виготовлення деталі на 18%, але для запланованої програми запуску більш ефективним є базовий варіант технологічного процесу. Однак, використання фізично та морально зношеного обладнання у базовому варіанті техпроцесу має свої негативні наслідки, тож впровадження проєктного варіанту техпроцесу, із застосуванням токарних верстатів з ЧПУ, було б правильним рішенням для підприємства.

Всі технічні рішення, які прийняті у роботі, супроводжуються необхідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». / Укл. І.В. Журило, Л.М. Романюк – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
2. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202. Організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. / Укл.: Л.В. Лебедева. – Кіп-град: КНТУ, 2004. – 44 с.
3. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
4. Методичні рекомендації до виконання самостійних робіт з дисципліни: «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Для здобувачів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / Укл.: О.І. Скібінський, В.М. Селехова. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 93 с.
5. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
6. Технологія машинобудування. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / Укл.: І.І. Павленко, А.М. Артюхов, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, М.О. Сторожук. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 68 с.
7. Швидкорізальна сталь [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Швидкорізальна_сталь.
8. A Critical Review of Measures for an Effective Application of Nano-Structured Coatings in Milling / G. Skordaris, K.-D. Bouzakis, T. Kotsanis, P. Charalampous. // Tribology in Industry. – 2017. – Vol. 39, No. 2. –P. 211-218.
9. Advanced Methods for Improving the Cutting Performance of Coated Tools Supported by Innovative Film Characterization Procedures / K.-D. Bouzakis, G. Skordaris, E. Bouzakis, G. Maliaris. // ICMC 2nd eniPROD-Colloquium. – 2012. – P. 375–392.

10. Advantages of Titanium Nitride Coated Gear Tools / Peter W. Kelly // Gear Technology. – 1984. – June-july. – P. 12-23.
11. Analysis of tool wear in face hobbing plunging manufacturing processes / Charalampos Alexopoulos, Jens Brimmers, Thomas Bergs. // 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems. – 2022. – №107. – P. 1174–1179.
12. Cutting performance increasing in gear hobbing by means of HSS hobs, coated with effective PVD films [Электронный ресурс] / K. D. Bouzakis, S. Kombogiannis, O. Friderikos, J. Anastopoulos. – 2003. – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/237672470_Cutting_performance_increasing_in_gear_hobbing_by_means_of_HSS_hobs_coated_with_effective_PVD_films.
13. Gear hobbing: a contribution to analogy testing and its wear mechanisms / S. Stein, M. Lechthaler, S. Krassnitzer, K. Albrecht, A. Schindler, M. Arndt // Procedia CIRP. – 2012. – Vol. 1 – P. 220–225.
14. Gear hobs — Accuracy requirements : ISO 4468:2009. – [Valid from 2009.06.01]. – Geneve : International Organization for Standardization, 2009. – 32 P. – (International Standard).
15. Gleason - Hobbing Machines [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gleason.com/en/products/machines/cylindrical/hobbing-up-to-800-mm/genesis-400hcd-the-productivity-master-with-optional-flexible-chamfering>.
16. High Productivity Dry Hobbing System / Takahide Tokawa, Yukihiisa Nishimura, Yozo Nakamura // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review. – 2001. – Vol. 38, No. 1. – P. 27-31.
17. Hudson steel corporation. Selection of High-Speed Tool Steels [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.hudsontoolsteel.com/site/CompareHighSpeedSteel>.
18. Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed dry gear hobbing / J. Rech // Wear. – 2006. – Vol. 261– P. 505-512.
19. LMT Fette Gear Cutting - Tools and Knowledge [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.lmt-tools.com/fileadmin/user_upload/content_lmt-tools/content/segmente/verzahnen/downloads/LMT-Tools-Katalog-Verzahnen-s.pdf.

20. New Developments in Gear Hobbing / Dr. Oliver Winkel // Gear Technology. – 2010. – March/April. – P. 45–52.
21. Oerlikon - Oerlikon Balzers Coating Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.oerlikon.com/balzers/at/en/coating-guide/?selector%5Bnode%5D=8>.
22. Precipitation Behaviors of Carbides in High Speed Steel during ESR and Heat Treatment / Yang Liu, Jing Li, Wei Liang, Jiawei Gao, Yongfeng Qi and Chengjia Shang // MDPI Metals. – 2021. – Vol. 11.
23. PVD Coating Explained: Benefits and Applications in Modern Industries [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://at-machining.com/pvd-coating-explained>.
24. Reference Profiles of Gear-cutting Tools for Involute Tooth Systems according to DIN 867 : DIN 3972-1952. – [Valid from 1952.02.01]. – Berlin : Deutsches Institut Fur Normung E.V., 1952. – 2 S. – (German National Standard).
25. SAAZOR Hobs [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://senna-saazor.de/leistungen/>.
26. Schmidthammer A. Die Verschleißerscheinungen an Wälzfräsern und ihre Ursachen / Schmidthammer. // Technische Nachrichten Fette. – 1980. – №270. – S. 211.
27. Solid (monobloc) gear hobs with tenon drive or axial keyway, 0,5 to 40 module - nominal dimensions : ISO 2490:2007. – [Valid from 2007.10.01]. – Geneve : International Organization for Standardization, 2007. – 10 P. – (International Standard).
28. Star SU - Gear Cutting Tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.star-su.com/wp-content/uploads/hobs_milling_cutters_ed0.pdf.
29. The structure and formation of functional hard coatings: a short review / Vlad Diciuc, Alicja Kazek-Kęsik // 21st Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference. – 2017. – Vol. 112.
30. Tiangong - Powder metallurgy [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.tiangonginternational.com/shop/powder-metallurgy-1>.
31. Tolerances for Single-start Hobs for Involute Spur Gears : DIN 3968-1960. – [Valid from 1960.01.09]. – Berlin : Deutsches Institut Fur Normung E.V., 1960. – 5 S. – (German National Standard).

