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:

«Дослідження процесу розгортання отворів при обробці деталі корпус»

Виконав здобувач вищої освіти 2-го року
магістратури групи ГМ-22М-3
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ Іван ТКАЧЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Олег БЕВЗ

Кропивницький – 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
Освітньо-наукова програма	Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Івана ТКАЧЕНКА
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження процесу розгортання отворів при обробці деталі корпус

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Андрій Гречка

3. Строк подання роботи до захисту « » _____ 2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: дослідження процесу розгортання отворів, виявлення негативних особливостей даного процесу та розробка рекомендацій по усуненню таких особливостей та явищ на прикладі розгортання отворів деталі корпус.

Завдання:

– виконати опис процесу розгортання отворів;
– проаналізувати негативне явище процесу розгортання, а саме огранювання отвору;
– проаналізувати причини виникнення огранювання отворів;
– виконати пошук відомих варіантів боротьби із огранюванням та дослідити відомі конструкції розверток, які усувають огранювання;
– проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення деталі корпус, виявити його переваги та недоліки, розробити прогресивний технологічний процес, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
– розробити удосконалену конструкцію розвертки для обробки отворів деталі корпус, яка усуває явище огранювання отвору;
– виконати необхідні економічні розрахунки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 2	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 3	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 4	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	ВСТУП	Лютий 2024	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Лютий 2024	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Березень 2024	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Квітень 2024	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Квітень-травень 2024	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Травень 2024	вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Травень 2024	вик.
8	Графічна частина	Червень 2024	вик.

Дата видачі завдання «_____» _____ 2024 р.

Керівник роботи _____ Андрій ГРЕЧКА
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «____» _____ 2024 р.

Здобувач _____ Іван ТКАЧЕНКО
(підпис)

Анотація

Ткаченко І.С. Дослідження процесу розгортання отворів при обробці деталі корпус: кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: спец. 133 «Галузеве машинобудування» / наук. кер. А. І. Гречка; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 100 с. Матеріали презентації 9 креслень.

Метою роботи є дослідження процесу розгортання отворів, виявлення негативних особливостей даного процесу та розробка рекомендацій по усуненню таких особливостей та явищ на прикладі розгортання отворів деталі корпус.

В роботі виконано: опис процесу розгортання отворів; проаналізовано негативне явище процесу розгортання, а саме огранювання отвору; розглянуто причини виникнення огранювання отворів; виконано пошук відомих варіантів боротьби із огранюванням та досліджено відомі конструкції розверток, які усувають огранювання; проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі корпус, виявлено його переваги та недоліки; розроблено прогресивний технологічний процес; вибрані металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої; розраховано припуски, режими різання та норми часу; розроблено удосконалену конструкцію розвертки для обробки отворів деталі корпус, яка дозволить усунути явище огранювання отвору; виконано необхідні економічні розрахунки.

Актуальність: підвищення точності отвору отриманого розгортанням шляхом зменшення або усунення ефекту огранювання в процесі розгортання.

Наукова новизна: запропоновано конструкцію розвертки зубці якої розташовані з нерівномірним кроком та у якої зубці зміщені на 4° відносно їх симетричного розташування. Передні кути на двох сусідніх зубцях виконані різними і становлять 2° і 3° відповідно. Запропоновані зміни дадуть можливість збалансувати різальний інструмент та зменшити ефект огранювання при розгортанні отворів.

Ключові слова: розгортання, розвертка, огранювання отвору, нерівномірний кутовий крок, вібрація.

Annotation

Ivan TKACHENKO. Study of the process of reaming holes during the machining of a housing part. Master's Thesis: CNTU, 2024. - 100 p. Presentation materials 9 il.

The purpose of the work is the research the process of reaming holes, to identify negative features of this process and to develop recommendations for eliminating such features and phenomena using the example of reaming holes in a housing part

The work includes description of the hole reaming process; the negative phenomenon of the reaming process, namely the cutting of the hole, is analyzed; the causes of hole cutting are considered; a search for known options for combating polygonal deformation was performed and known reamer designs that eliminate polygonal deformation were investigated; the basic technological process of manufacturing the housing part was analyzed, its advantages and disadvantages were identified; a progressive technological process has been developed; selected metal-cutting machines, clamping, auxiliary and control devices; allowances, cutting modes and time standards are calculated; an improved design of the reamer for processing the holes of the housing part has been developed, which will eliminate the phenomenon of polygonal deformation of the hole; performed the necessary economic calculations.

Relevance: increasing the accuracy of the hole obtained by the reaming by reducing or eliminating the effect of polygonal deformation during the reaming process.

Scientific novelty: After analyzing the reamers in which the teeth are located with an uneven pitch, a construction of the reamer in which the teeth are shifted by 4° relative to their symmetrical arrangement is proposed. The front angles on two adjacent teeth are different and are 2° and 3°, respectively. The proposed changes will make it possible to balance the cutting tool and reduce the effect of polygonal deformation during reaming hole process.

Key words: reaming, reamer, polygonal deformation, uneven angular pitch, vibration.

ЗМІСТ

ВСТУП……..... 7
РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ТА ПРОЦЕС РОЗГОРТАННЯ ОТВОРІВ…… 8
1.1. Поняття розгортання та інструмент для його здійснення..... 8
1.2. Огранювання отвору при розгортанні……. 11
1.3. Постановка задач дослідження……... 14
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ ІЗ ОГРАНЮВАННЯМ ОТВОРІВ…… 15
2.1. Варіанти боротьби із огранюванням отворів..... 15
2.2. Відомі конструкції розверток для усунення огранювання отвору…… 16
2.3. Висновки……..…..... 26
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС..... 27
3.1. Службове призначення та характеристика корпусу**……..**…….. 27
3.2. Розробка технології виготовлення корпусу..... 29
3.3. Висновки……..... 66
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗВЕРТКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ДЕТАЛІ КОРПУС…… 67
4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції розвертки……..... 67
4.2. Особливості геометрії удосконаленої розвертки…… 68
4.3. Проектування конструкції розвертки…….. 71
4.4. Висновки……..... 74
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ… 75
5.1. Визначення програми запуску деталей у виробництво..... 75
5.2. Визначення потрібної кількості обладнання та типу виробництва……..... 75
5.3. Розрахунок календарно-планових нормативів…… 77
5.4. Аналіз варіантів технологічного процесу…….. 82
5.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі…… 93
5.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників……..… 95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 98

ВСТУП

Сучасний стан розвитку машинобудування визначається багатьма факторами, включаючи технологічні інновації, зміни вимог до продукції, висока якість продукції, екологічні аспекти та глобальні тенденції.

Машинобудівна галузь постійно вдосконалюється завдяки впровадженню новітніх технологій, які покращують якість продукції, зменшують витрати та роблять виробництво більш ефективним.

Одним із важливих аспектів сучасної машинобудівної галузі в умовах ринкової економіки є висока якість продукції. Для досягнення високої якості продукції необхідне: використання якісних матеріалів, суворий контроль якості, чітке дотримання стандартів, постійне вдосконалення. Компанії машинобудівної галузі постійно працюють над вдосконаленням своїх продуктів і процесів з метою підвищення якості. Це може включати в себе впровадження нових технологій, оптимізацію виробничих процесів та вдосконалення систем контролю якості.

В роботі необхідно розглянути процес розгортання отворів. Проаналізувати негативне явище процесу розгортання, а саме огранювання отвору. Розглянути причини виникнення огранювання отворів. Виконати пошук відомих варіантів боротьби із огранюванням та дослідити відомі конструкції розверток, які усувають огранювання. Проаналізувати базовий технологічний процес обробки деталі корпус та розробити раціоналізований технологічний процес, який забезпечить скорочення кількості та номенклатури металорізальних верстатів, скорочення часу на виготовлення деталі, зменшення кількості виробничих робітників та ін. При цьому, раціоналізований технологічний процес забезпечить якість та точність виготовленої за ним деталі, а також забезпечить зниження собівартості деталі. Розробити рекомендації по усуненню огранювання отвору. Розробити удосконалену конструкцію розвертки для обробки отворів деталі корпус, яка дасть змогу зменшити явище огранювання отвору.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ТА ПРОЦЕС РОЗГОРТАННЯ ОТВОРІВ

1.1. Поняття розгортання та інструмент для його здійснення

Розгортання є одним із методів чистової обробки отворів, отриманих свердлінням, зенкеруванням або іншим способом. Головним рухом при розгортанні є обертання інструмента навколо власної осі, а рухом подачі є осьове повздовжнє переміщення інструмента. При розгортанні досягається 6-8 квалітет та шорсткість поверхні Ra = 1,25-0,32 мкм. Така висока точність обробки і низькі показники шорсткості забезпечуються тим, що при розгортанні припуск на обробку менший ніж, наприклад, при зенкеруванні, та складає 0,05-0,5 мм на сторону. Інструментом для здійснення розгортання є розвертка. Швидкість різання при розгортанні стандартними розвертками виготовленими за ДСТУ становить V=2-15 м/хв, а сучасними розвертками світових виробників V=15-35 м/хв, подача – S=0,1-2 мм/об.

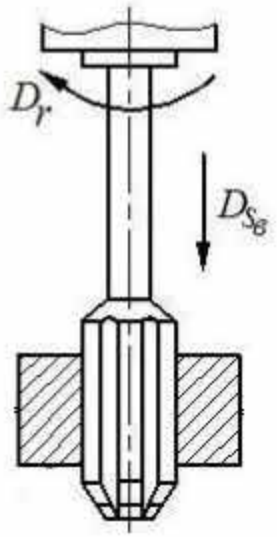


Рис. 1.1. Схема розгортання отвору

Розвертка закріплюється на верстаті в плаваючому патроні, який забезпечує центрування розвертки відносно оброблюваного отвору. При закріпленні інструменту в жорсткому патроні або в державці може спостерігатись збільшення або зміна форми оброблюваного отвору за рахунок неспівпадіння осі шпинделя верстата з віссю отвору револьверної головки. Існують спеціальні плаваючі патрони в яких виконані

внутрішні канали для подачі ЗОР для закріплення розверток із внутрішніми каналами для подачі ЗОР.

Розвертка – осьовий багатолезовий різальний інструмент, призначений для чистової обробки отворів. Розвертки мають парну кількість різальних лез z 4-14. За формою оброблюваного отвору розверти бувають циліндричними та конічними. За конструктивним виконанням (рис. 1.2): цільні з напайними пластинами; з пластинами, що кріпляться механічним способом; збірні; збірні регульовані; комбіновані (свердло-розвертка, зенкер-розвертка). Розвертки бувають з прямими та гвинтовими міжзубовими канавками. Як правило, розвертки з гвинтовими канавками застосовуються для розгортання глухих або переривчастих отворів.

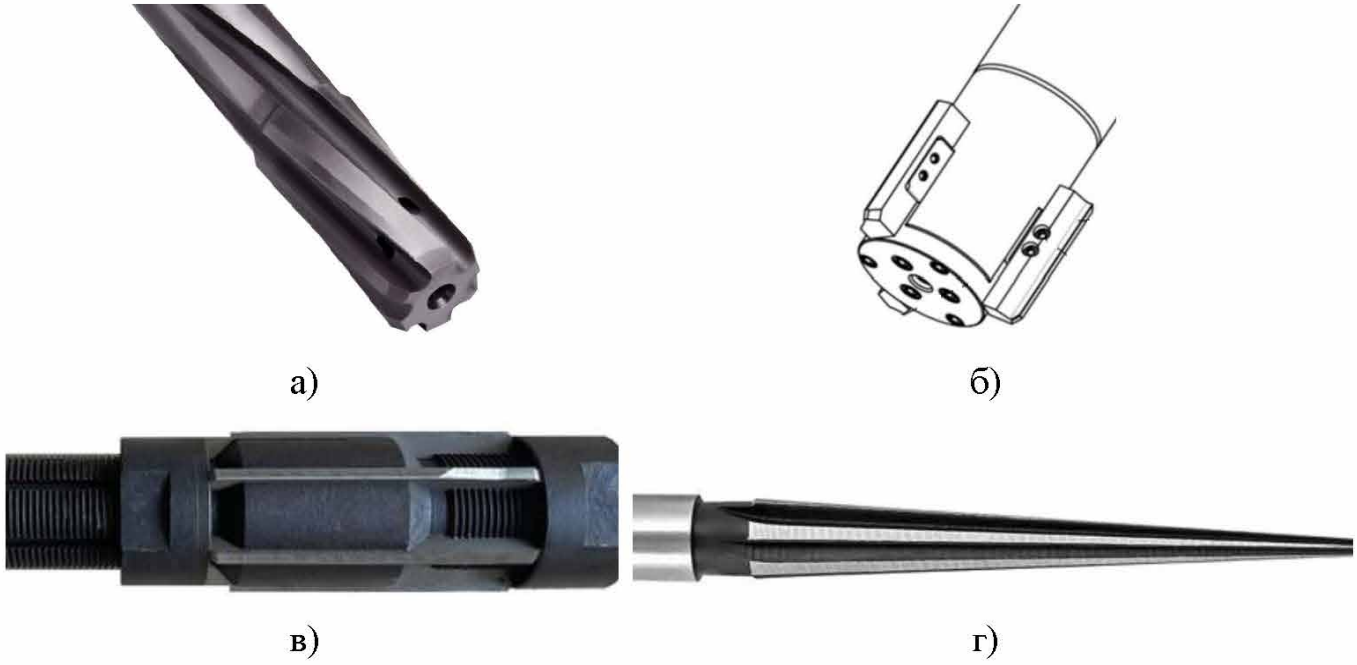


Рис. 1.2. Конструкції розверток:
а – циліндрична з напайними пластинами; б – з механічним кріпленням пластин;
в – збірна регульована; г – конічна

Циліндричні розвертки (рис. 1.3) мають такі основні частини та елементи: робочу частину l_1, шийку l_2 і хвостовик l_3. Робоча частина складається з ріжучої частина l_4 і калібруючої частини l_5, яка, в свою чергу, має циліндричну ділянку l_7 і ділянку зі зворотнім конусом l_8. Напрямний конус l_6 призначений для запобігання ушкодження початку різальної частини і полегшення вводу розвертки в отвір.

Основними конструктивними елементами робочої частини розвертки є: діаметр, довжини відповідних ділянок, кут забірного конуса, кількість і напрям зубців, розміри і форма стружкових канавок, геометрія зубців.

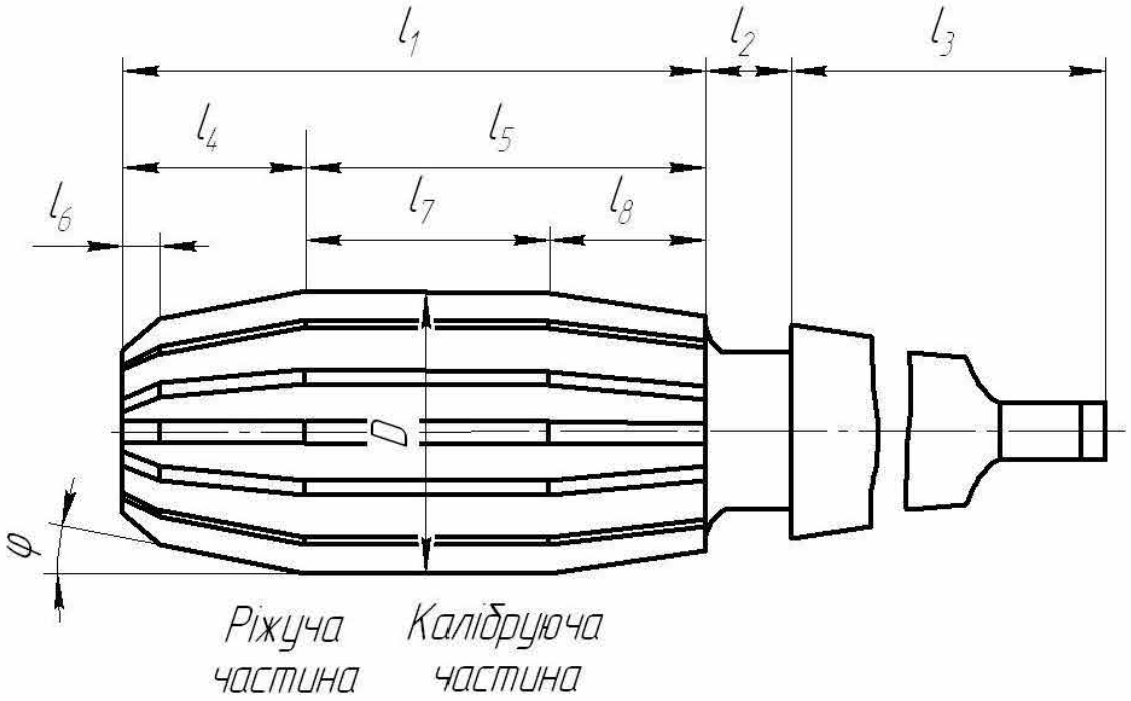


Рис. 1.3. Елементи циліндричної розвертки

Діаметр розвертки залежить від діаметру оброблюваного отвору. Діаметр циліндричної ділянки калібруючої частини повинен враховувати розбивку отвору та запас на зношування. Зношування розвертки спричинене тертям об стінки оброблюваного отвору. Тому діаметр розвертки необхідно робити меншим найбільшого діаметра отвору.

Для забезпечення вільного входу розвертки в отвір, діаметр розвертки на початку забірного конуса повинен бути меншим діаметра попередньо підготовленого отвору на 0,3-0,4 припуску під розгортання. В кінці калібруючої частини діаметр зменшується, тим самим утворюючи зворотній конус, довжина якого рівна $l_8=(0,25…0,5)l_1$. Довжина робочої частини розвертки приймається рівною $l_1=(2…4)D$, а довжина циліндричної ділянки калібруючої частини l_7 приймається рівною $(0,5…0,4)l_1$.

Довжина різальної частини l_4 залежить від припуску під обробку і кута забірного конуса 2φ. Кут φ – кут нахилу ріжучої частини - кут в плані. При збільшенні кута φ,

зменшується час на врізання розвертки за рахунок зменшення довжини різальної частини. При збільшенні φ збільшується товщина зрізаємого шару та інтенсивність зносу зубців розвертки.

Число зубців z у розверток як правило, парне. При збільшенні кількості зубців розвертки, підвищується якість обробки отворів, але це призводить до зменшення поперечного перерізу стружкових канавок і, як наслідок, вони можуть виявитись недостатніми для вільного розміщення зрізаємої стружки та її відведення.

Машинні розвертки виконуються із рівномірним кроком зубців по колу, що може призводити до огранювання обробленого отвору. Тобто, до погіршення його якості.

1.2. Огранювання отвору при розгортанні

В процесі розгортання отвору, а саме під час обертання інструменту та зрізання шару металу, спостерігається негативне явище, огранювання отвору.

Огранювання – це відхилення від круглості, при якому отвір має багатогранну форму у поперечному перерізі (рис. 1.4). Огранювання призводить до зниження точності оброблюваного отвору.