ДОДАТОК А
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

КОМПЛЕКТ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Виконав здобувач вищої освіти
гр. ПМ-23М-3

Богдан КІСІЛЬОВ

Керівник роботи

Антон АПАРАКІН

Завідувач кафедрою

Андрій ГРЕЧКА

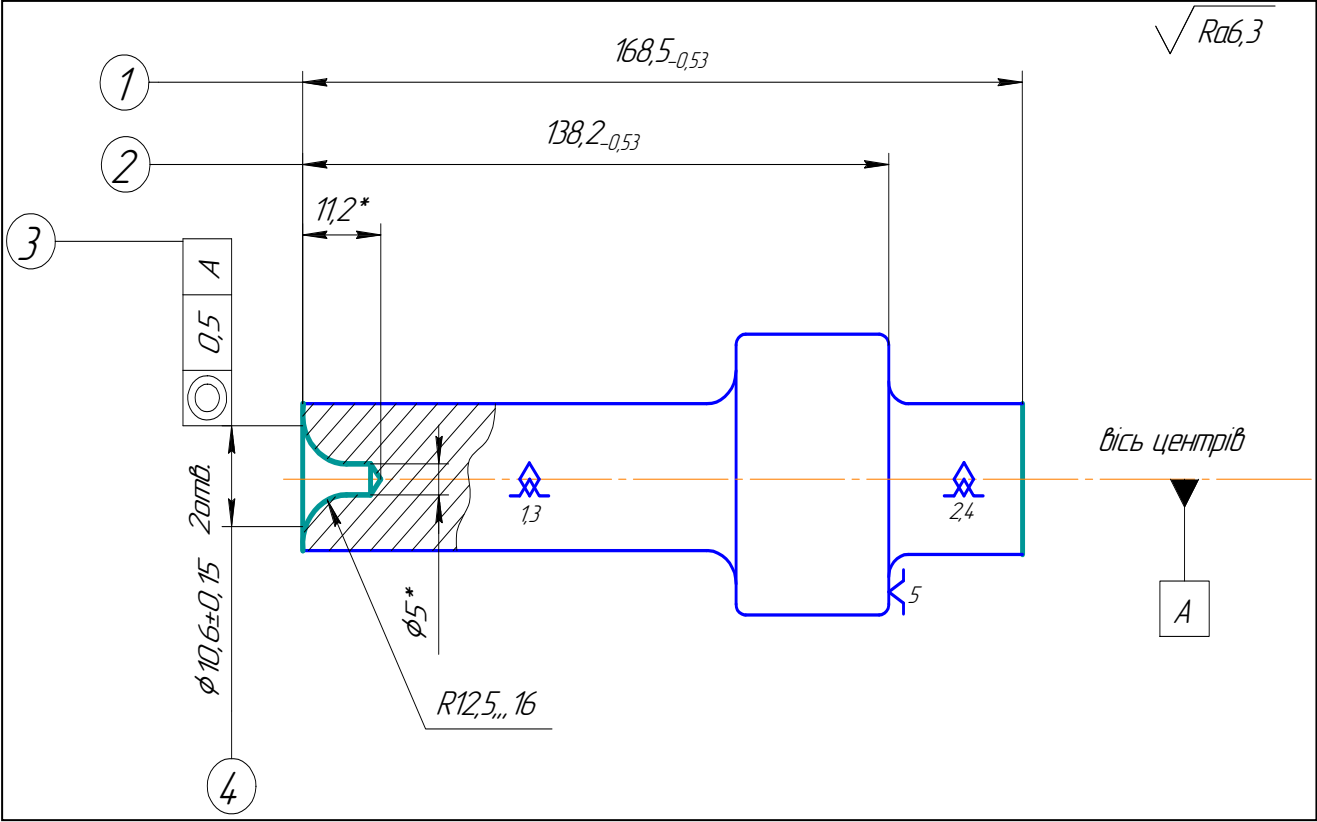
Кропивницький - 2024

[illegible]

[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

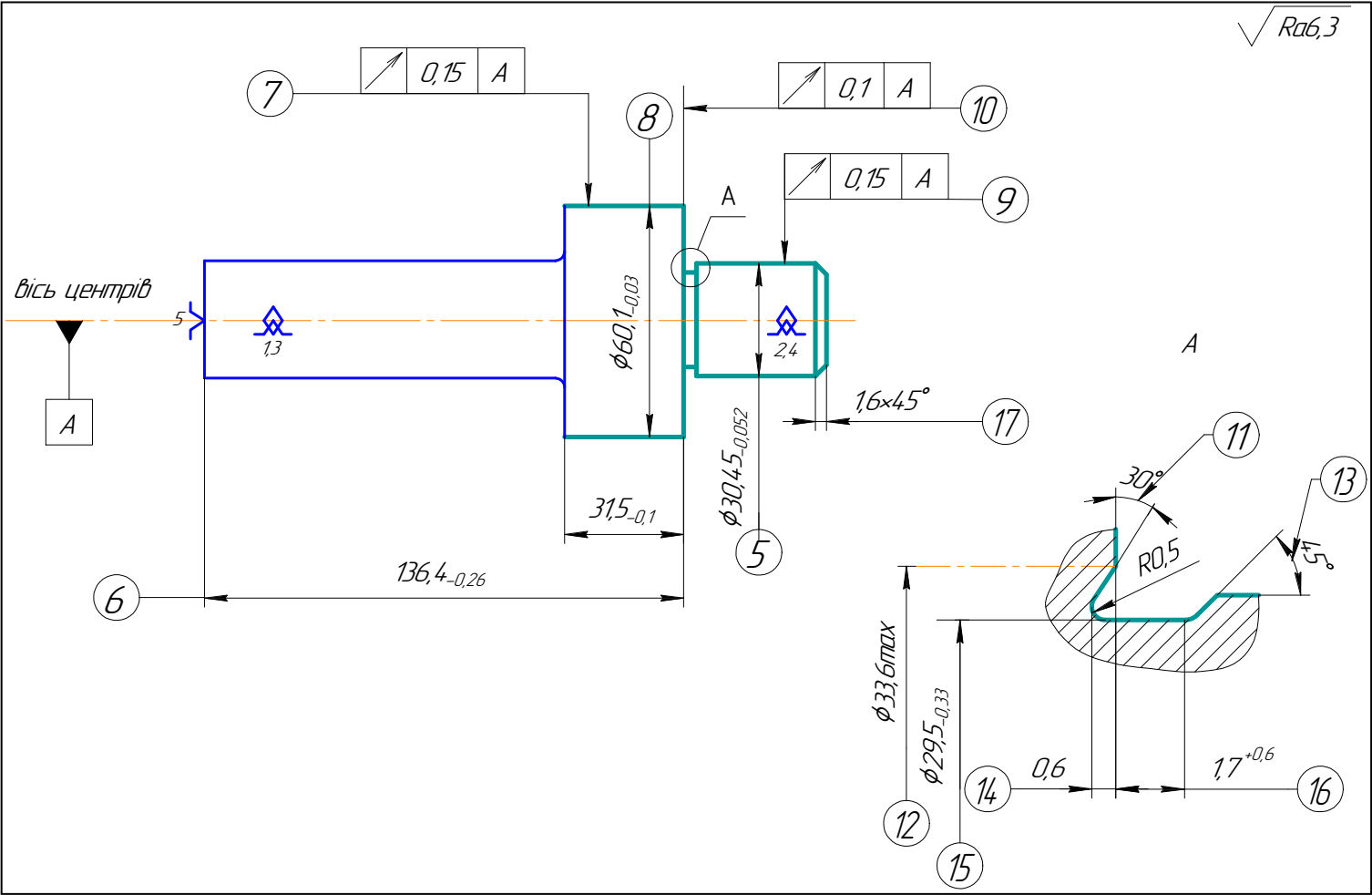
										1	1
Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04						
Пров.	Апаракін А.Р.										
				Шестерня ведуча							005
Н.контр.											



Дубл.			
Взам.			
Подл.			

								1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04								
Пров.	Апаракін А.Р.												
Н.контр.				Шестерня ведуча									010