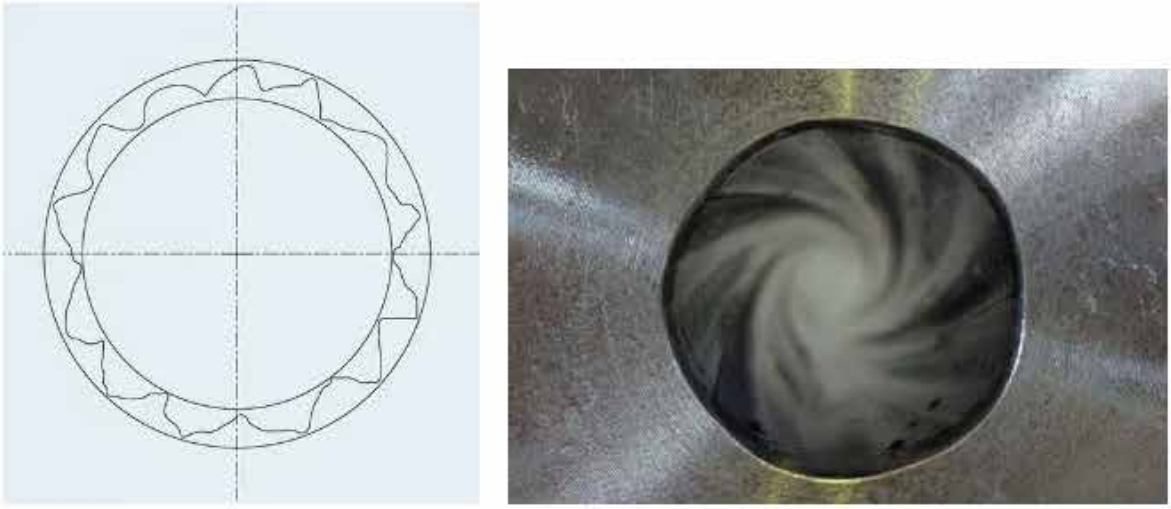


Рис. 1.4. Отвір з огранюванням

Як відомо, розгортання це чистова операція, яка виконується після свердління, розсвердлювання, зенкерування та ін. операцій механічної обробки. Свердла, зенкери та розвертки є кінцевим мірним інструментом. Особливістю свердління, зенкерування

та розгортання є: замкнутість системи діючих сил, обмеженість діаметру інструменту максимальним діаметром оброблюваного отвору, ускладнення процесу виведення стружки із зони різання, ускладнення подачі ЗОР в зону різання та ін. Японські вчені дослідили процес свердління отвору та встановили [13], що вібрація свердла викликає деформацію отвору, а саме відхилення від круглості (рис. 1.5).

Рис. 1.5. Вимірювання круглості отвору після свердління

В подальшому, цими вченими було досліджено процес розгортання отвору з точки зору відхилення форми отримуваного отвору [15]. Вони встановили, що на форму отвору впливає так звана самозбуджена вібрація (self-excited vibration), тобто, автоколивання.

Автоколивання – явище, яке виникає при механічній обробці металів різанням. Автоколивання виникають з початком різання та зникають при завершенні різання. В процесі різання виникають сили, які підтримують процес коливань.

Отже, огранювання отвору виникає через автоколивання, які можуть бути спричинені різними факторами:

- слідами від попередньої обробки (рис. 1.5). Такі сліди призводять до нерівномірності припуску, а отже, фактична глибина різання буде варіюватись;

- непостійністю наросту, що призводить до зміни в процесі різання кута різання і площі поперечного перерізу;

- непостійністю сил тертя стружки;

- неоднорідністю оброблюваного матеріалу. При неоднорідності матеріал характеризується наявністю твердих або м'яких включень. Неоднорідність матеріалу

призводить до періодичної зміни навантаження на зубці розвертки. При зустрічі зубців з такими включеннями розвертка буде відтискатись створюючи радіальні коливання, і при рівномірному розташуванні зубці будуть залишати в одному і тому ж місці більш ущільнені сліди на поверхні отвору у вигляді повздовжніх смуг;

- в момент різання на величину зусилля різання впливає пластична «застійна» зона, яка утворюється попереду леза інструменту перед передньою гранню;

- збільшення частоти обертання інструменту;

- відтисканням інструменту, яке спричинене зміною сили різання, а саме її складовою Ру.

Стандартні розвертки виконуються із зубцями з рівномірним коловим кроком. Через автоколивання під час процесу розгортання виникає огранювання обробленого отвору. Під дією одного або декількох факторів автоколивань відбувається відтискання інструменту і вісь розвертки обертається навколо осі отвору, що в свою чергу, спричинює появу огранювання. У роботі [16] встановлено, що при обертанні розвертки з N зубцями за годинниковою стрілкою, утворюється похибка отвору огранювання з N-1 гранями, при обертанні розвертки у зворотному напрямку – огранювання з N+1 гранями. Характерною рисою огранювання є те, що автоколивання припиняються тільки після зупинки процесу різання. Отже, виникають повторні коливання по сліду попереднього зубця і огранювання зберігається по всій довжині отвору у будь-якому його поперечному перерізі (рис. 1.6).

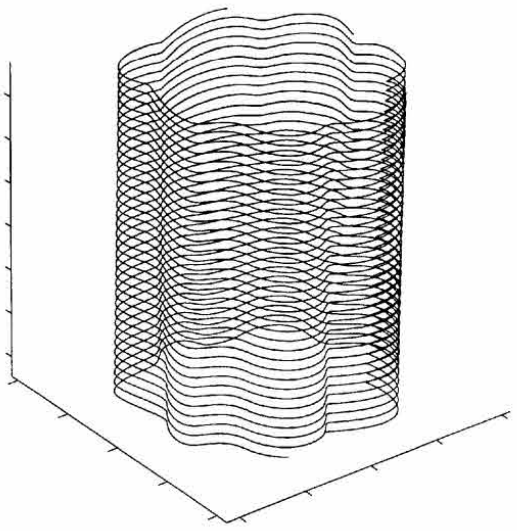


Рис. 1.6. Вимірювання огранювання отвору після розгортання стандартною розверткою

1.3. Постановка задач дослідження

В роботі необхідно виконати аналіз способів зменшення або усунення огранювання отворів. Виконати пошук розверток, що ефективно борються з виникненням огранювання за рахунок своїх конструктивних особливостей.

Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення корпусу, виявити його переваги та недоліки, розробити прогресивний технологічний процес із застосуванням операцій розгортання отворів, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти, розрахувати припуски, режими різання та норми часу.

Визначити шляхи зменшення або усунення огранювання отворів. В залежності від визначених шляхів, розробити удосконалену конструкцію розвертки для обробки отворів деталі корпус, яка здатна зменшити явище огранювання отвору. Виконати економічні розрахунки.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ ІЗ ОГРАНЮВАННЯМ ОТВОРІВ

2.1. Варіанти боротьби із огранюванням отворів

Для ефективної боротьби з огранюванням отвору під час розгортання необхідно зменшити або усунути вібрації, які виникають в процесі різання.

Заходами боротьби з вібрацією можуть бути: підвищення жорсткості елементів системи верстат-пристосування-інструмент-деталь (ВПІД), коригування режимів різання, застосування віброгасників, вибір найбільш доцільної ЗОР, підбір матеріалу заготовки, оптимізація геометрії різальної частини розвертки та ін.

Підвищення жорсткості елементів системи верстат-пристосування-інструмент-деталь (ВПІД) ускладнює виникнення вібрацій та автоколивань. Необхідно намагатись ліквідувати зазори в напрямних та підшипниках, забезпечувати надійне встановлення затискного пристрою на відповідних поверхнях верстату, здійснювати надійне та точне закріплення оброблюваної деталі в пристрої, забезпечувати надійне закріплення розвертки в плаваючому патроні.

Параметри режимів різання в різний спосіб впливають на утворення огранювання. Наприклад, збільшення частоти призводить до збільшення огранювання [14]. Збільшення швидкості різання при розгортанні розвертками із твердосплавними пластинами призводить до підвищення стійкості обробки та має позитивний вплив на якість поверхні обробленого отвору. При застосуванні розверток зі швидкорізальної сталі, підвищення швидкості різання має негативний вплив на стійкість різання.

Віброгасники або демпфери дозволяють різко зменшити коливання в системі. Демпфірування вібрації – це зменшення рівня вібрації шляхом розсіювання механічної енергії. Демпфери бувають ударної дії та динамічні.

Геометричні параметри розвертки мають великий вплив на формування точності та якості обробленого отвору. Вібростійкість розверток можна збільшити за рахунок: нерівномірності колового кроку розташування зубців, підбором оптимального кута

при вершині, передніх та задніх кутів, підвищення динамічної стійкості, збільшення жорсткості інструмента, покращення умов сходу стружки та ін.

В подальшому, для дослідження процесу розгортання, роботу вирішено присвятити саме конструктивним геометричним параметрам розвертки з метою зменшення або усунення огранювання для покращення точності отворів.

2.2. Відомі конструкції розверток для усунення огранювання отвору

Аналіз відомих конструкцій розверток проводимо на основі патентного пошуку та наукових публікацій по даному напрямку.

Японськими вченими досліджено вплив геометрії розвертки на формування огранювання отвору [15] та практичним шляхом перевірено ці гіпотези [9]. Для дослідження були використані 4 розвертки із 8 різальними лезами: одна стандартна та 3 розвертки із нерівномірним кутовим кроком розташування зубців по колу, кожна з яких мала різні кутові кроки. Матеріал заготовки сірий чавун СЧ25, діаметр отвору 12 мм, довжина 36 мм.

Було виявлено, що розгортка зі звичайним кроком має найбільшу нестабільність через автоколивання. Чітко прослідковується огранювання отвору обробленого такою розверткою, відхилення форми профілю становить 2 мкм (рис. 2.1, а).

Розвертки з нерівномірним кроком розташування зубців забезпечують меншу амплітуду та дисперсію профілю огранювання. Це стосується саме збалансованих розверток, тобто таких, у яких сума векторів сил різання у двох площинах рівна.

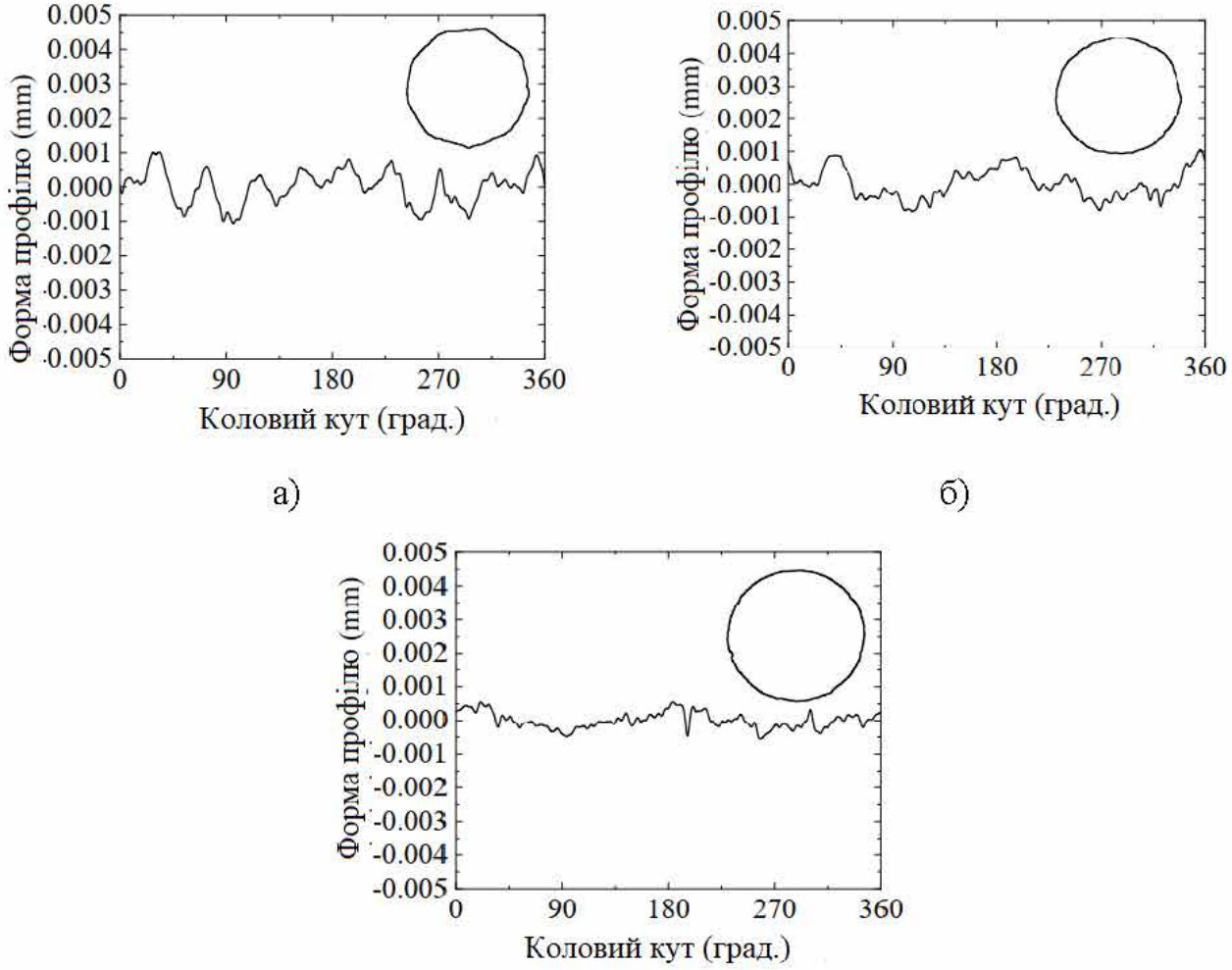


Рис. 2.1. Виміряні значення круглості отворів оброблені розіерткою:
а) із рівнмірними кутами 45°; б) з кутами 30°, 40°, 70°, 40°, 35°, 65°, 45°, 35°;
в) з кутами 30°, 40°, 30°, 40°, 65°, 55°, 50°, 50° або 30°, 57°, 46°, 47°, 37°, 64°, 48°, 31°

Розвертка (авторське свідоцтво 749582) характеризується нерівномірним кутовим кроком розташування зубців по колу. При цьому, значення кутових кроків непарних зубців розвертки зростають від мінімального до середнього значень, а парних – зменшуються від максимального до середнього.

Мінімальний кутовий крок визначається за формулою:

$$\Delta\Theta_{min} \geq \frac{2\pi}{z^2}$$

де z – число зубців.

Максимальний кутовий крок визначається за формулою:

$$\Delta\Theta_{max} = \Delta\Theta_{min}\left(\frac{z}{2} - 1\right)$$

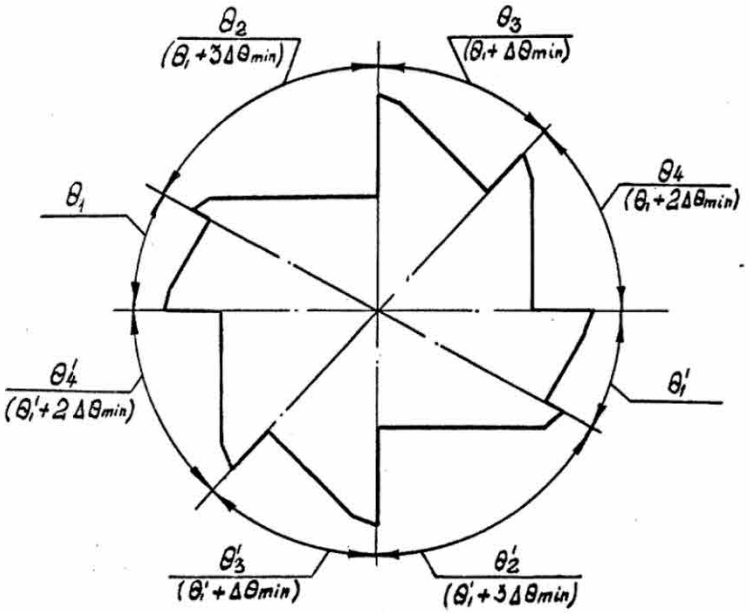


Рис. 2.2. Розвертка зі спадаючими та зростаючими кутовими кроками

Дана конструкція розвертки забезпечує усунення огранювання за рахунок того, що ступінь демпфірування радіальних коливань по координатам X та Y однаковий, тобто, сума проекцій складових сил різання на вісь X дорівнює або наближена до суми проекцій складових сил різання на вісь Y.

Переваги: усунення огранювання отвору.

Недоліки: подача на різні зубці розвертки різна за рахунок чого відбувається погіршення шорсткості обробленої поверхні.

Розвертка (рис. 2.3) [4] з нерівномірним розподілом зубців z по колу з чергуванням зростаючих і спадних кутових кроків.

Недолік попередньо розглянутої розвертки усунуто за рахунок того, що кожна наступна пара зубців з однієї діаметральної площини розташована на певній відстані від попередньої пари зубців по осі розвертки, що забезпечує однакову подачу S_0 на кожен зуб.

Автори [4] пропонують розвертку з нерівномірним кроком розташування зубців по колу, яка має такі кути: 36°, 54°, 42°, 48°, 36°, 54°, 42°, 48°.

Відстань по осі розвертки визначається для кожної пари діаметрально протилежних зубців відповідно: 0, $S_0/20$, $S_0/60$, $S_0/30$.

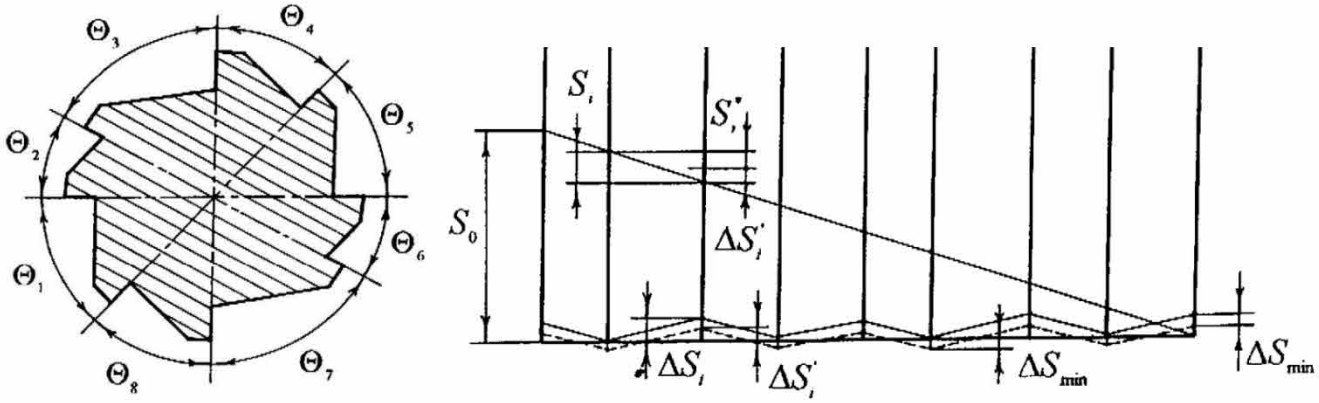


Рис. 2.3. Розвертка зі спадаючими та зростаючими кутовими кроками

Переваги: усунення огранювання отвору, більш низька шорсткість.