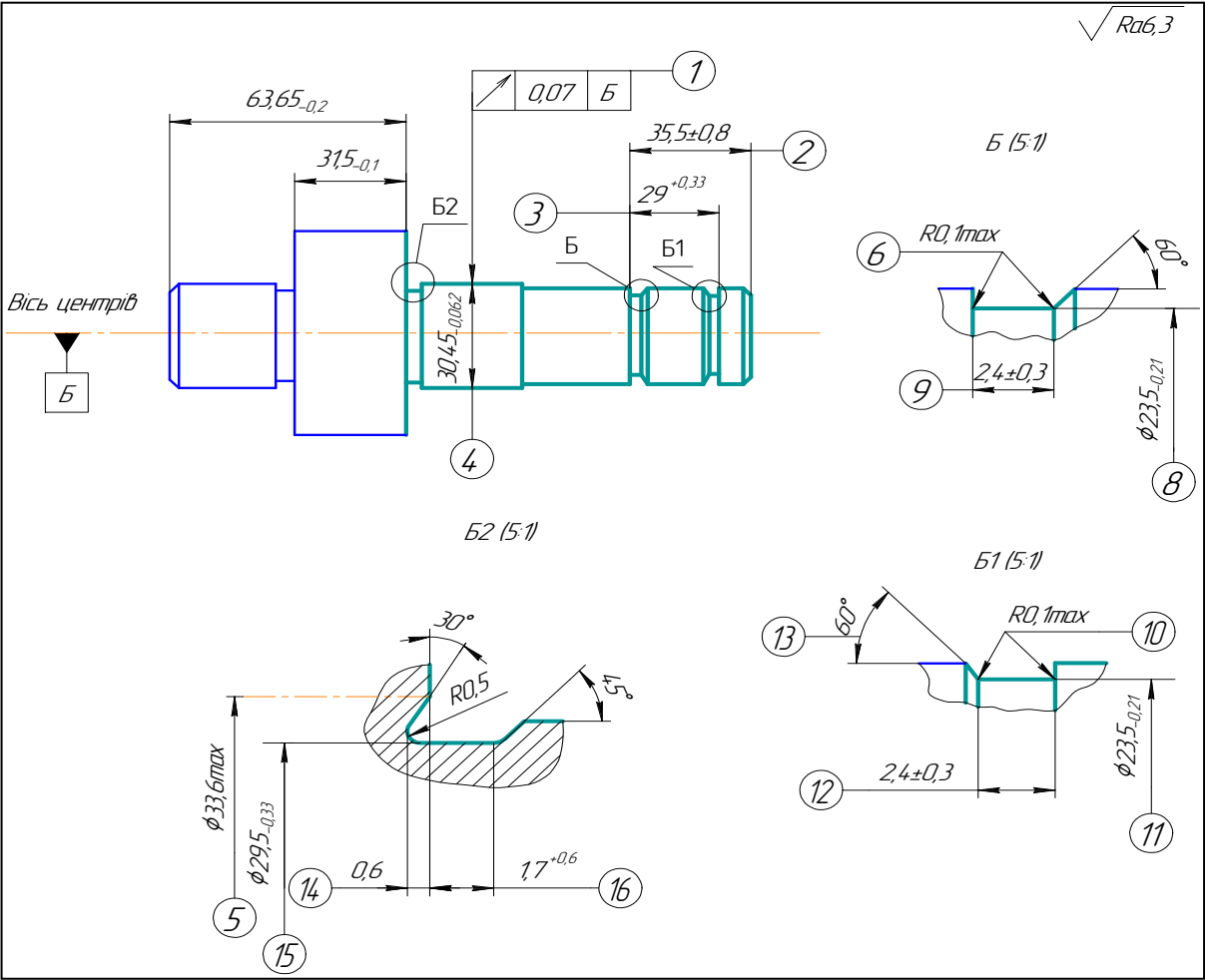


КЭ

Карта эскизов

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

								1	1
Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04				
Пров.	Апаракін А.Р.								
Н.контр.				Шестерня ведуча					015

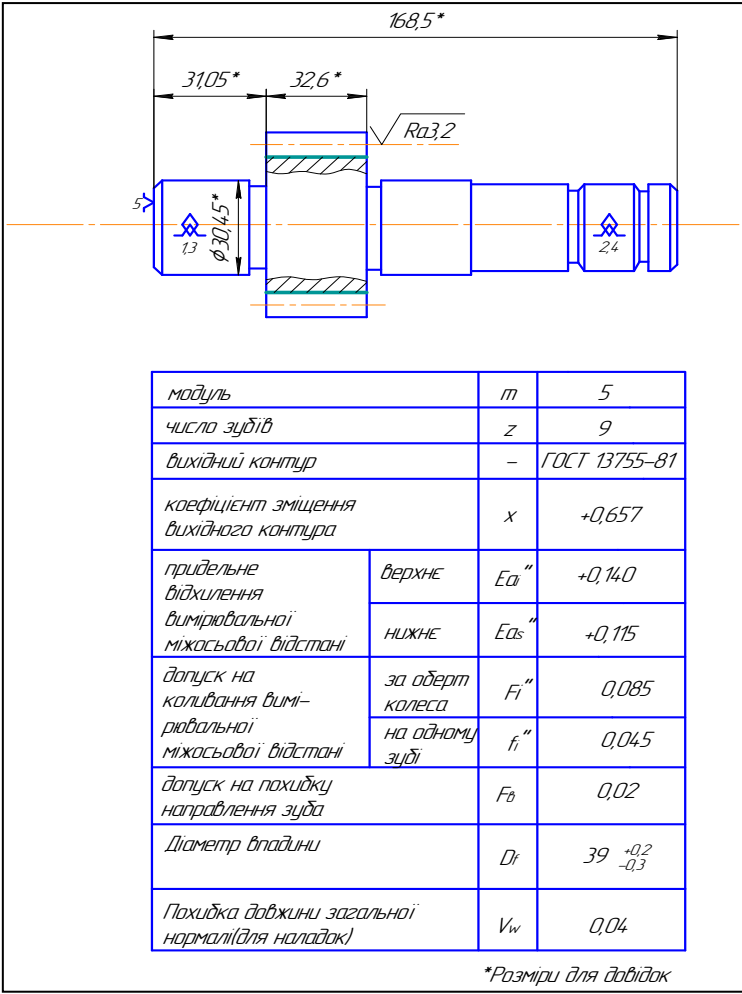


модуль	m	5	
число зубів	z	9	
вихідний контур	—	ГОСТ 13755-81	
коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,657	
придільне відхилення виміральної міжосьової відстані	верхнє	E_a''	—
	нижнє	E_a''	—
допуск на коливання виміральної міжосьової відстані	за одерт колеса	F_i''	0,3
	на одному зубі	f_i''	0,1
допуск на похибку напрямлення зуба	F_β		0,1
Довжина загальної нориалі	W		26,25-0,2

*Розміри для довідок

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

								1	1
Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04				
Пров.	Апаракін А.Р.								
Н.контр.				Шестерня ведуча					025



модуль	m	5	
число зубів	z	9	
вихідний контур	—	ГОСТ 13755-81	
коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,657	
придільне відхилення вимірювальної міжосьової відстані	верхнє	E_a''	+0,015
	нижнє	E_{as}''	-0,110
допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані	за оберт колеса	F_i''	0,052
	на одному зубі	f_i''	0,028
допуск на похибку направлення зуба	F_b		0,017
Похибка довжини загальної нормалі (для налагодок)	V_w		0,05

*Розміри для довідок

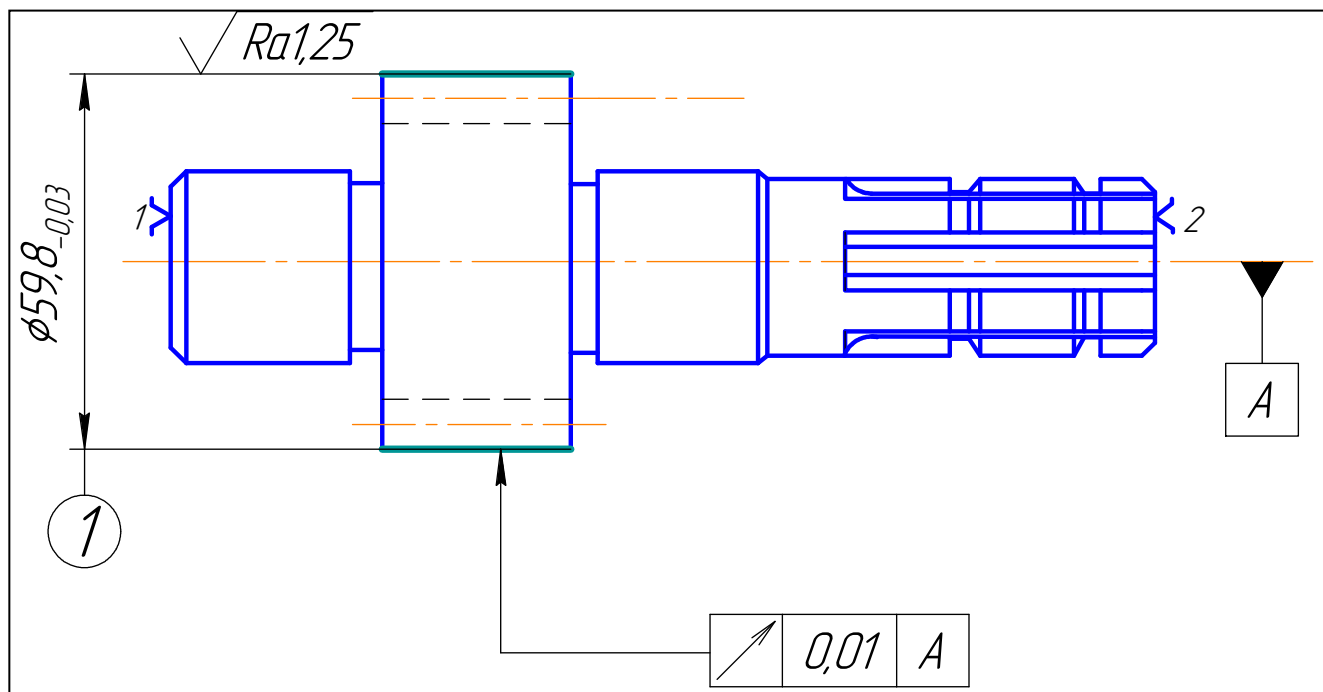
Разроб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

кількість шліців	z	6
тип шліця	–	прямодічний
довжина шліців з глибиною	l	39
сумарна довжина шліців	L	53-0,74
Діаметр впадини	D_S	211-0,7
Середній діаметр	D	21
Товщина шліця	S	5 ^{-0,080} _{-0,150}
Діаметр фрези	d	70
Величина фаски	c	0,3+0,2x45°

*Розміри для довідок

[illegible]

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

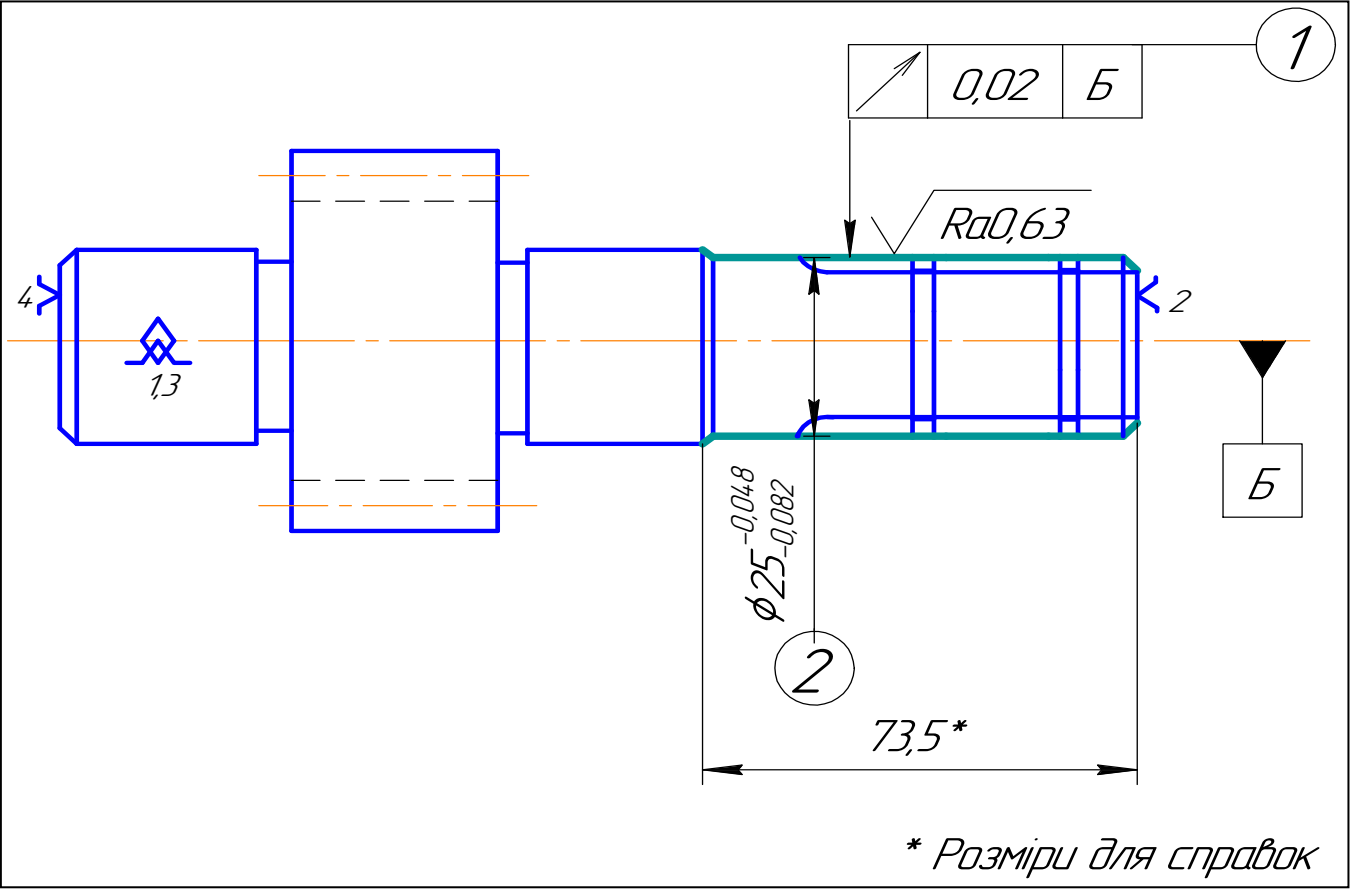
[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