Недоліки: для забезпечення рівномірної подачі на зубці розвертки необхідне переточування задньої поверхні на розмір:

$$\Delta S_i = \frac{S_0}{2}(\Theta_i - \Theta_{min})$$

Відома розвертка [16] з нерівномірним кроком розташування зубців по колу, яка має 6 зубців. Сума векторів сил зубців такої розвертки розбалансує її. За рахунок нерівномірності кроку виникає дисбаланс сил, які діють на розвертку. Дисбаланс сил призводить до зміщення осі інструмента відносно оброблюваного отвору, що викликає розбивку отвору, тобто діаметр готового отвору може перевищити допустимий. Так, як саме нерівномірність кроку зубців забезпечує відсутність огранювання, усунення дисбалансу сил вирішене за рахунок передніх кутів розвертки (рис. 2.4).

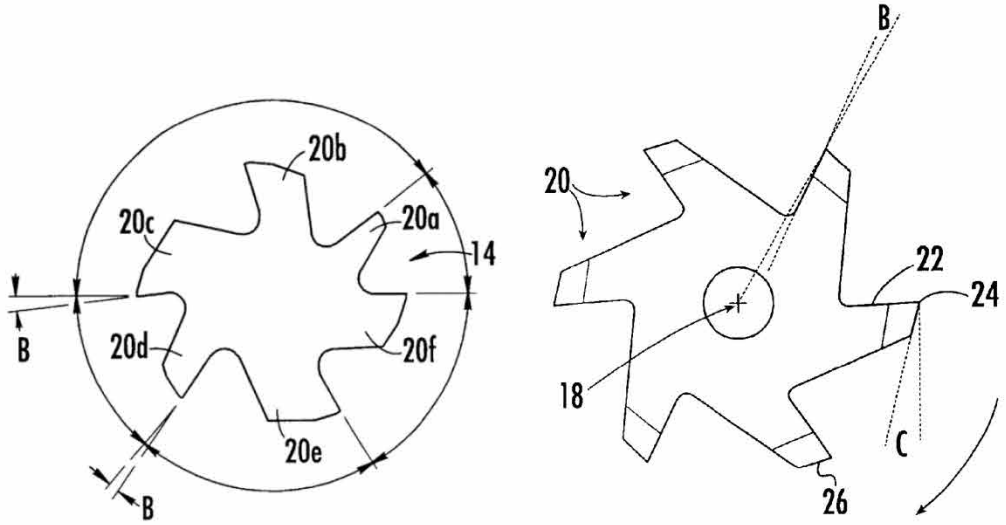


Рис. 2.4. Розвертка із різними значеннями передніх кутів

На кожен зубець впливає сила різання, яка характеризується величиною та напрямком, що визначає вектор сили різання. З-поміж інших факторів, передній кут зуба розвертки визначає вектор сили різання кожного зуба. Результуючий вплив на розвертку визначається сумою сил різання, які діють на зубці.

Зміна переднього кута впливає, як на величину, так і на кут результуючої сили різання. Вплив переднього кута на величину результуючої сили відносно невеликий у порівнянні з впливом на кут. На рисунку 2.5 зображені вектори сил різання. Вектори 50 це вектори сил різання незбалансованої розвертки із нерівномірним кроком розташування зубців по колу із передніми кутами зубців 0^0, а 51 – вектори сил різання збалансованої розвертки, яка має різні передні кути.

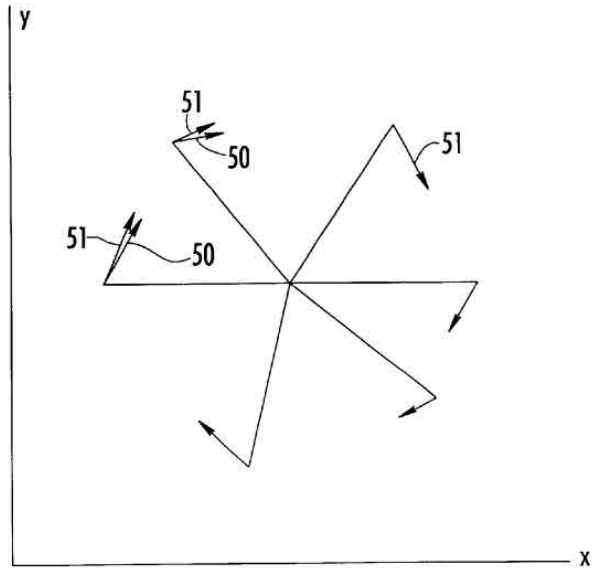


Рис. 2.5. Вектори сил різання:
50 – незбалансовангої розвертки; 51 – збалансованої розвертки

Для усунення дисбалансу, сума векторів сил різання повинна бути приблизно збалансована у двох площинах, передні кути проектуються взаємноузгоджено.

Автори [16] пропонують розвертку з нерівномірним кроком розташування зубців по колу, яка має такі кути: 57°, 73°, 50°, 77°, 64°, 39°. Два передні кути В мають значення 6° та 7°. Таким чином, передні кути розвертки: 0°, 0°, 6°, 7°, 0° и 0°. Задні кути розвертки С 14°-16°.

За рахунок підбору передніх кутів у розвертці з нерівномірним кроком розташування зубців по колу, зменшено складові результуючої сили різання по осях

X та Y до 0,3H. Для незбалансованої розвертки дані показники були в межах 7H, що призводило до суттєвого зміщення інструменту під час розгортання та до розбивки отвору.

Переваги: усунення огранювання отвору.

Недоліки: заточування передніх кутів на різну величину.

Відома розвертка (рис. 2.6) [17] з нерівномірним кроком розташування зубців по колу. Особливістю конструкції є наявність ступінчастої забірної частини, яка формується поверхнями 5, 6 та 9. За рахунок наявності ступінчатої різальної кромки, припуск зрізається не весь одночасно, а розділяється на дві частини. Калібруюча частина містить різальні кромки 8.

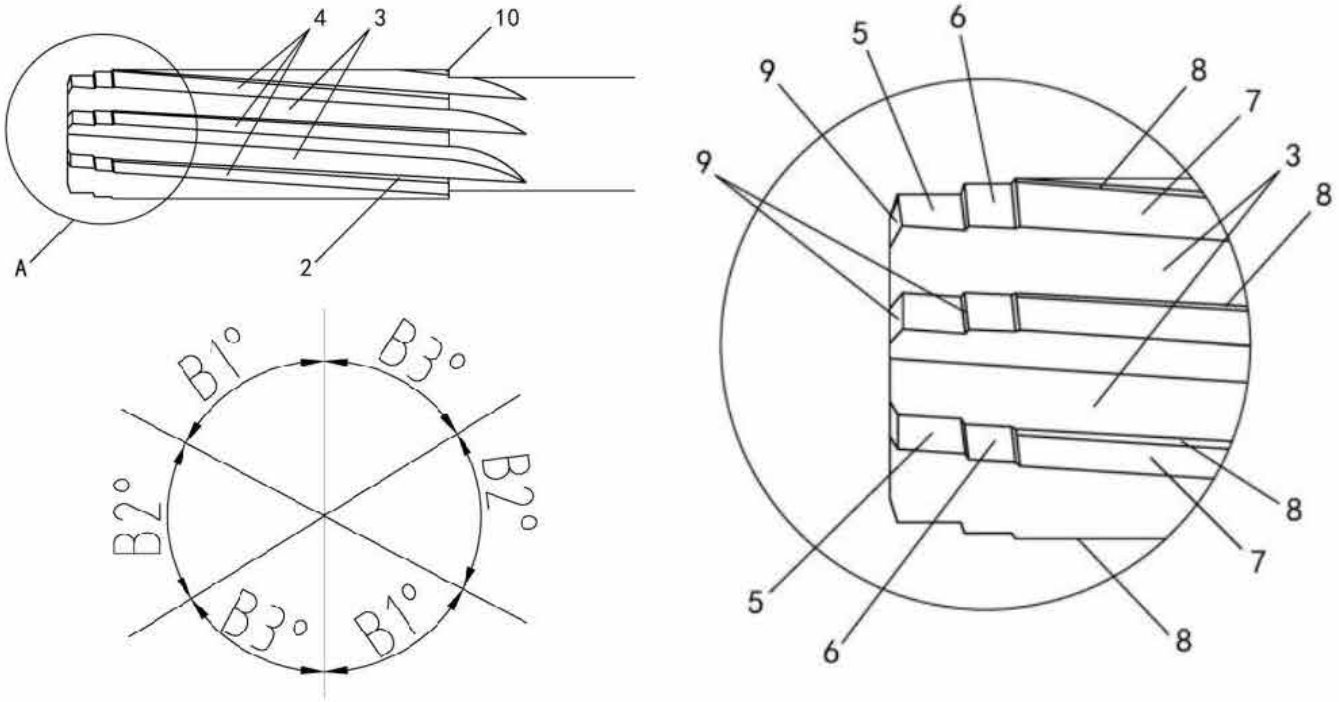


Рис. 2.6. Розвертка

Сума кутів B1+B2+B3=180^0, кожен кут менше 70^0.

Переваги: усунення огранювання отвору, розділення припуску на декілька проходів.

Недоліки: виготовлення різальних лез ступінчастої форми.

Відома конструкція розвертки [18] з нерівномірним кроком розташування зубців по колу. Головними особливостями даної розвертки є: всі кути між сусідніми різальними кромками є різними; ширина задньої поверхні кожної різальної кромки є

різною, а також кожна задня поверхня є багатогранною та має декілька задніх кутів; різальні кромки мають ступінчасту будову.

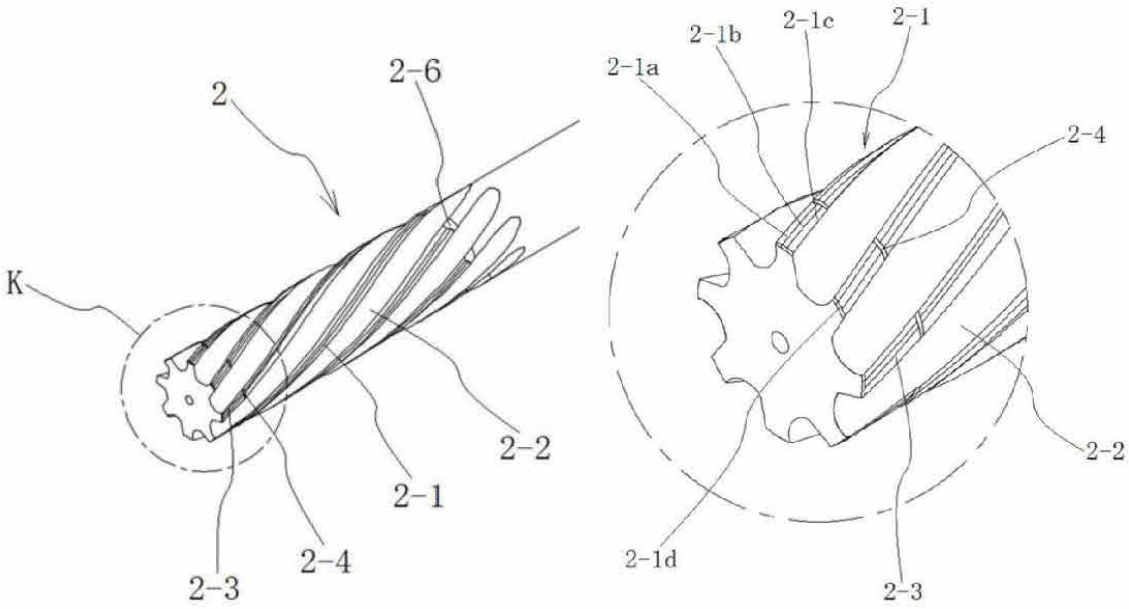


Рис. 2.7. Розвертка

Дана розвертка має ступінчасту різальну кромку (поз. 2-4 рис. 2.7) завдяки якій можна збільшувати припуск під розгортання.

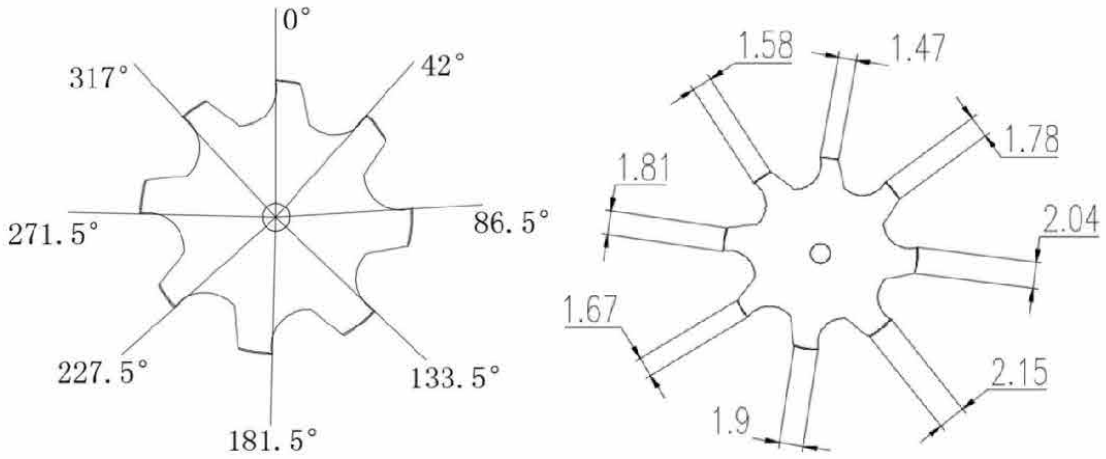


Рис. 2.8. Схема нерівномірності кроку зубців розвертки

Значення кутів між двома сусідніми ріжучими кромками є десятковими та становлять відповідно: 42°, 44,5°, 47°, 48°, 46°, 44°, 45,5° та 43°. Ширина задньої поверхні кожної різальної кромки має узгоджене правило зміни та для даної розвертки становить: 1,47 мм, 1,78 мм, 2,04 мм, 2,15 мм, 1,9 мм, 1,67 мм, 1,81 мм и 1,58 мм.

Через несиметричну конструкцію частота вібрації кожної ріжучої кромки різна, резонанс у процесі різання кожною ріжучою кромкою зменшується.

Для покращення процесу відводу стружки дана конструкція розвертки має збільшений простір для стружки, тобто міжзубової западини. Збільшення міжзубової западини досягнуто за рахунок форми задньої поверхні. Задня поверхня є багатогранною та має декілька задніх кутів – 2-1a, 2-1b та 2-1c (рис. 2.7). Кут 2-1a складає 2°, грань має ширину 0,08 мм, кут 2-1b - 12°, ширина грані 0,42 мм, кут 2-1c - 22°.

Переваги: усунення огранювання отвору, стабільність різання.

Недоліки: певна складність у заточуванні задніх кутів.

Циліндрична розвертка (авторське свідоцтво 68799) має кільцеву канавку, яка ділить зубці по довжині на дві ділянки. Перша ділянка призначена для попереднього розгортання, а друга – для кінцевого зняття матеріалу.

Розвертка (рис. 2.9) складається з двох ділянок 1 і 2, зубці яких розділені по довжині кільцевою канавкою 3. Зубці ділянки 1 мають забірну частину для зняття основного припуску, а зубці ділянки 2 розміщені на калібруючій частині. Різання на другій ділянці зубців розвертки відбувається торцевими передніми кромками.

Дана розвертка призначена для обробки отворів в тонкостінних деталях. Пружні деформації тонкостінного матеріалу призводять до похибки геометричної форми. Після розгортання звичайною розверткою тонкостінної заготовки в результаті дії сил пружного відновлення відбувається зменшення розмірів оброблюваного отвору.

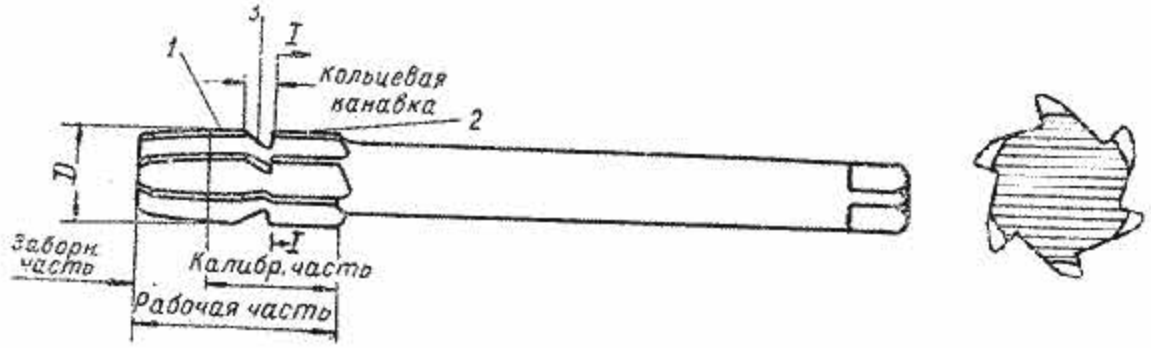


Рис. 2.9. Циліндрична розвертка з кільцевою канавкою

Переваги: підвищення точності та якості обробки.

Недоліки: підвищений знос інструменту в точці переходу забірної частини в калібруючу.

Розвертка [6] містить зубці, які мають різний кут нахилу. Приріст кута може бути від 40° до 60°. Така конструктивна особливість забезпечує відсутність збігу траєкторій від попередніх і подальших зубів у процесі різання. Різнонахиленість зубців створює умови безперервності контакту різальної частини розвертки із поверхнею оброблюваного отвору, відбувається замкнутість різальної кромки по зовнішній поверхні розвертки.

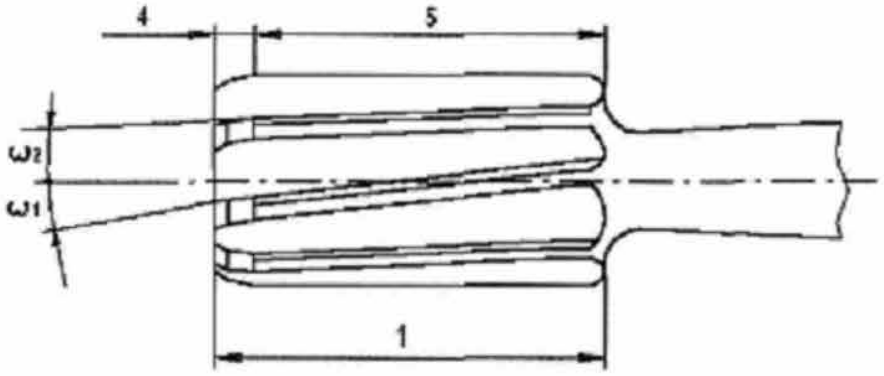


Рис. 2.10. Розвкртка

Переваги: підвищення точності та вібростійкості обробки.

Розвертка [12] має у своїй будові гвинтові зубці, які в різних поперечних перерізах інструменту мають різний кут нахилу суміжних зубців (рис. 2.11).