								1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

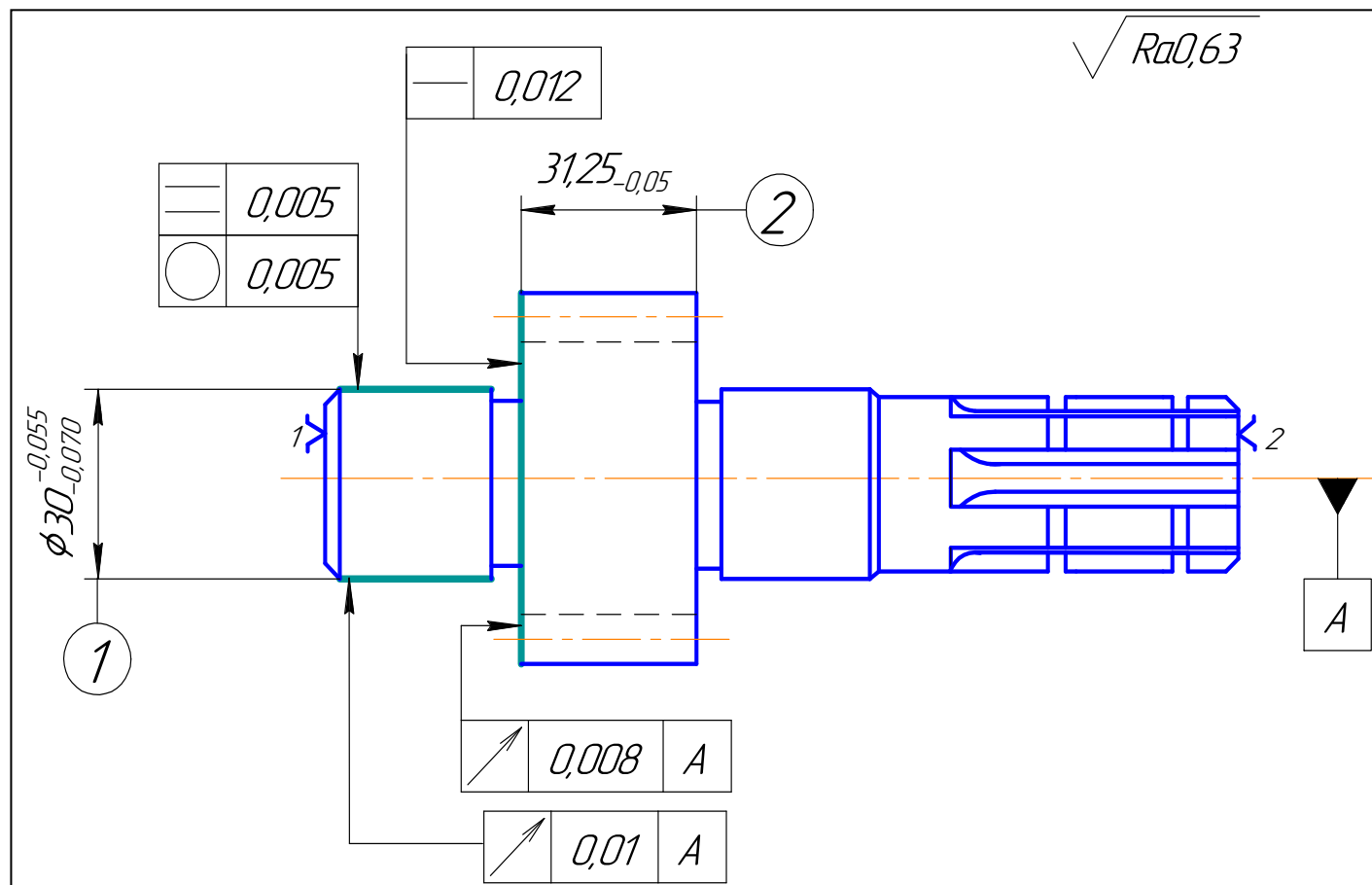
Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

Н.контр.				Шестерня ведуча				060
----------	--	--	--	-----------------	--	--	--	-----



[illegible]