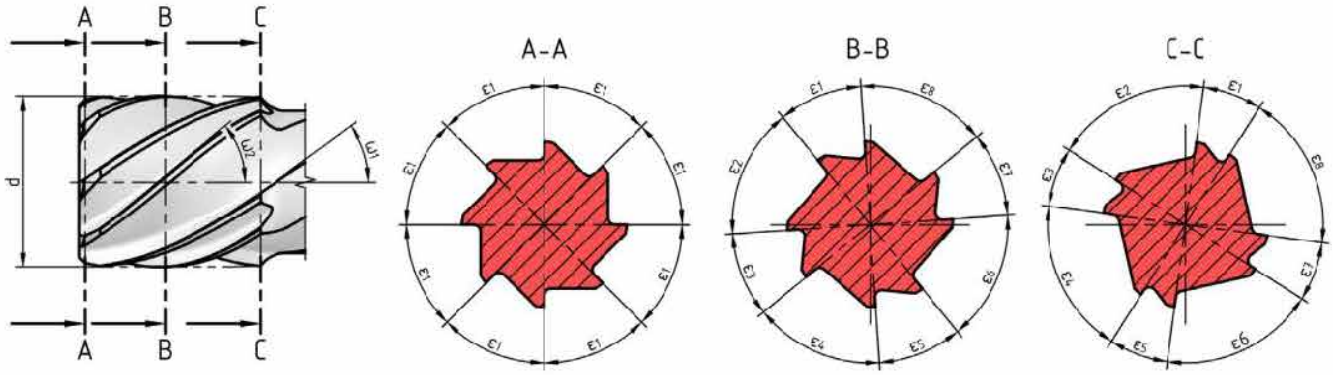


Рис. 2.11. Розвертка з гвинтовими зубцями

На забірній частині розвертки (переріз А-А рис. 2.11) зубці розміщені з рівномірним кутовим кроком, забезпечуючи однаковий переріз зрізаємого шару металу. Принцип нерівномірності кутових кроків прослідковується в поперечних

перерізах В-В та С-С (рис. 2.11) де різальні кромки лез змінюють свій початковий кут (40°) на ±4°...6°. Послідовна зміна форми різальних кромок забезпечує неспівпадіння слідів від рухів послідовно розташованих зубців на поверхнях різання. Отже, копіювання рельєфу не відбувається, тобто, огранювання відсутнє.

Переваги: підвищення точності та вібростійкості обробки.

Недоліки: через малий поперечний переріз деяких стружкових канавок на калібруючій частині стружка в них може забиватись.

Розвертка (патент 196675) має змінний задній кут в межах довжини зубця. В початковій точці 12 різальної кромки (рис. 2.12) головний задній кут наближається до 0^0, далі, прямуючи до точки найбільшого діаметру розвертки цей кут збільшується в межах глибини різання. Різання виконується гранями 4 та 13. Різальна кромка 4 утворена перетином передньої грані 5 та головної задньої грані 2. Кромки 4 зубців розвертки зрізають приблизно 75% припуску під розгортання. Грані, що знаходяться за кромками 13, мають задній кут рівний 0^0, що допомагає демпфірувати вібрації.

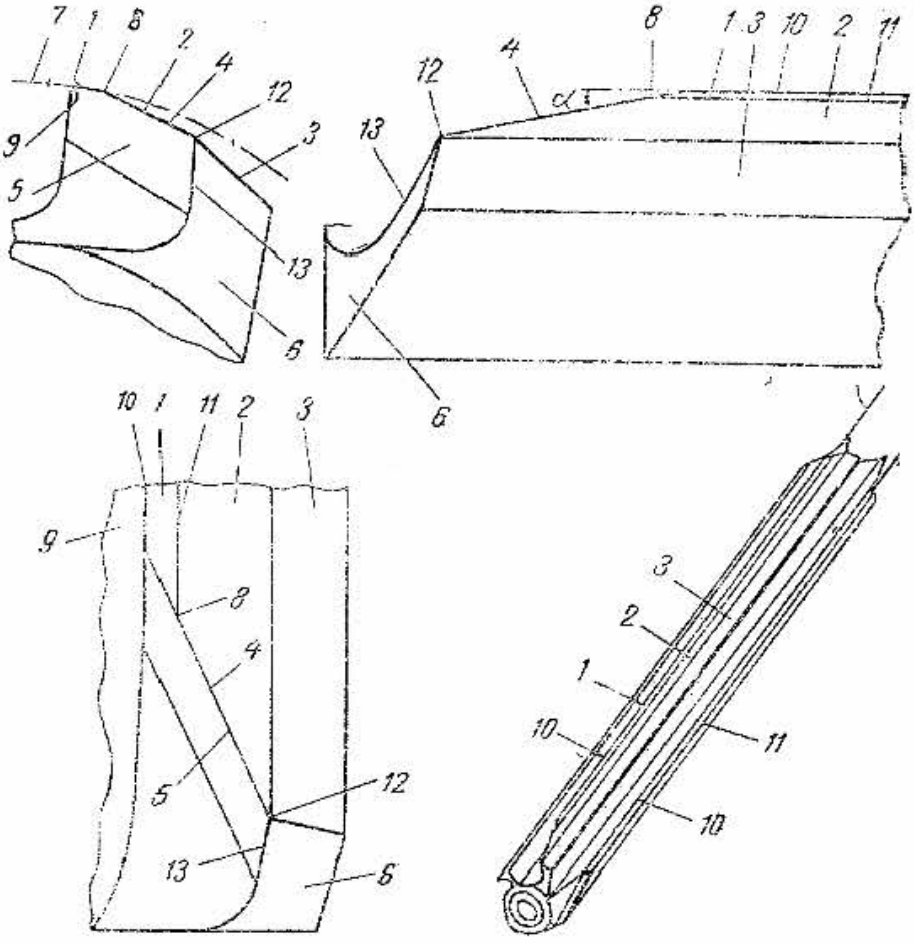


Рис. 2.12. Головний вид, вид збоку та вид в плані на ріжучі елементи розвертки

Переваги: усунення огранювання отвору, збільшення глибини різання і точності обробки.

Зенкер-розвертка [5], яка відноситься до комбінованого різального інструменту усуває огранювання отвору завдяки плаваючому механізму встановлення розвертки в корпусі інструмента. Викликане зенкером огранювання отвору розвертка усуває за допомогою механізму радіального переміщення (рис. 2.13). Тобто, копіювання похибок, що утворилися при обробці отвору зенкером, не відбувається.

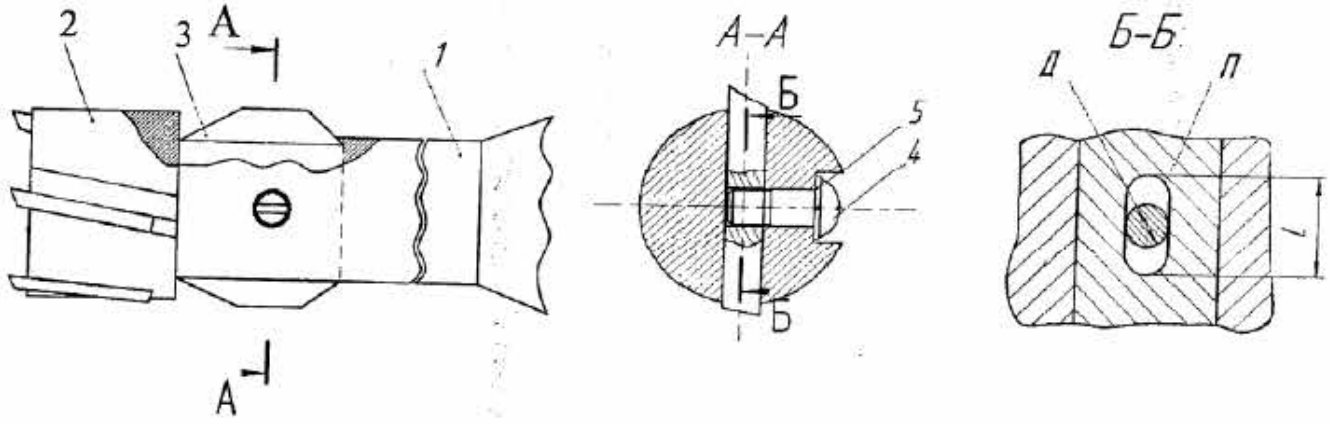


Рис. 2.13. Зенкер-розвертка

Можливість вільного переміщення розвертки в радіальному напрямку забезпечує зменшення похибку зсуву осі інструменту відносно осі оброблюваного отвору.

Переваги: зменшення похибки зсуву осі обробленого отвору; підвищення точності обробленого отвору.

2.3. Висновки

Виконано аналіз методів та способів уникнення утворення огранювання отворів в процесі розгортання. Проаналізовано вплив режимів різання, а також застосування віброгасників та підвищення жорсткості елементів системи верстат-пристосування-інструмент-деталь на утворення огранювання.

Виконано пошук розверток, що ефективно борються з виникненням огранювання за рахунок своїх конструктивних особливостей. Розглянуто відомі конструкції розверток та детально описано в чому полягають відмінності таких інструментів від стандартних.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС

3.1. Службове призначення та характеристика корпусу

До складу апарату висіваючого (рис. 3.1) сівалки входить деталь корпус (рис. 3.2).

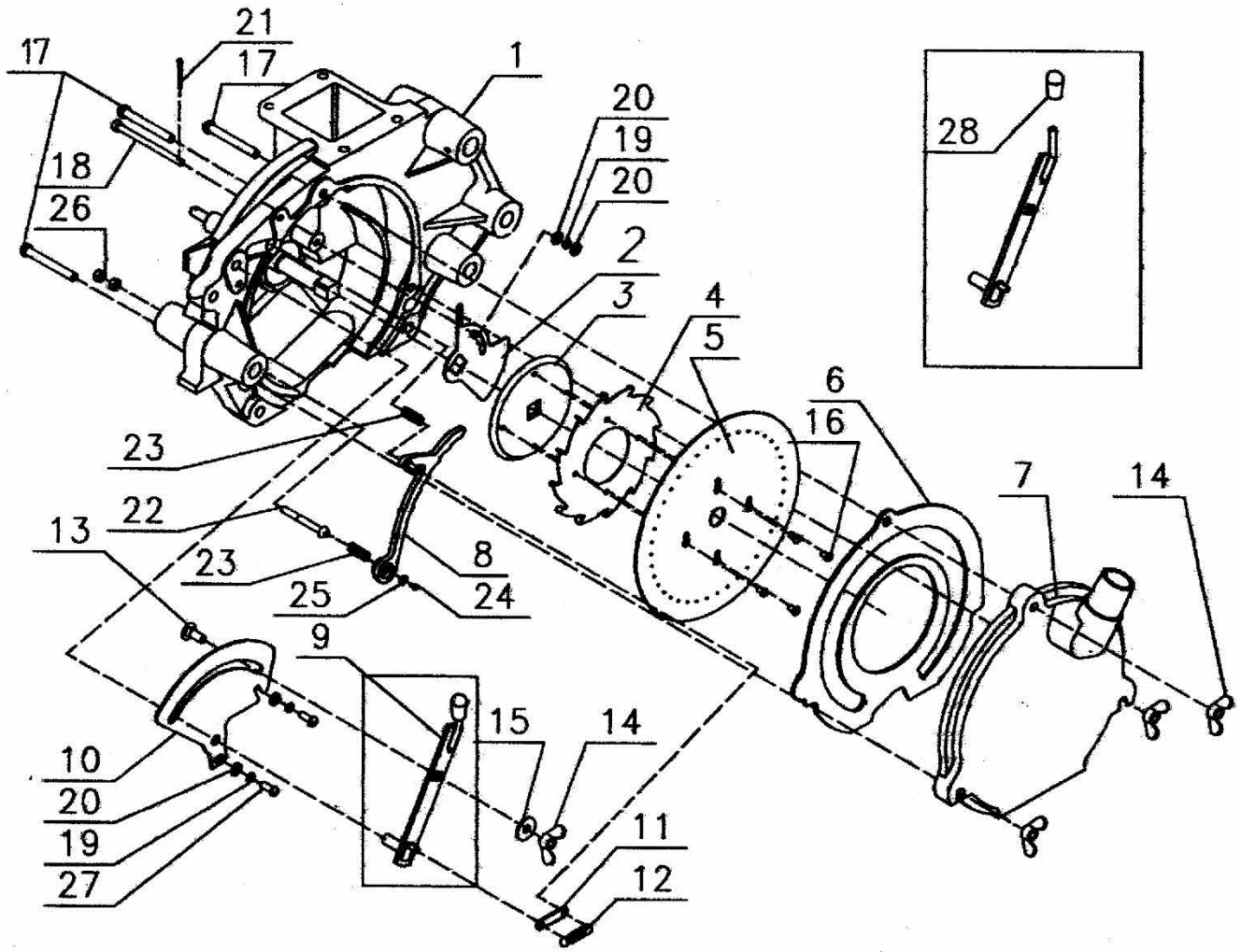


Рис. 3.1. Апарат висіваючий:

1 – корпус; 2 - заслінка; 3 - фланець; 4 - ворушилка; 5 - диск; 6 - прокладка; 7 - кришка; 8 - зкидувач; 9 - ручка; 10 - циферблат; 11 - планка; 12 - пружина; 13 - болт; 14 - гайка; 15 - шайба; 16 - гвинт; 17 - гвинт; 18 - болт; 19 - шайба; 20 - шайба; 21 - шплінт; 22 - штир; 23 - пружина; 24 - гвинт; 25 - шайба; 26 - гайка; 27 - гвинт; 28 - накінечник

Апарат висіваючий призначений для подачі насіння та гранульованих добрив під час посіву. Основними його складовими є : корпус, кришка, ворушилка, диск.

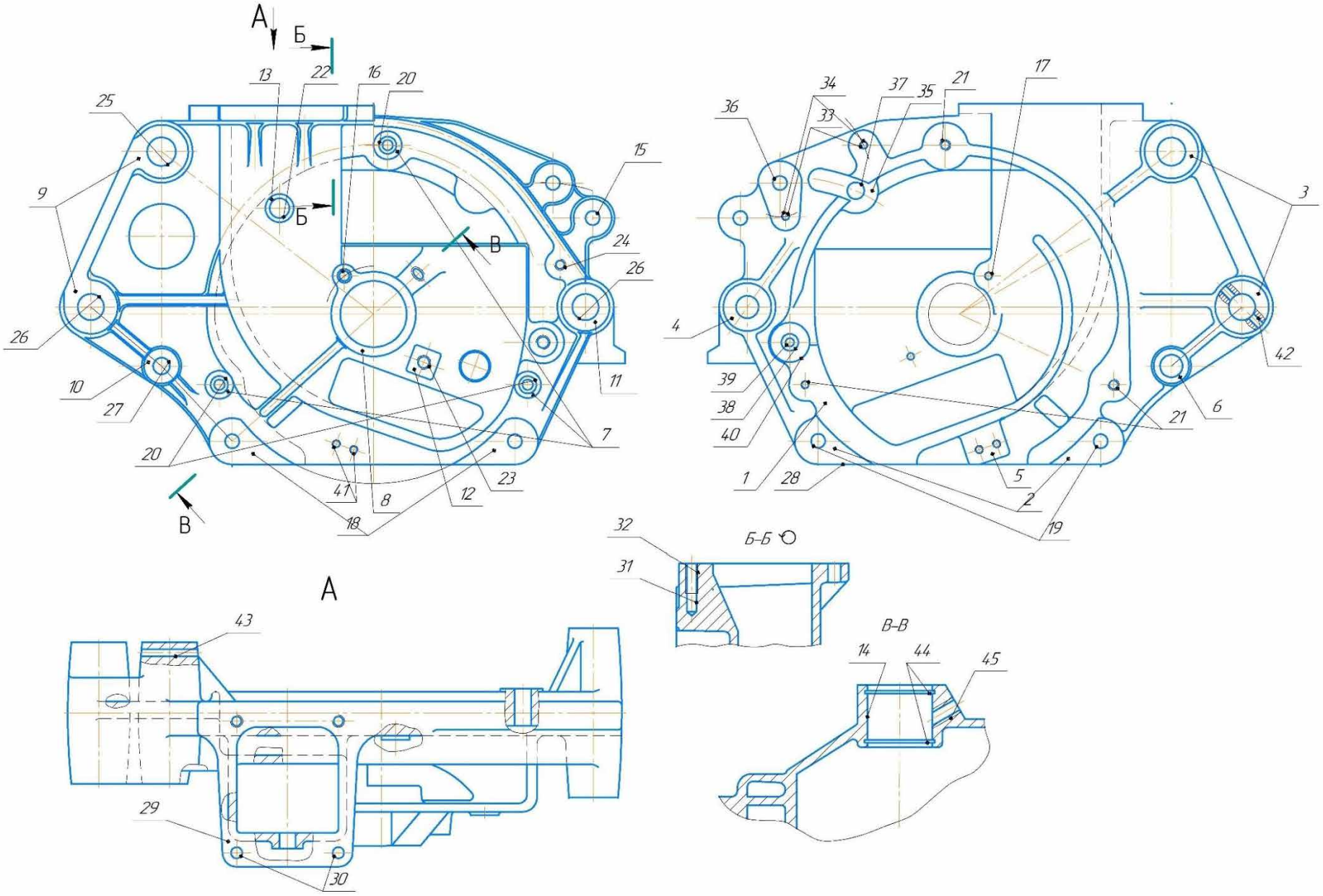


Рис. 3.2. Ескіз корпусу

Деталь корпус - це базова деталь апарату висіваючого. Корпус призначений для розміщення та відповідного орієнтування різних деталей, що входять до його складу. Корпус має основні, базові поверхні, які визначають його положення у виробі та допоміжні, які визначають положення інших деталей, що розміщуються в корпусі: поверхні під кришки, опори валів і т. п.

Задана точність на виготовлення деталі корпус та шорсткість її поверхонь відповідає умовам, які необхідні для довгої та надійної експлуатації вузла.

Функціональними поверхнями, тобто такими, які вирішують службове призначення деталі, є площина 1 (рис. 3.2).

Площини 1, 28 та 29 основними поверхнями які визначають положення деталі у складальній одиниці.

Допоміжними поверхнями є: отвори 14, 20, 25, 26 та різьбова поверхня 23. Вони визначають положення деталей, що приєднуються.

3.2. Розробка технології виготовлення корпусу

Аналіз точності та технологічності

Точність виготовлення поверхонь корпусу визначається їх функціональним та службовим призначенням.

На рис. 3.2 представлено спрощений ескіз деталі корпус з вказівкою поверхонь, які оброблюються: 1-45.

В табл. 3.1 представлені Параметри точності та шорсткості деталі корпус наведено в таблиці 3.1.

Найбільш точними поверхнями деталі корпус є внутрішні циліндричні поверхні: отвір 14 $\varnothing 47^{+0.007}_{-0.018}$ шорсткість Ra 1,25; отвір 22 $\varnothing 10^{+0,009}$ шорсткість Ra 0,8; отвір 25 $\varnothing 20^{+0,013}$ H6 шорсткість Ra 0,8; отвір 26 $\varnothing 16^{+0,018}$ H7 шорсткість Ra 0,8; отвір 27 $\varnothing 12^{+0,018}$ H7 шорсткість Ra 0,8; отвір 36 $\varnothing 10^{+0,009}$ шорсткість Ra 0,8.

Інші поверхні деталі мають невисокі квалітети точності: B12, H14, h14 та шорсткість Ra 3,2...12,5.

Деталь має складну конфігурацію обумовлену конструкційними вимогами, включаючи велику кількість різних поверхонь: бонок, площин, внутрішніх циліндричних поверхонь, різьбових поверхонь.

Аналіз технічних вимог показав, що відливка має радіуси не більше 6 мм; в місцях переходу поверхонь Т допускаються технологічні ребра товщиною 1...1,5 мм, висотою 1...1,5 мм, кроком 3 мм; невказані граничні відхилення розмірів: Н14, ±t2/2.

До нетехнологічних поверхонь можна віднести канавки 44, які розміщенні в отворі 14, отвори 42 та 45.