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

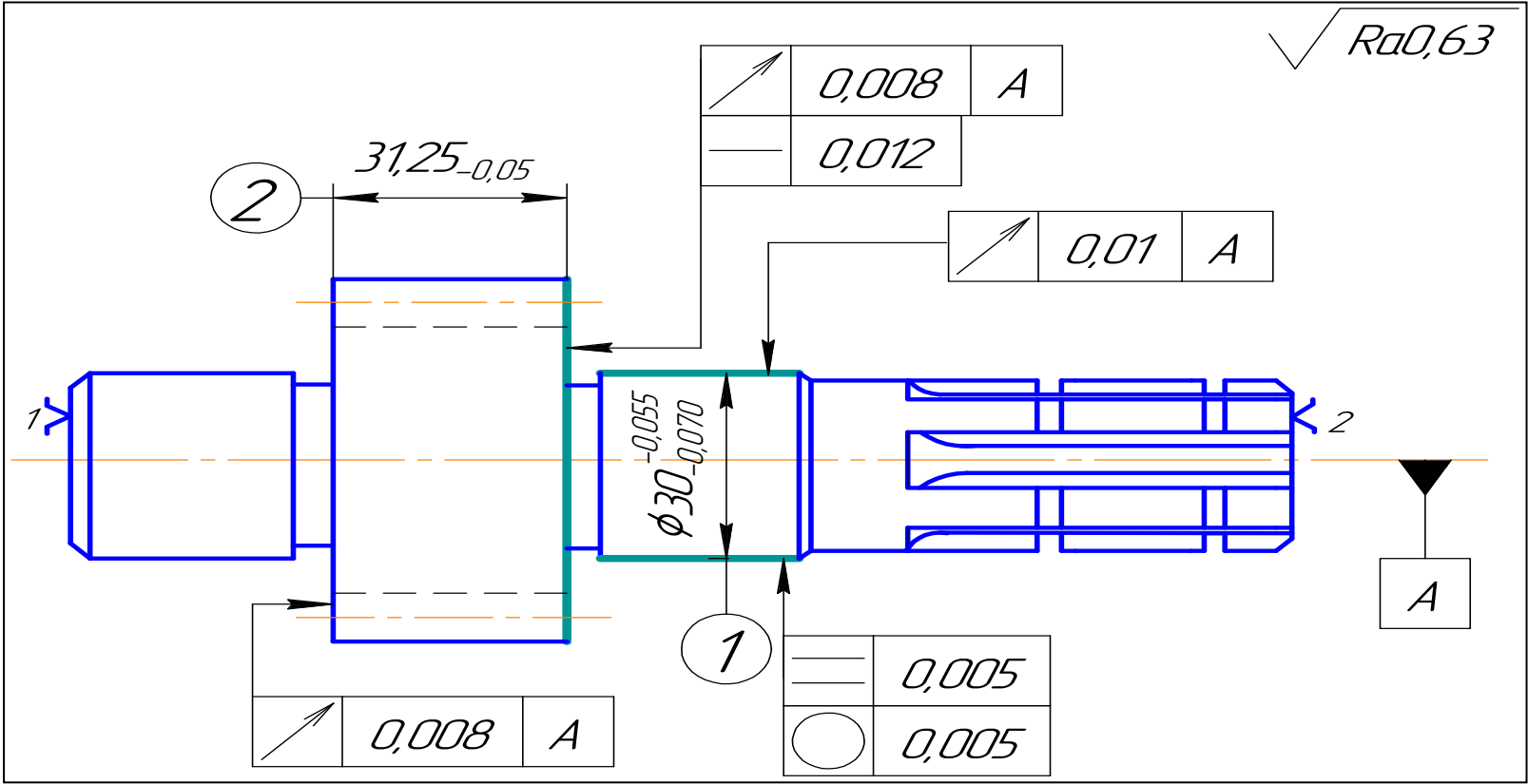
[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