Таблиця 3.1

Параметри точності деталі

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення	Точність форми	Шорсткість поверхні
1	2	3	4	5	6	7
1	площина	30±0,2	-			6,3
2	бонка	$36_{-0,3}$	-			12,5
3	бонка	69±0,3	-			12,5
4	бонка	$79_{-0,5}$	-			12,5
5	площина	$17^{+0,2}$	-			3,2
6	бонка	37±0,5	-			12,5
7	бонка	$36_{-0,3}$	-			6,3
8	бонка	77±0,2	-			12,5
9	бонка	31±0,3	-			12,5
10	бонка	31±0,3	-			12,5
11	бонка	$41_{-0,5}$	-			12,5
12	площина	$67^{+0,5}$	-			12,5
13	бонка	$78_{-0,5}$	-			12,5
14	отвір	$\varnothing 47^{+0.007}_{-0.018}$	К7			1,25
15	отвір	$\varnothing 10,5^{+0,11}$	-			1,25
16	отвір	$\varnothing 7^{+0,36}$	Н14			12,5
17	Внутрішня різьбова	М6	6Н			12,5

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
18	бонка	26±0,25	-			12,5
19	отвір	$\varnothing 11^{+0,43}$	H14	⌖ ⌀ 0,5 Ⓜ		6,3
20	отвір	$\varnothing 9^{+0,36}$	H14			12,5
21	Внутрішня різьбова	M8	6H			
22	0твір	$\varnothing 10^{+0,009}$	-			0,8
23	Внутрішня різьбова	M6	6H			
24	Внутрішня різьбова	M6	6H			
25	отвір	$\varnothing 20^{+0,013}$	H6		-	0,8
26	отвір	$\varnothing 16^{+0,018}$	H7		-	0,8
27	отвір	$\varnothing 12^{+0,018}$	H7		-	0,8
28	площина	105±0,5	-			12,5
29	площина	250^{+1}	h14			12,5
30	отвір	$\varnothing 9^{+0,36}$	H14	⌖ ⌀ 1 Ⓜ		12,5
31	отвір	$\varnothing 6,7^{+0,26}$	-			6,3
32	Внутрішня різьбова	M8	6H			6,3
33	отвір	$\varnothing 4,95^{+0,2}$	-			6,3
34	Внутрішня різьбова	M6	6H			
35	Площина	$23_{-0,4}$	-			12,5
36	отвір	$\varnothing 10^{+0,009}$	H6			0,8
37	отвір	$\varnothing 12^{+0,43}$	H14			12,5
38	Отвір	$\varnothing 12^{+0,43}$	H14			12,5
39	отвір	$\varnothing 6^{+0,3}$	H14			6,3
40	отвір	$\varnothing 28^{+0,52}$	H14			6,3
41	Внутрішня різьбова	M6	6H			
42	отвір	$\varnothing 5^{+0,3}$	H14			6,3
43	отвір	$\varnothing 5^{+0,3}$	H14			6,3
44	канавка	$1,9^{+0,14}$ $\varnothing 49,5^{+0,25}$	H13 H14			3,2 6,3
45	Внутрішня різьбова	M10x1	6H			6,3

Аналіз базового технологічного процесу

Технологічний процес механічної обробки деталі корпус складається із 40 основних операцій. Характерними для даного технологічного процесу є високий ступінь диференціації операцій. В технологічному процесі поруч із новим обладнанням застосовується багато застарілих моделей обладнання. З метою забезпечення концентрації операцій, скорочення номенклатури та кількості застосовуваного обладнання, а також підвищення гнучкості технологічного процесу, в проектуємому технологічному процесі планується раціональне застосування оброблювальних центрів з ЧПУ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи замість універсальних свердлильних, фрезерних та різьбонарізних верстатів. Це дасть можливість обробити поверхні деталі на 2-3-х верстатах даного типу, що в свою чергу приведе до підвищення гнучкості, скорочення штучного часу обробки, скорочення кількості верстатів, виробничих площ, затрат електроенергії, робітників і т. п., тобто до зниження собівартості виготовлення деталі.

Запропоновані зміни дадуть можливість підвищити гнучкість виробництва, що важливо в умовах сучасного ринку.

Вибір заготовки

Враховуючи конструктивну форму корпусу та його службове призначення обираємо метод отримання заготовок – відливання під тиском, а матеріалом деталі – алюмінієвий сплав АК12М2.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу наведено в таблицях 3.2 та 3.3 відповідно.

При відливанні під тиском порожнина металічної прес-форми заповнюється розплавленим металом з великою швидкістю та відбувається його кристалізація під тиском.

Таблиця 3.2

Хімічний склад матеріалу деталі корпус

Марка матеріалу	Вміст елементів, %								
	C	Mn	Si	S	P	Mg	Cu	Cr	Ti
АК12М2	-	-	10-12	-	-	-	1,5-3,5	-	0,05-0,2

Таблиця 3.3

Механічні властивості матеріалу деталі корпус

Марка матеріалу	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ	ψ	НВ
	МПа		%		
АК12М2	170	-	0,5	-	85

Такий вид отримання заготовки дозволяє відливати складні, близькі по конфігурації до готових деталей заготовки. Коефіцієнт використання матеріалу заготовок досягає 0,95...0,98.

Вибір методів обробки поверхонь

Поверхні деталі, які підлягають неодноразовій механічній обробці мають маршрут обробки. Визначений маршрут обробки повинен забезпечувати необхідні показники точності та шорсткості, які вказані на кресленні деталі.

Для визначення більш доцільного та точного маршруту обробки окремої поверхні, виконуємо порівняння двох маршрутів.

Розрахунок проводимо для поверхні 14, яка підлягає неодноразовій мезанічній обробці. Результати розрахунку заносимо в таблицю 3.4.

Допуск на деталь становить $\delta_д$ = 0,025 мм, шорсткість 1,6 мкм, а допуск на заготовку $\delta_з$ = 1,6 мм.

Вибираємо два маршруту обробки поверхні.

Перший маршрут складається з: свердління, розточування попереднього, розточування кінцевого, розвертання попереднього, розвертання кінцевого.

Другий маршрут складається з: свердління, зенкерування попереднього, зенкерування кінцевого, розвертання попереднього, розвертання кінцевого.

Загальне уточнення розраховуються за формулою:

$$\varepsilon_з = \delta_з/\delta_д$$

Загальне уточнення дорівнює $\varepsilon_{заг}$ = 64.

Розраховуємо фактичне уточнення за формулою:

$$\varepsilon_ф = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4$$

Для першого варіанту $\varepsilon_{ф1}$ = 64,03; для другого $\varepsilon_{ф2}$ = 63,85.

Таблиця 3.4

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням $\delta_к$, мм	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск на заготовку поверхні $\delta_з$, мм	Загальне уточнення $\varepsilon_з$	Можливі технологічні маршрути обробки	Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
14	0,025	1,25	1,6	64	<u>1 варіант:</u>		
					1. Свердління	0,39	4,1
					2. Розточування попереднє	0,25	1,56
					3. Розточування кінцеве	0,062	4,03
					4. Розвертання попереднє	0,039	1,59
					5. Розвертання кінцеве	0,025	1,56
					$\varepsilon_{ф1}$=64,03		
					<u>2 варіант:</u>	0,39	4,1
					1. Свердління	0,25	1,56
					2. Зенкерування попереднє	0,1	2,5
					3. Зенкерування кінцеве	0,039	2,56
					4. Розвертання попереднє	0,025	1,56
					5. Розвертання кінцеве		
					$\varepsilon_{ф2}$=63,85		

Приймаємо перший варіант.

Розробка маршруту виготовлення корпусу

Маршрут обробки деталі будуємо з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленні деталі.

Розроблений маршрут обробки наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Таблиця технологічних маршрутів обробки деталі

Маршрутний технологічний процес	
базовий	проектуємий
1	2
005 Вертикально-фрезерна 6Н12 Фрезерувати дві бонки	005 Вертикально-фрезерна з ЧПУ 6Т13Ф3 Фрезерувати площини, бонки
010 Вертикально-фрезерна 6Н12 Фрезерувати бонку	010 Комплексна з ЧПУ EC500 Haas Фрезерувати площини, бонки, свердлити, розточити, розвернути отвори, зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах
015 Вертикально-фрезерна 6Н12 Фрезерувати бонку	015 Вертикально-фрезерна з ЧПУ 6Т13Ф3 Фрезерувати площини, бонки, центрувати, свердлити, розфрезерувати отвори, зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах
030 Вертикально-фрезерна з ЧПК 6Т13Ф3-1 Фрезерувати бонки	020 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити отвір
035 Вертикально-фрезерна з ЧПК ГФ2171 Свердлити, розсвердлити, розточити, розвернути отвори	025 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити отвір
040 Вертикально-фрезерна з ЧПК 6Т13Ф3-1 Фрезерувати площини та бонки	030 Вертикально-свердлильна 2Н125 Розточити дві канавки
045 Вертикально-фрезерна з ЧПК ГФ2171 Фрезерувати бонки, центрувати, свердлити отвори	035 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити отвір
050 Вертикально-фрезерна з ЧПК ГФ2171 Центрувати, свердлити отвори, фрезерувати бонки, фрезерувати впадину	040 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу
055 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити, розвернути отвір	045 Слюсарна Зачистити заусенці
060 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити, розвернути отвір	050 Контрольна Перевірити розміри
065 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити отвір, зенкерувати отвір	-
070 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити, розвернути отвір	-
075 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити отвір в бонці	-

Продовження табл. 3.5

1	2
080 Вертикально-свердлильна 2Н135 Свердлити два отвори	-
085 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити два отвори	-
090 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити два отвори	-
095 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити отвір	-
100 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити отвір в бонці	-
105 Вертикально-свердлильна 2Н125 Свердлити 2 отвори	-
110 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаску	-
115 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаску	-
120 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаску	-
125 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаску	-
130 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
135 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
140 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
145 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
150 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаски	-
155 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаски	-

Продовження табл. 3.5

1	2
160 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаски	-
165 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаски	-
170 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу в двох отворах	-
175 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу в двох отворах	-
180 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу в трьох отворах	-
185 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
190 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаски в двох отворах	-
195 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу в двох отворах	-
200 Вертикально-свердлильна 2Н125 Зенкувати фаску	-
205 Різьбонарізна 2056 Нарізати різьбу	-
210 Слюсарна Зачистити заусенці	-
215 Контрольна Перевірити розміри	-

Вибір технологічних баз

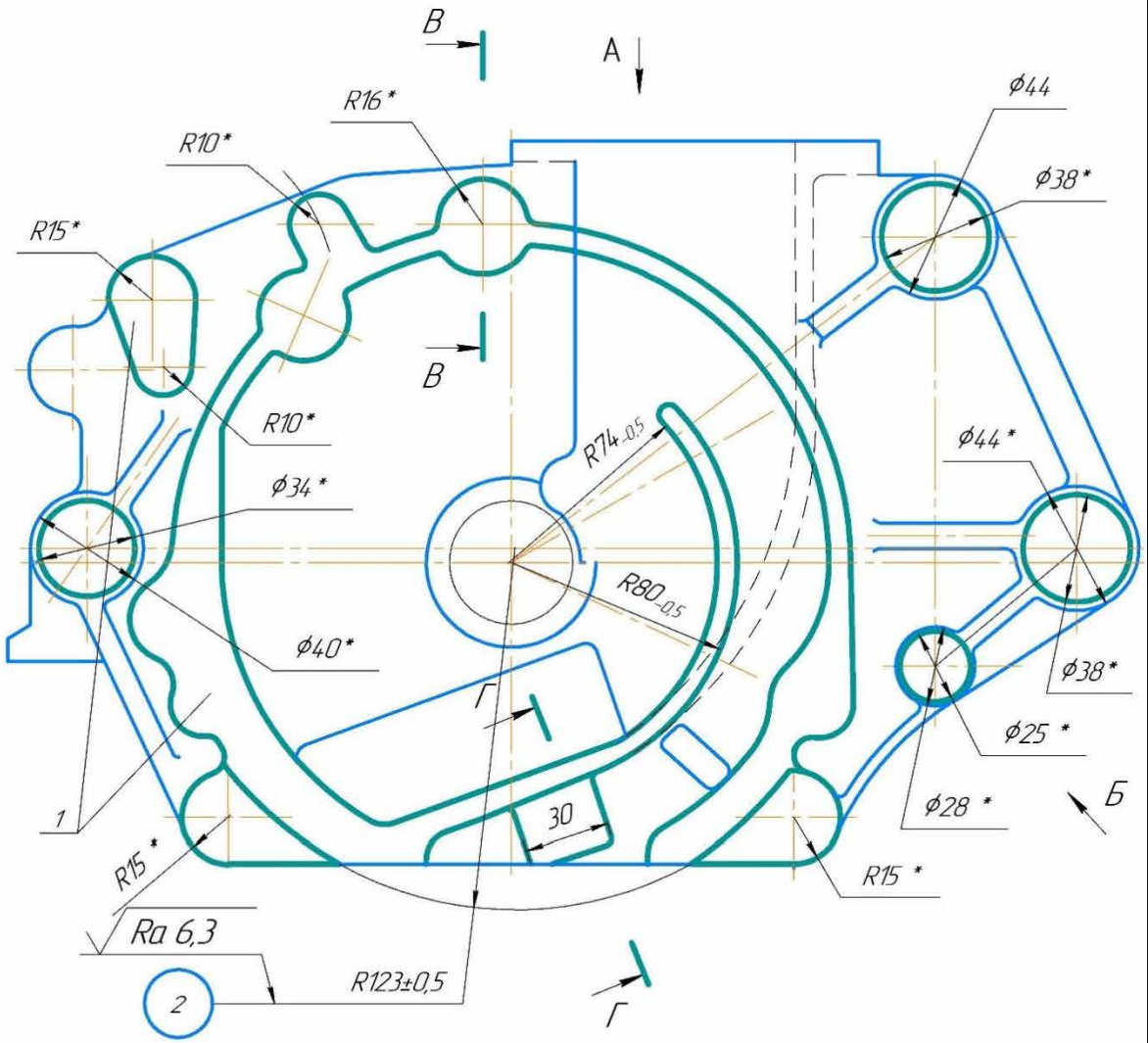
При обробці деталі корпус в якості чорнової бази на 005 операції використовуються бонки 9, 10 та 11, а також площина 29. поверхню 75. На наступних операціях в якості баз використовуються поверхня 1 та отвір 14, а також оброблені поверхні бонок та отворів.

Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

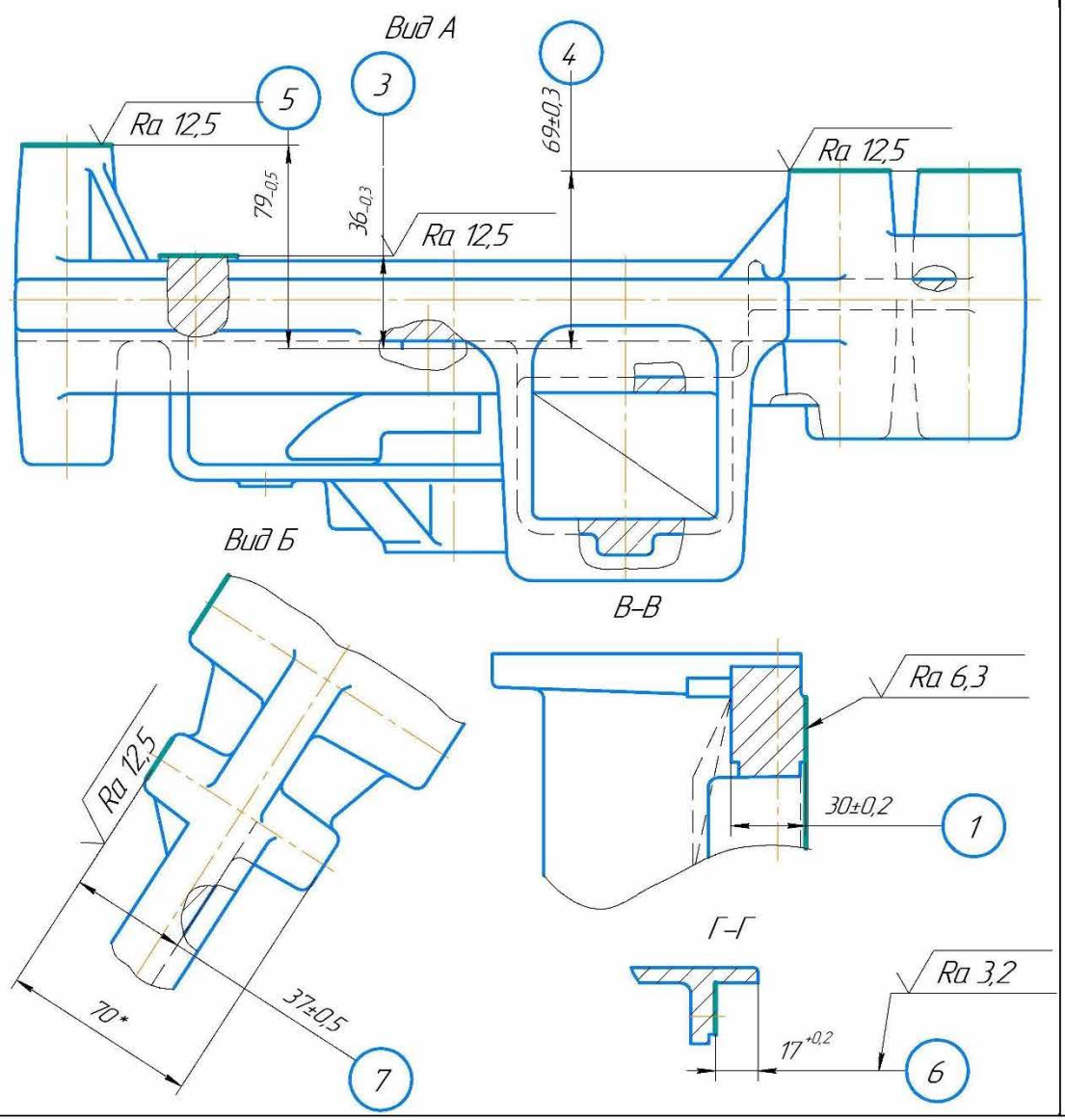
На підставі технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки окремих поверхонь та аналізу постановки розмірів з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь, розробляється структура та зміст кожної операції з зазначенням її номера та найменування.

Структура та зміст технологічних операцій наведено в таблиці 3.6.

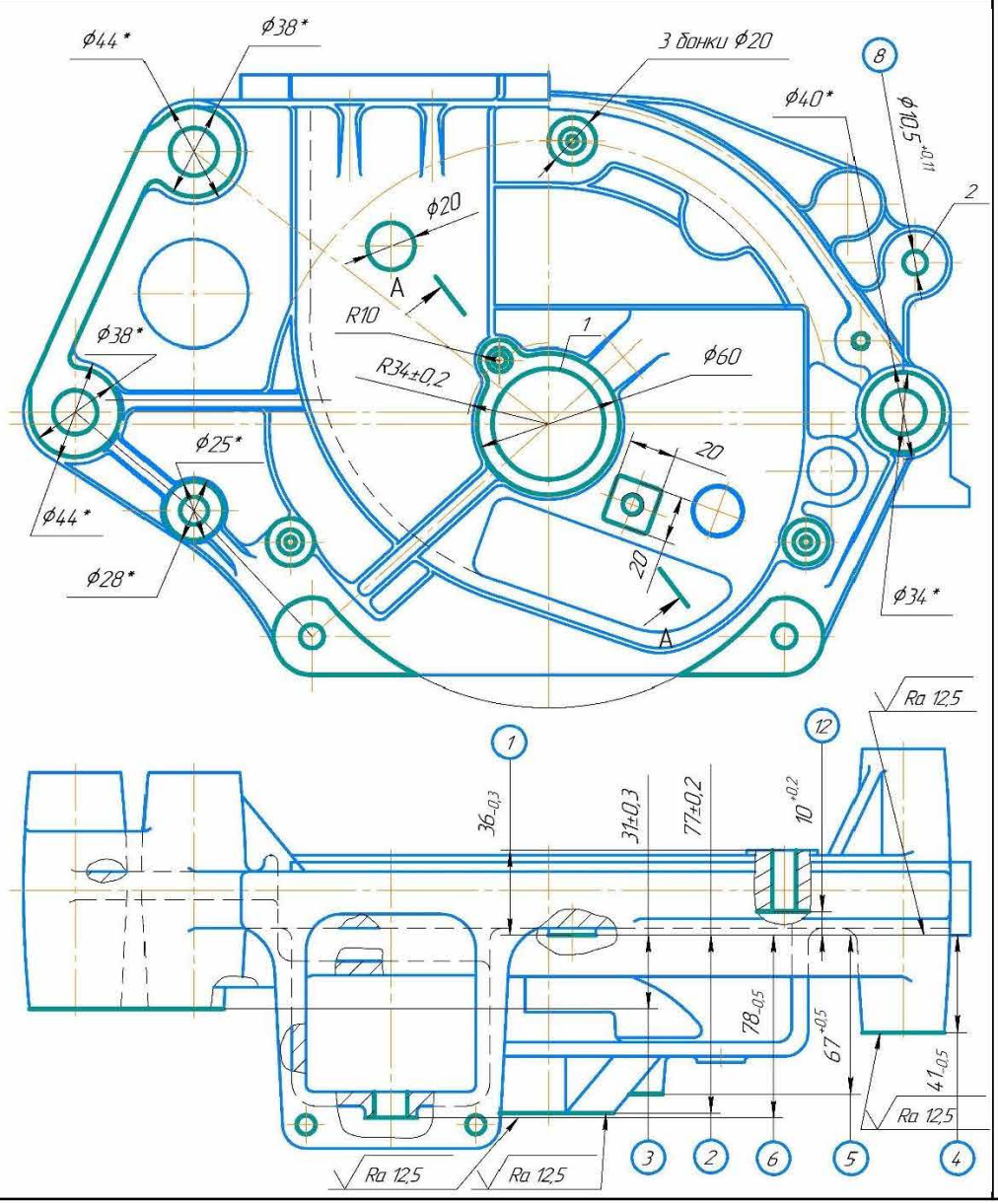
Таблиця 3.6

Операція	Верстат	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Вертикально-фрезерна з ЧПУ	Вертикально-фрезерна з ЧПК 6Т13Ф3/2С42-65		1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Фрезерувати площину 1, витримуючи розмір 1. 3. Фрезерувати площину, витримуючи розмір 2. 4. Фрезерувати 2 бонки 15, витримуючи розмір 3. 5. Фрезерувати 2 бонки 38/44 витримуючи розмір 4. 6. Фрезерувати бонку 34/40 витримуючи розмір 5. 7. Фрезерувати площину по 74-0,5. 8. Фрезерувати площину по 80-0,5. 9. Фрезерувати площину B=30, витримуючи розмір 6. 10. Фрезерувати бонку 25/28, витримуючи

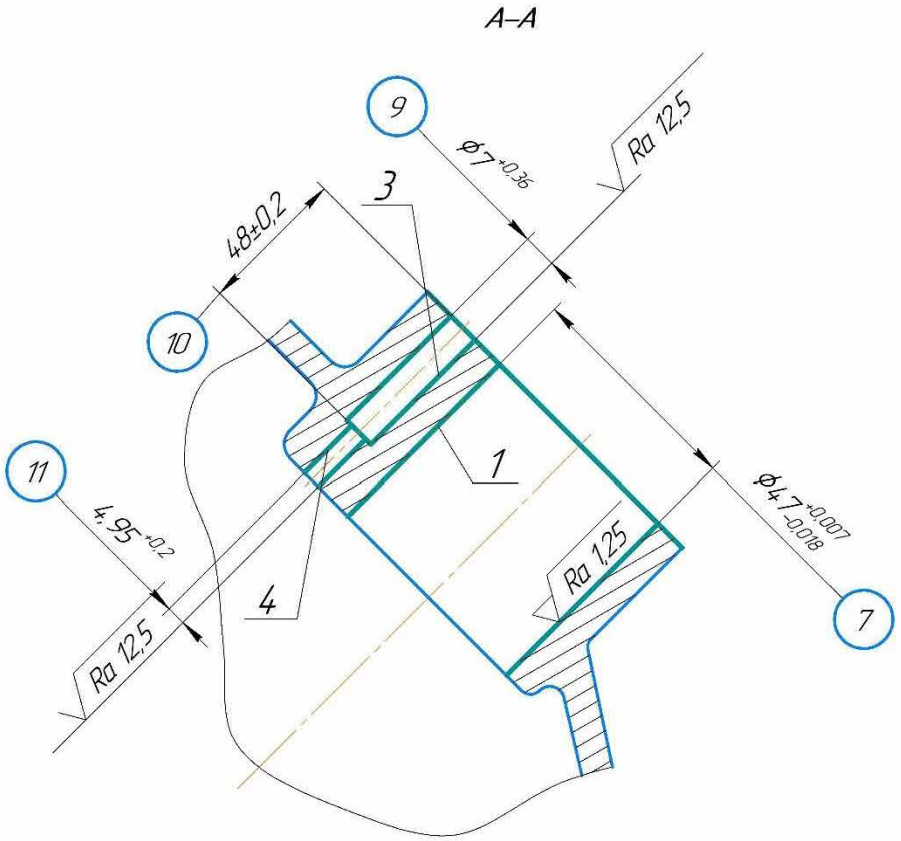
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			розмір 7. 11. Зняти деталь.

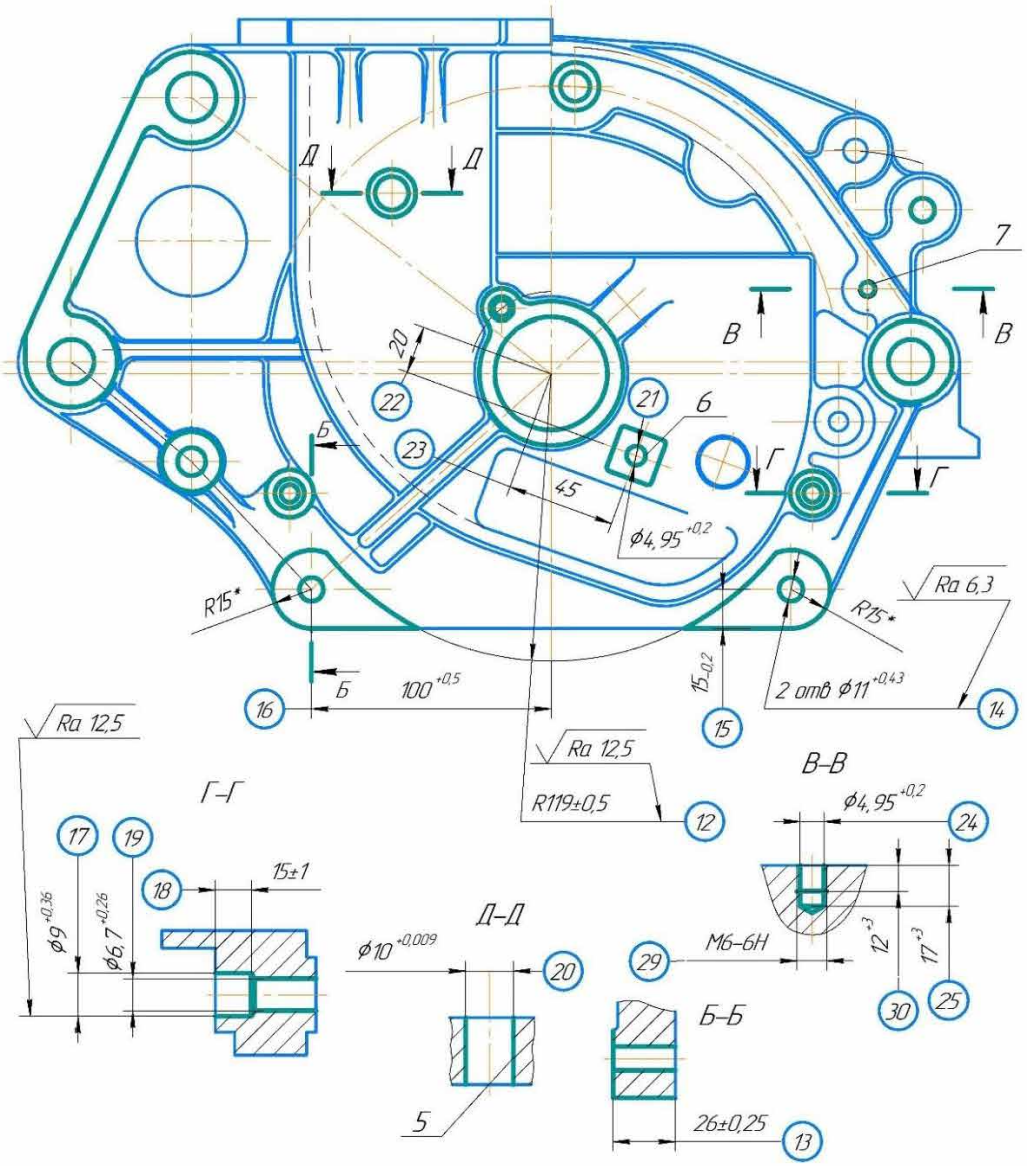
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
010 Комплексна з ЧПК	Оброблюючий центр ЕС500		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати 3 бонки 20, витримуючи розмір 1. 3. Фрезерувати бонку 60, витримуючи розмір 2. 4. Фрезерувати 2 бонки 38/44 та бонку 25/28, витримуючи розмір 3. 5. Фрезерувати бонку 34/40, витримуючи розмір 4. 6. Фрезерувати бонку 20 20, витримуючи розмір 5. 7. Фрезерувати бонку 20, витримуючи розмір 6.

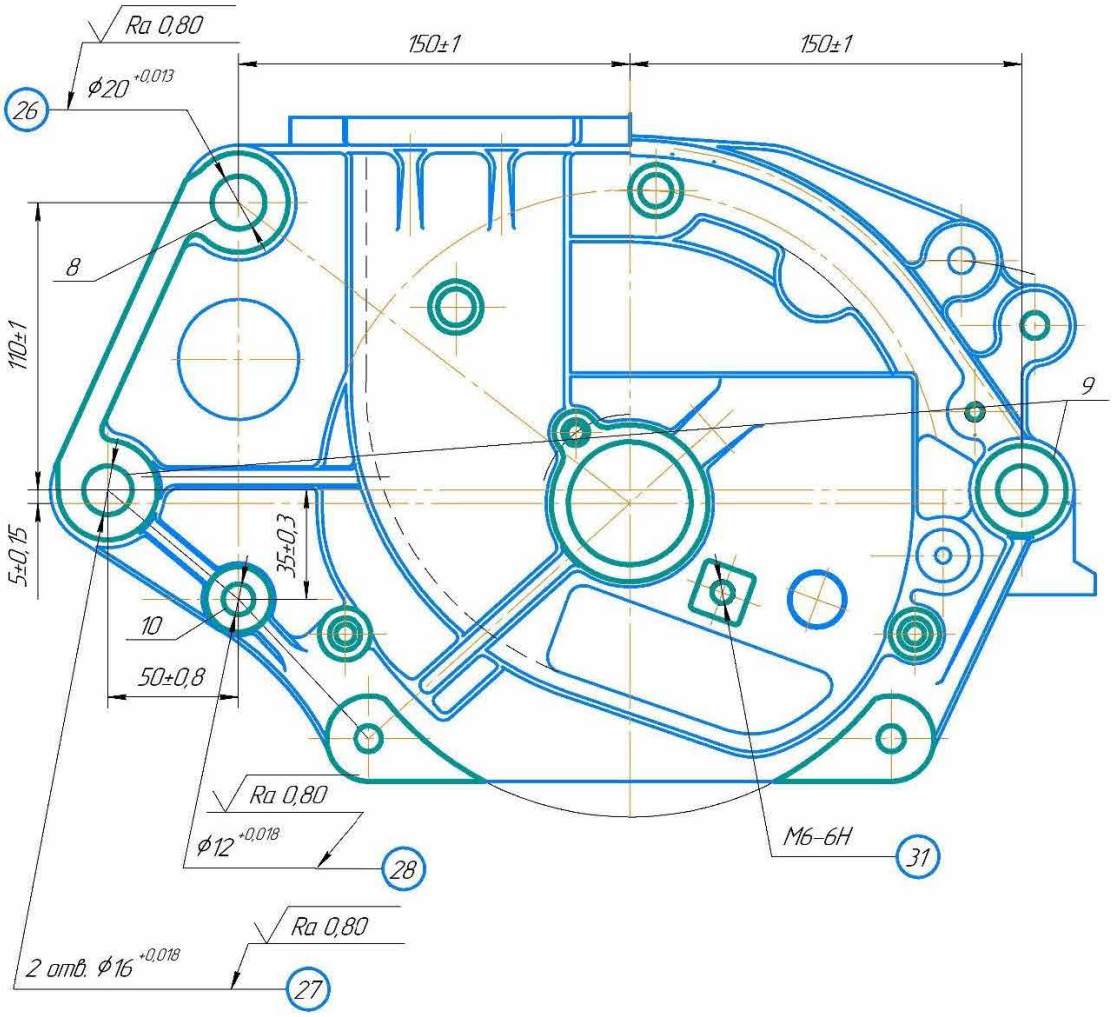
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			8. Свердлити отвір 1 на прохід, витримуючи розмір 20,25 попередньо. 9. Розточити отвір 1 на прохід, витримуючи розмір 39,5 попередньо. 10. Розточити отвір 1 на прохід, витримуючи розмір 46 попередньо. 11. Розвернути отвір 1 на прохід, витримуючи розмір 46,7 попередньо. 12. Розвернути отвір 1, витримуючи розмір 7. 13. Свердлити отвір 2 на прохід, витримуючи розмір 10,2 попередньо. 14. Розвернути отвір 2, витримуючи розмір 8. 15. Свердлити отвір 3, витримуючи розміри 9, 10. 16. Свердлити отвір 4 на прохід, витримуючи розмір 11.

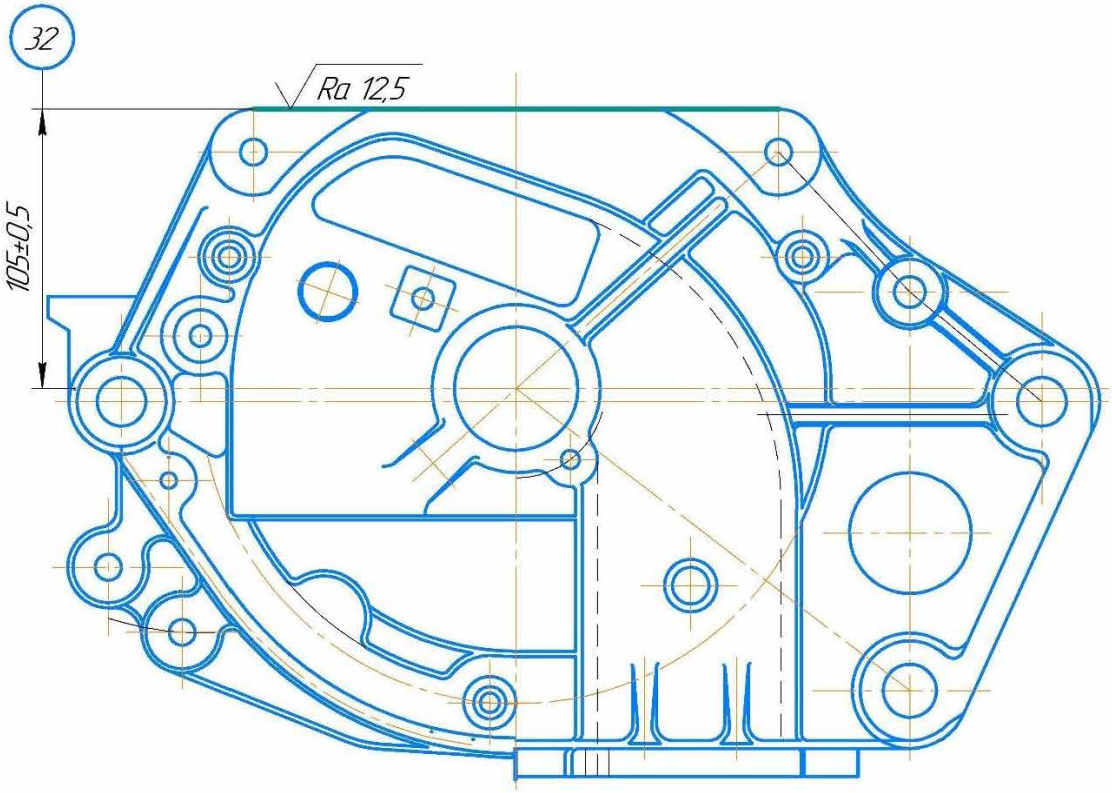
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			17. Фрезерувати 2 бонки 15, витримуючи розмір 12, 13. 18. Свердлити 2 отвори почергово, витримуючи розміри 14, 15, 16 на прохід. 19. Свердлити 3 отвори почергово, витримуючи розміри 17, 18. 20. Свердлити 3 отвори на прохід витримуючи розмір 19. 21. Свердлити отвір 5 на прохід, витримуючи розмір 9,7 попередньо. 22. Розвернути отвір 5, витримуючи розмір 20. 23. Свердлити отвір 6 на прохід, витримуючи розміри 21, 22, 23. 24. Свердлити отвір 7, витримуючи розміри 24, 25.