									1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

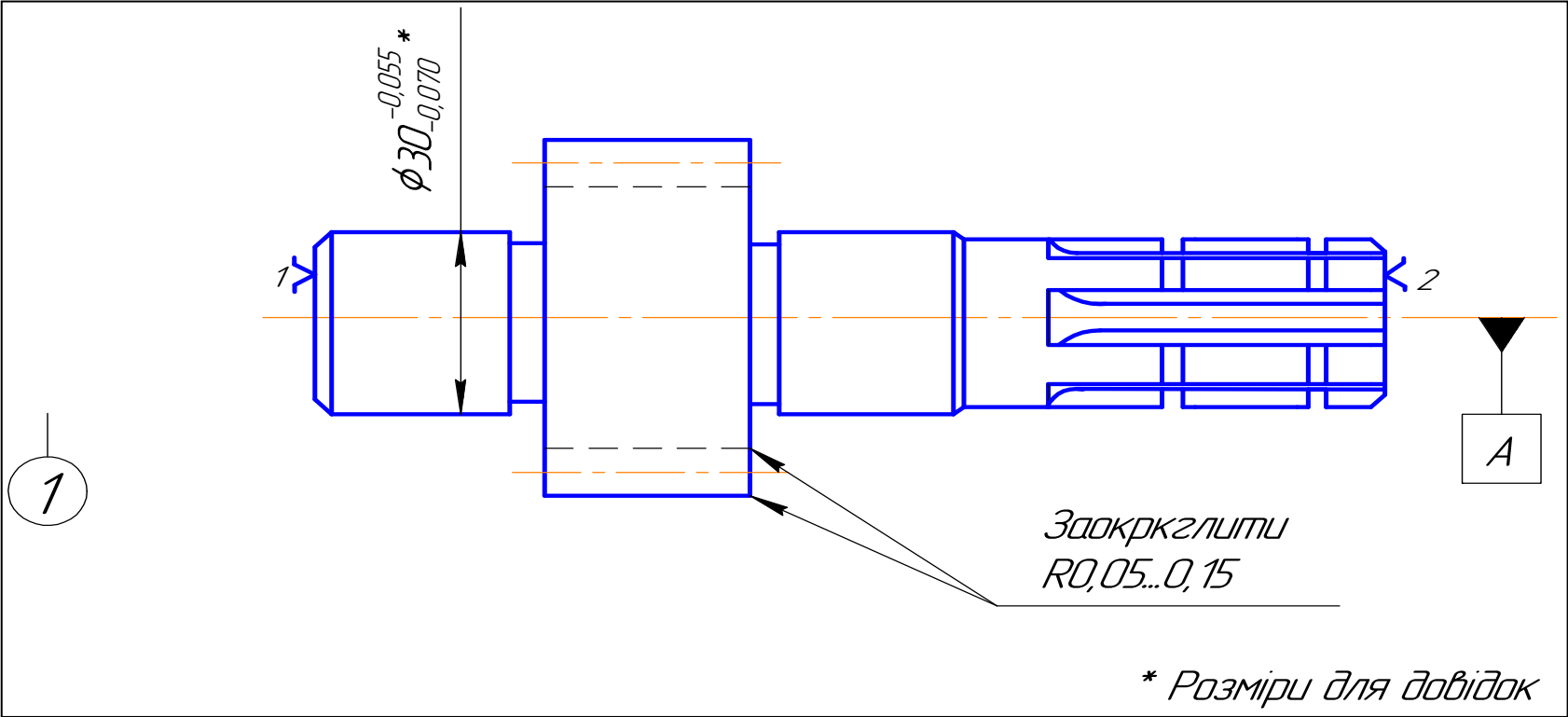
Н.контр.				Шестерня ведуча						070
----------	--	--	--	-----------------	--	--	--	--	--	-----



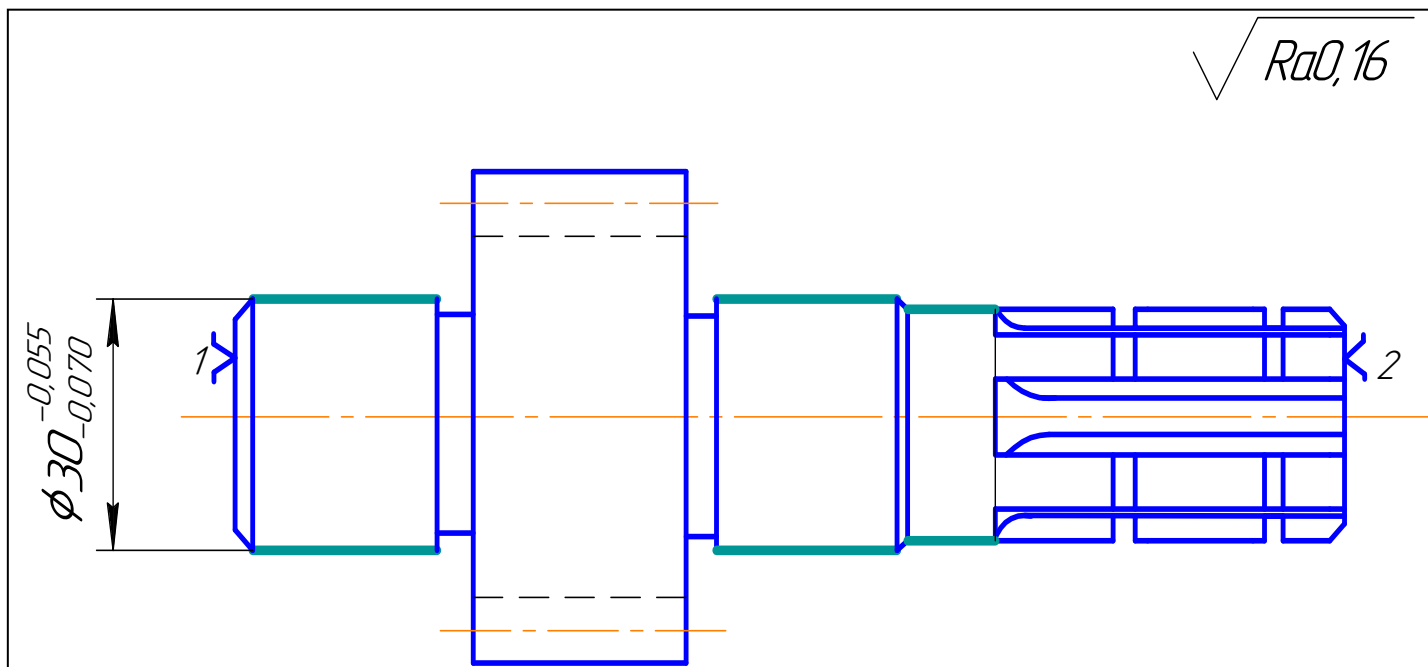
Дубл.			
Взам.			
Подл.			

									1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						
Н.контр.				Шестерня ведуча			075



								1	1
Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04				
Пров.	Апаракін А.Р.								
Н.контр.				Шестерня ведуча					080



[illegible]

Разраб.	Кісільов Б.О.			ЦНТУ	НШ50-3-04		
Пров.	Апаракін А.Р.						

[illegible]