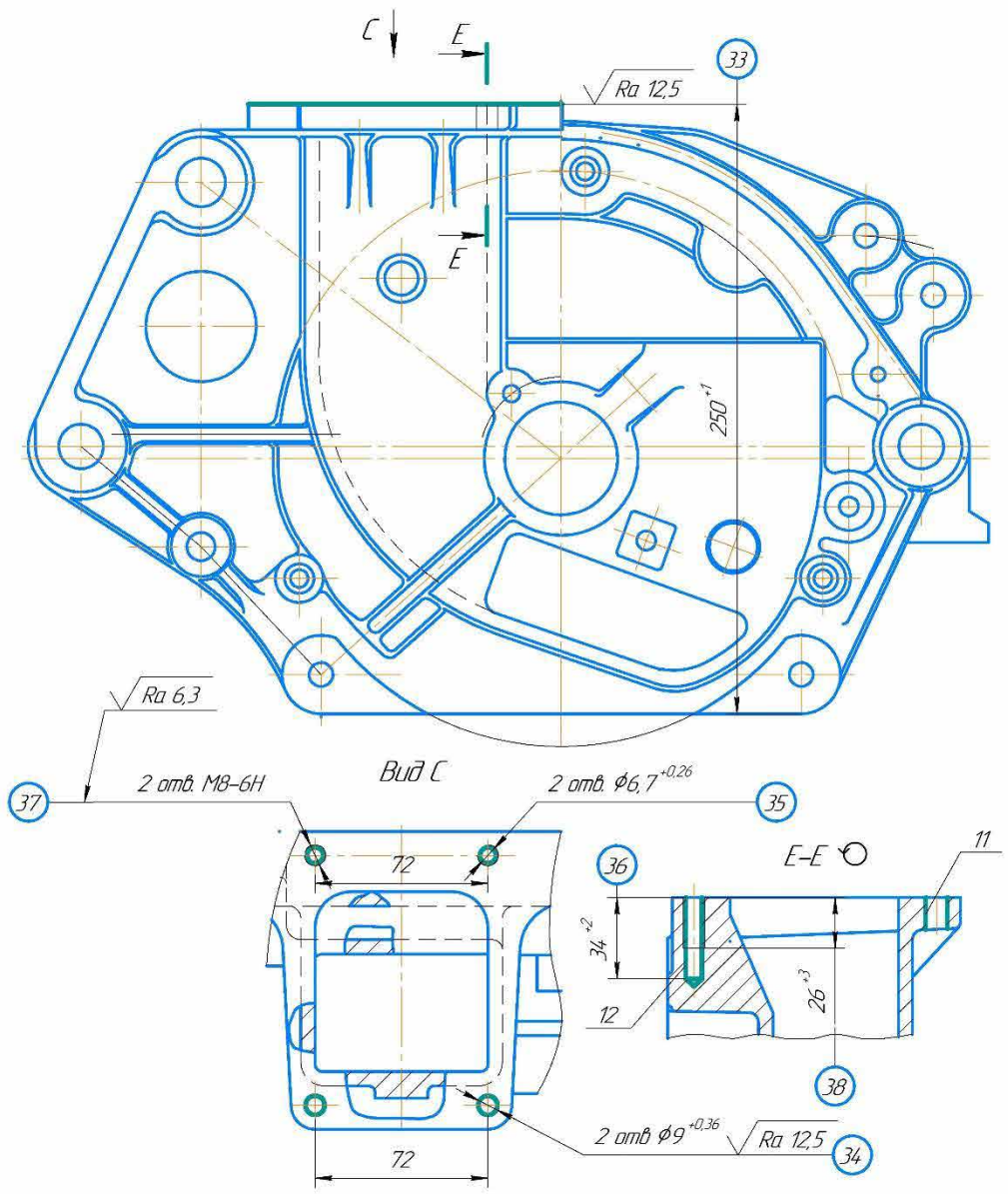
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			25. Свердлити отвір 8 на прохід, витримуючи розмір 19,5 попередньо. 26. Розвернути отвір 8 на прохід, витримуючи розмір 26. 27. Свердлити 2 отвори 9 на прохід, витримуючи розмір 15,5 попередньо. 28. Розвернути 2 отвори 9 на прохід почергово, витримуючи розмір 27. 29. Свердлити отвір 10 на прохід, витримуючи розмір 10 попередньо. 30. Розвернути отвір 10 на прохід, витримуючи розмір 28. 31. Зенкувати фаски 1 45 в отворах 21, 24. 32. Нарізати різьбу, витримуючи розміри 29, 30. 33. Нарізати різьбу на прохід витримуючи розмір 31.

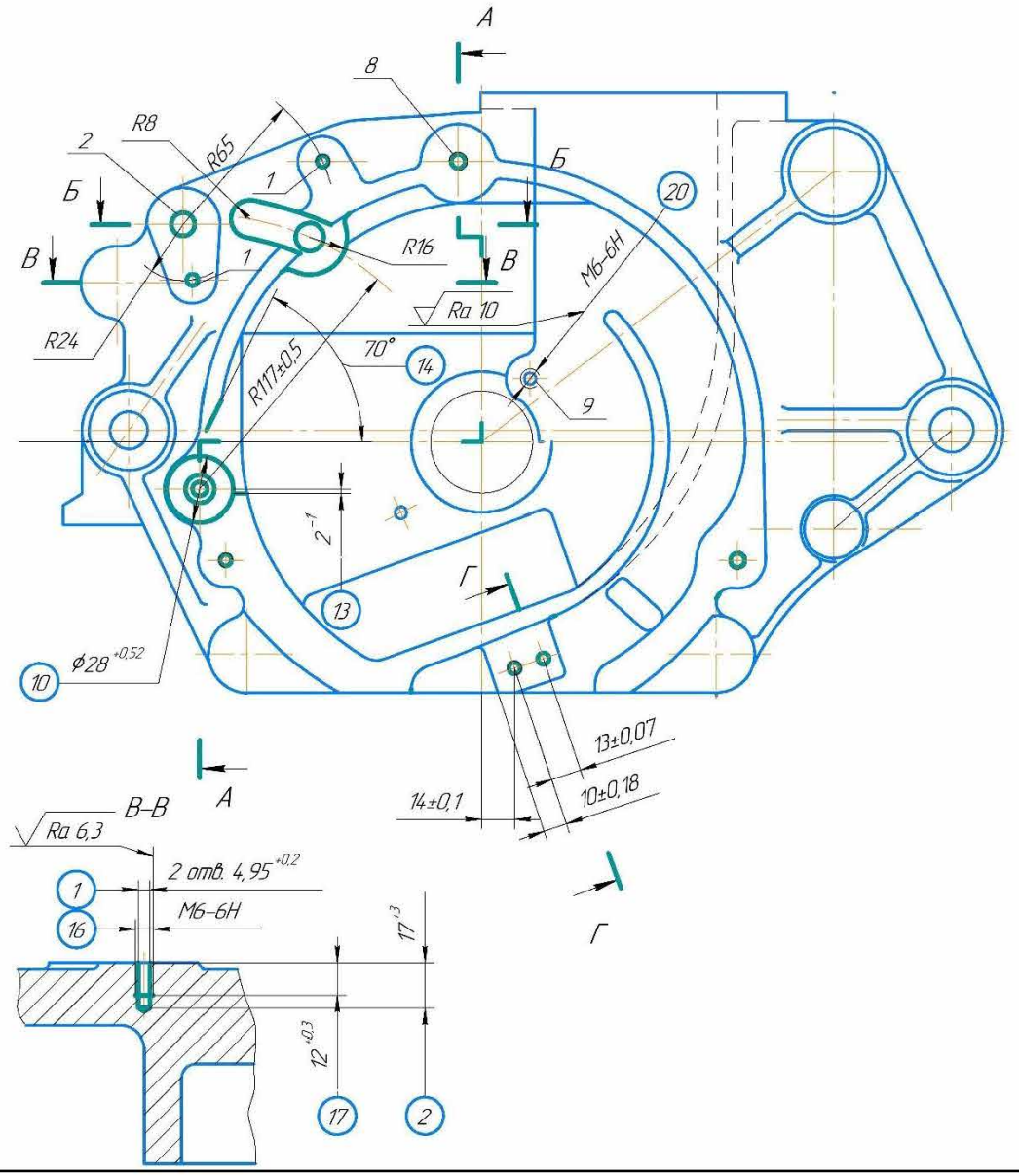
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			34. Поворот палети. 35. Фрезерувати площину витримуючи розмір 32.

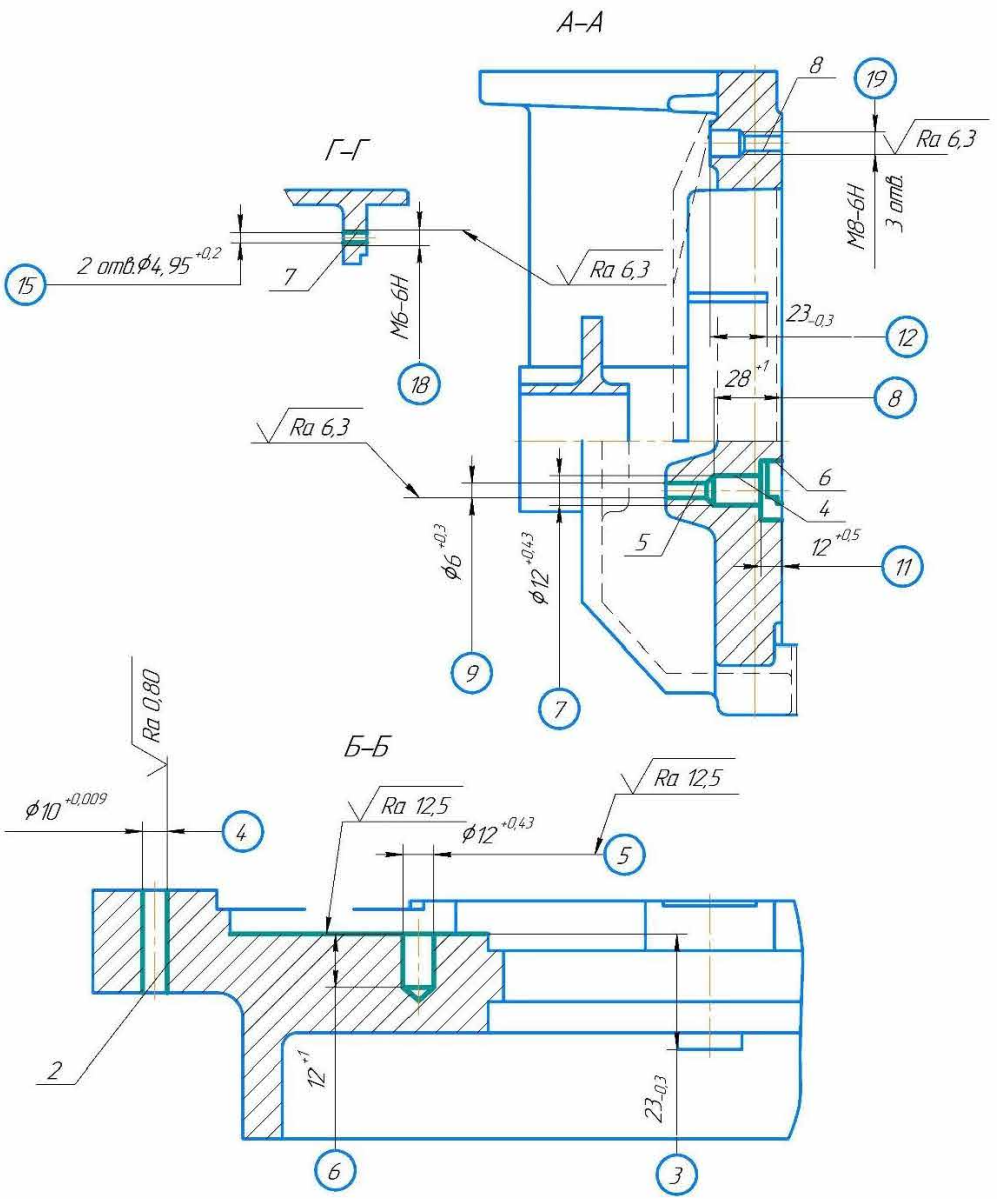
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			36. Фрезерувати площину витримуючи розмір 33. 37. Свердлити 2 отвори 11, витримуючи розмір 34 на прохід. 38. Свердлити 2 отвори 12, витримуючи розміри 35, 36. 39. Зенкувати фаски 1 45 в 2-х отворах 12 почергово. 40. Нарізати різьбу в 2-х отворах 12, витримуючи розміри 37, 38. 41. Зняти деталь.

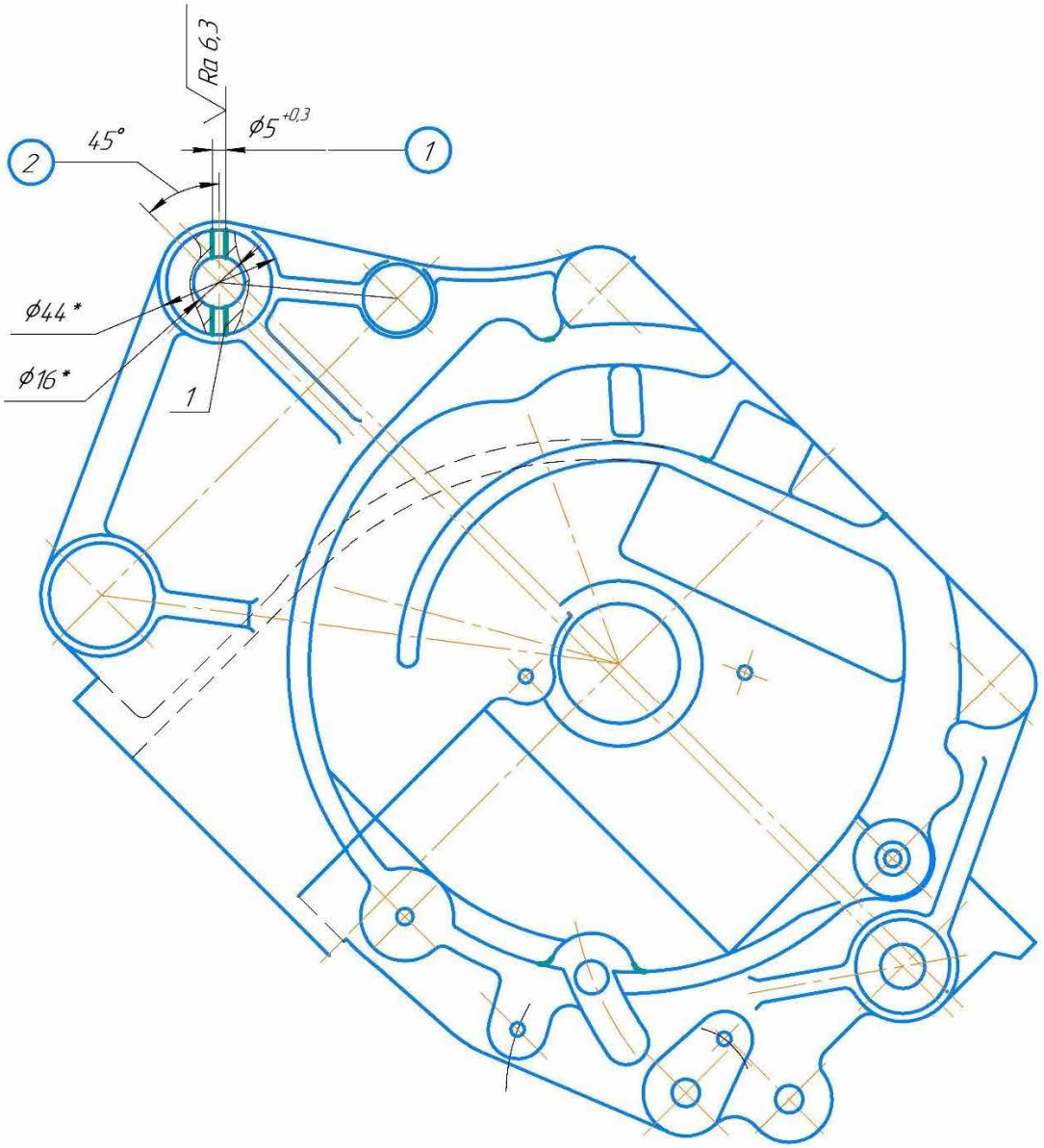
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
015 Вертикально-фрезерна з ЧПУ	Вертикально-фрезерна з ЧПУ 6Т13Ф3/2С42-65		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Центрувати отвори 1, 2, 3, 4. 3. Свердлити 2 отвори 1, витримуючи розміри 1, 2. 4. Фрезерувати бонку 16 та паз 8, витримуючи розмір 3. 5. Свердлити отвір 2 на прохід, витримуючи розмір 9,7 попередньо. 6. Розвернути отвір 2 на прохід, витримуючи розмір 4. 7. Свердлити отвір 3 витримуючи розміри 5, 6. 8. Свердлити отвір 4 витримуючи розміри 7, 8. 9. Свердлити отвір 5 на прохід, витримуючи розмір 9. 10. Розфрезерувати отвір 6 витримуючи

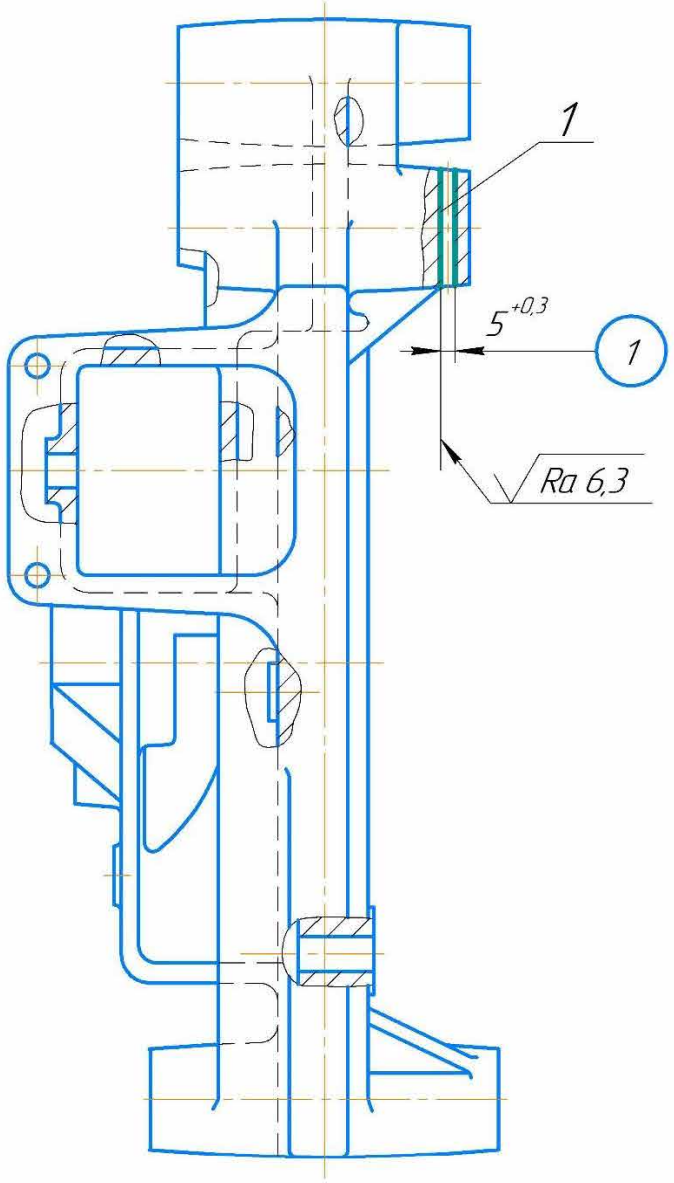
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
			розміри 10, 11. 11. Фрезерувати впадину, витримуючи розміри 12, 13, 14. 12. Свердлити 2 отвори 7 на прохід, витримуючи розмір 15. 13. Зенкувати фаски 1 45 в двох отворах 1, послідовно. 14. Зенкувати фаски 1 45 в двох отворах 7, послідовно. 15. Зенкувати фаски 1,5 45 в трьох отворах 8. 16. Зенкувати фаску 1 45 в отворі 9. 17. Нарізати різьбу в 2-х отворах 1, витримуючи розміри 16, 17. 18. Нарізати різьбу в 2-х отворах 7, на прохід, витримуючи розмір 18. 19. Нарізати послідовно різьбу на прохід в 3-х отворах витримуючи розмір 19. 20. Нарізати різьбу на прохід, в отворі 9, витримуючи розмір 20. 21. Зняти деталь.

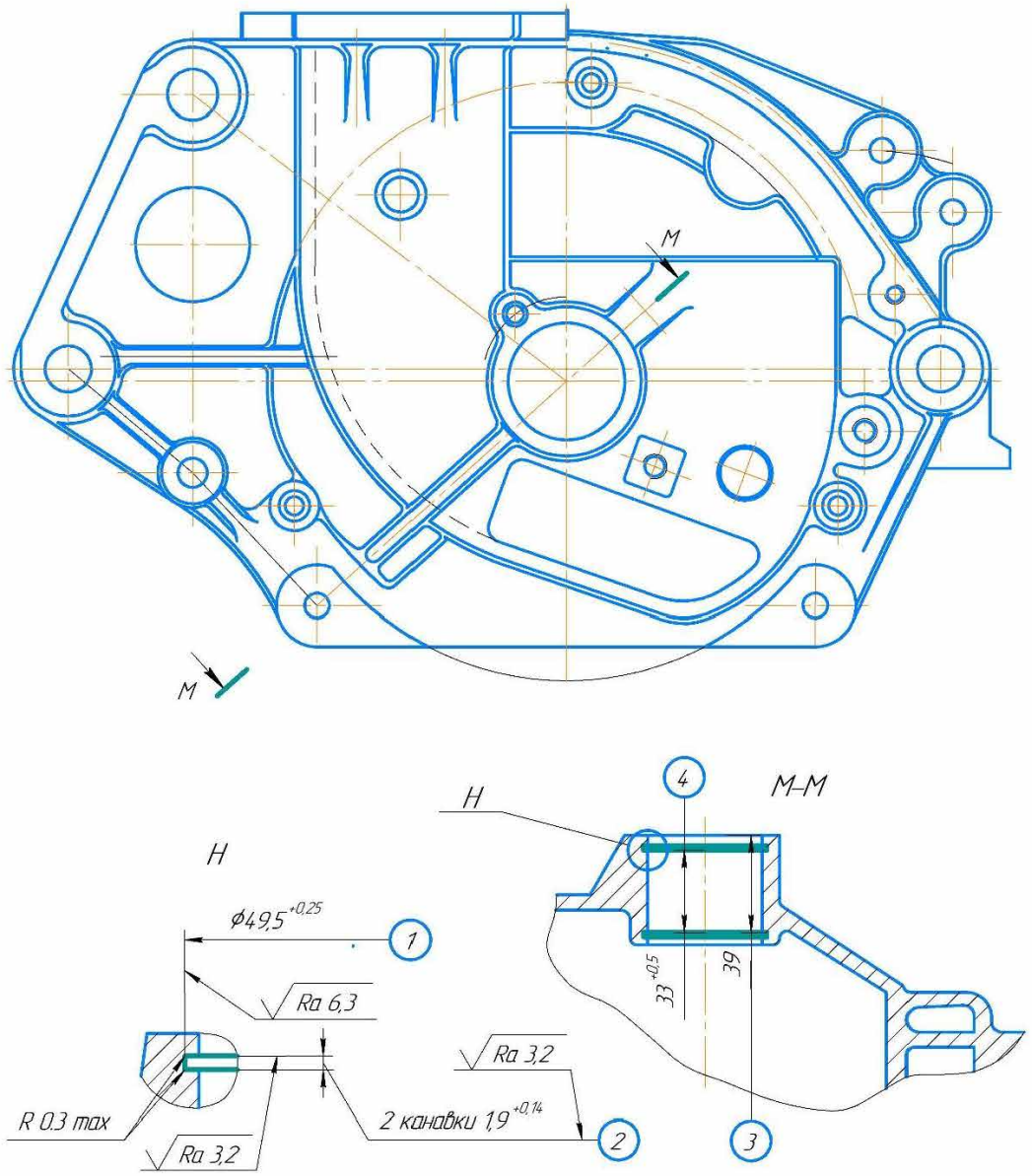
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
020 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Свердлити отвір 1 на прохід в бонці 44, витримуючи розміри 1, 2. 3. Зняти деталь.

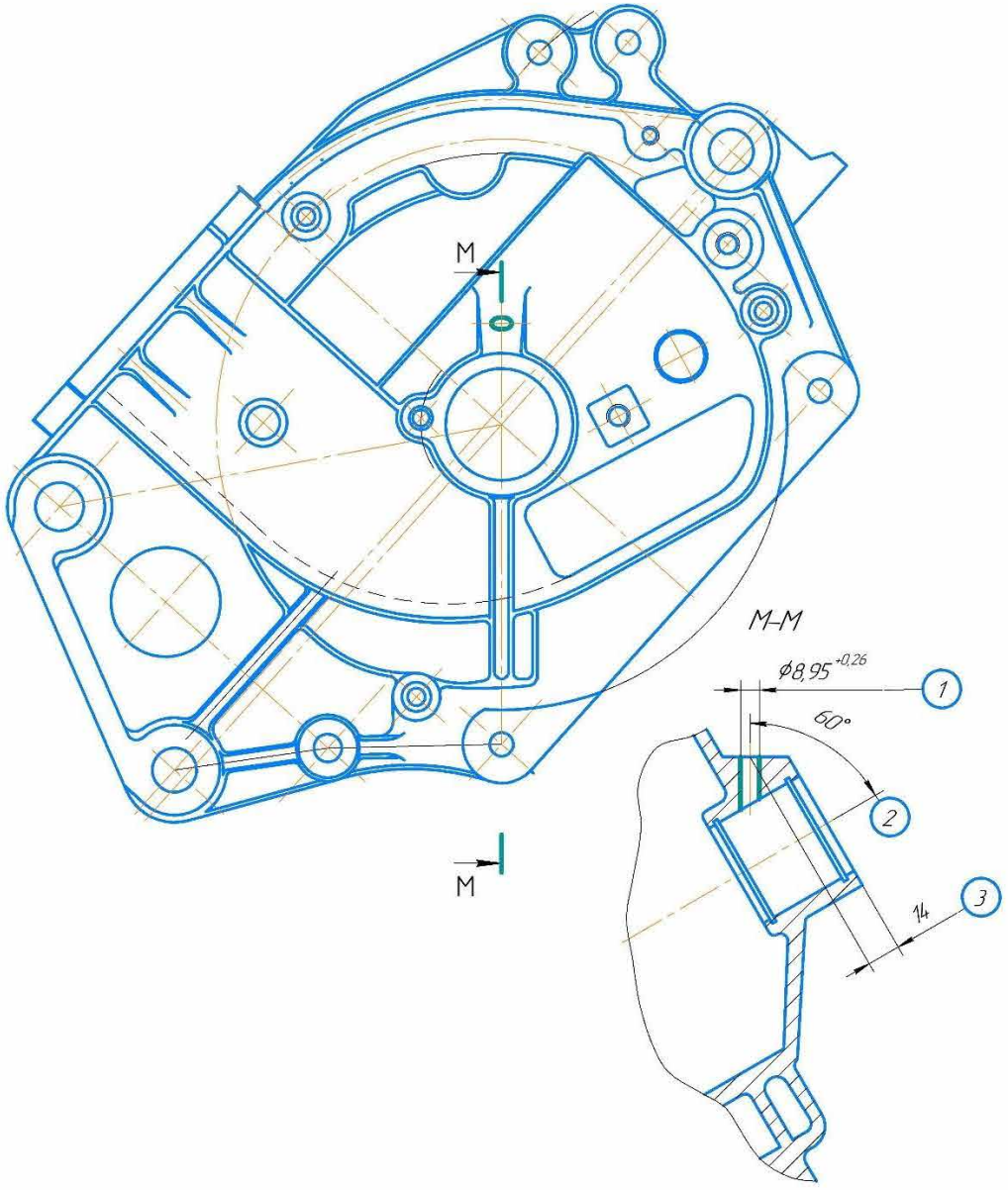
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
025 Вертикально-сверлильна	Вертикально-свердильний 2Н125		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Свердлити отвір 1 на проход, витримуючи розмір 1. 3. Відкріпити та зняти деталь.

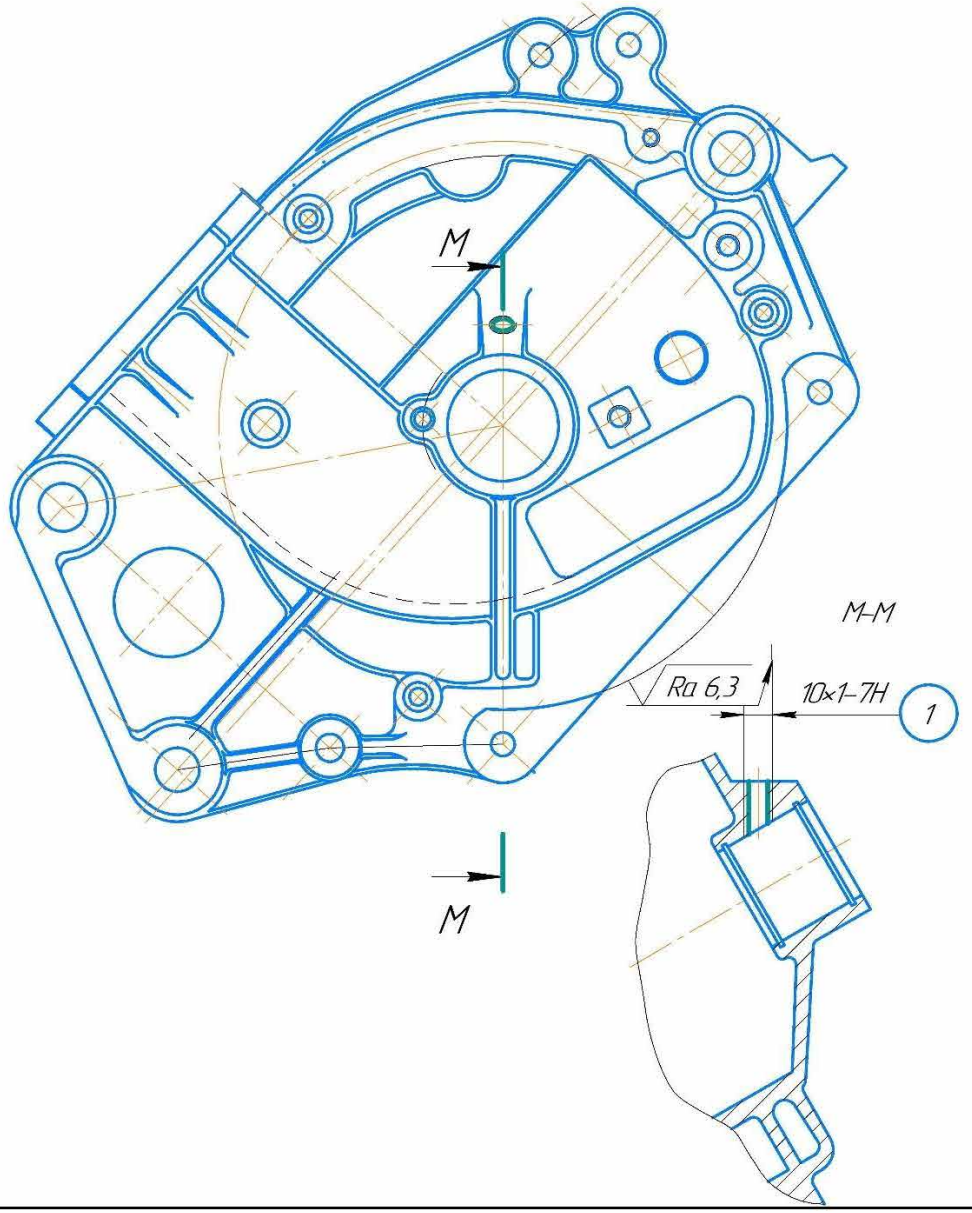
Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
030 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Розточити дві канавки витримуючи розміри 1, 2, 3, 4. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
035 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Свердлити отвір на прохід, витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
040 Різьбо-нарізна	Різьбонарізний напів-автомат 2056		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Нарізати різьбу на прохід витримуючи розмір 1. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Тип та модель використовуваних металорізальних верстатів наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Металорізальні верстати для обробки деталі

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діамет обробки	Ряд частот обертання ($хв^{-1}$)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
005, 015	6Т13Ф3 вертикально-фрезерний з ЧПК	400x1600	40-2000	10-1200	11	2,985x3,815
010	EC500 Haas обробляючий центр з ЧПК	500x500	8-4500	1-6000	22	4,45x4,655
020, 025 030, 035	2Н125 вертикально-свердлильний	400x450	45-2000	0,1-1,6	2,2	0,915x0,785
040	2056 різьбонарізний	М18	112-1120	-	1,3	0,87x0,59

Вибір пристроїв для затиску деталі

Обрані затискні пристрої та їх стисла характеристика наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Затискні пристрої для деталі

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
005	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
010	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
015	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
020	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
025	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
030	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
040	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний

Вибір різальних інструментів

Для механічної обробки поверхонь деталі корпус необхідно вибрати різальні інструменти, які забезпечать необхідні параметри точності та шорсткості поверхонь.

Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталі корпус наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі картер

Номер			Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина Матеріал
Операції	Позиції	Переходу			
1	2	3	4	5	6
005		1-10	Фреза торцева	509.2240-4000-01	ВК6
010		2-7,17	Фреза торцева	509.2223-4000-02	ВК6
		8	Свердло 2301-0042	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		9,10	Борштанга	509.6250-4237	ВК6
			Різець	509.6250-4237-1010	ВК6
		11	Розвертка 509.2363-2165	СТП509.2.211-71	ВК6
		12	Розвертка 509.2363-2167	СТП509.2.211-71	ВК6
		13	Свердло 2300-2474	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		14	Розвертка 509.2363-2076	СТП509.2.164-74	ВК8
		15	Свердло 2300-2445	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		16	Свердло 2300-2245	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		18	Свердло 2300-2484	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		19	Свердло 2300-2464	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		20	Свердло 2300-2440	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		21	Свердло 2300-2484	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		22	Розвертка	509.3341-4001-44	ВК8
		23	Свердло 2300-6573	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		24	Свердло 2300-1573	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		25	Свердло 2301-0435	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		26	Розвертка	Спеціальна	ВК8
		27	Свердло 2301-0423	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		28	Розвертка	509.3341-4001-06	ВК8
		29	Свердло 2300-0073	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		30	Розвертка	509.3341-4001-07	ВК8
		31	Зенківка	-	Р6М5
		32,33	Мітчик 2620-1155	СТП509.2.419-74	Р6М5
		34,36	Фреза торцева	509.3042-1520	ВК6
		37	Свердло 2300-2462	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		38	Свердло 2300-6573	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		39	Свердло 2301-0055	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		40	Мітчик 2620-1219.3	СТП509.2.419-74	Р6М5
015		2	Свердло 2317-0006	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		3	Свердло 2300-2484	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		4	Фреза	509.3815-0097	Р6М5
		5	Свердло 2300-2484	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		6	Розвертка	509.3341-4001-44	ВК8
		7,8	Свердло 2300-2484	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
		9	Свердло 2300-6573	ДСТУ 2092:2008	Р6М

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5	6
015		10,11 12 13,14, 15,16 17,18 19,20	Фреза Свердло 2300-6573 Зенківка Мітчик 2620-1153.3 Мітчик 2620-1219.3	509.3843-0025 ДСТУ 2092:2008 509.3301-0217 СТП509.2419-74 СТП 509.2.419-74	Р6М5 Р6М5 Р6М5 Р6М5 Р6М5
020		2	Свердло 2300-7163	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
025		2	Свердло 2300-7163	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
030		2	Державка з різцями Різець	509.6250-4238-01 509.6250-4238/010-01	 ВК6
035		2	Свердло 2300-7163	ДСТУ 2092:2008	Р6М5
040		2	Мітчик 2620-1224.3	СТП509.2.419-74	Р6М5

Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технічних операцій, вибрані для вимірювань поверхонь деталі корпус, наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої

Номер			Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Позиції	Переходу			
1	2	3	4	5	6
005			$30\pm0,2$ $R123\pm0,5$ $36_{-0,3}$ $69\pm0,3$ $79_{-0,5}$	Пристосування контрольне Спец вимірювач Шаблон Пристосування контрольне Пристосування контрольне	509.8519-4098 509.8160-4534-02 509.8100-4004-12 509.8519-4098 509.8519-4098
010			$36_{-0,3}$ $77\pm0,2$ $31\pm0,3$ $41_{-0,5}$ $78_{-0,5}$ $\varnothing 47^{+0,007}_{-0.018}$ $\varnothing 10,5$ $\varnothing 7$ $\varnothing 9^{+0,36}$ $\varnothing 10^{+0,009}$ $\varnothing 20^{+0,013}$ $\varnothing 16^{+0,018}$	Шаблон Шаблон Шаблон Шаблон Шаблон Калібр-пробка Нутромір НИ 18-50 Еталон Калібр-пробка 8133-0923 Калібр-пробка 8133-0916 Калібр-пробка 8133-0920 Калібр-пробка 8133-0922 Калібр-пробка 8133-0954	509.8100-4004-12 509.8160-4747 509.8160-4748-01 509.8160-4748 509.8160-4750 СТП509.8.70-71 ДСТУ868:2009 509.8517-4007-05 14810-69 СПП509.8.70-71 СТП509.8.70-71 СТП509.8.70-71 СТП509.8.70-7

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5	6
010			$\varnothing 12^{+0,018}$ М6-6Н $\varnothing 9^{+0,36}$ М8-6Н	Калібр-пробка 8133-0930 Калібр-пробка 8133-0926 Калібр-різьбовий 8221-3030 Калібр-пробка 8133-0920 Калібр-різьбовий 8221-3036	СТП509.8.70-71 СТП509.8.70-71 СТП509.8.418-74 СТП509.8.70-71 СТП509.8.418-74
015			$\varnothing 10^{+0,009}$ $\varnothing 12^{+0,43}$ М6-6Н М8-6Н	Калібр-пробка 8133-0922 Калібр-пробка 8133-0926 Калібр-різьбовий 8221-3030 Калібр-різьбовий 8221-3036	СТП509.8.70-71 СТП509.8.70-71 СТП509.8.418-74 СТП509.8.418-74
020			$\varnothing 5^{+0,3}$	Калібр-пробка 8133-0910	СТП509.8.70-71
025			$\varnothing 5^{+0,3}$	Калібр-пробка 8133-0910	СТП509.8.70-71
030			$33^{+0,5}$ 39 $1,9^{+0,14}$ $\varnothing 49,5^{+0,25}$ 13±0,7	Шаблон Шаблон Шаблон Нутромір Спец вимірювач	509.8160-4546 509.8160-4545 509.8160-4025 509.8143-4000 509.8364-4002-20
035			$\varnothing 8,95^{+0,26}$	Калібр-пробка 8133-0919	СТП509.8.70-71
040			М10-6Н	Калібр-різьбовий 8221-3046	СТП509.8.418-74

Всі інші розміри деталі корпус, які не представлені в таблиці контролювати за допомогою штангенциркулів: ШЦ-II-160-0,1; ШЦ-III-315-0,1 ДСТУ 166:2009.

Визначення припусків та операційних розмірів

Для розрахунку використовуємо методику В.М. Кована. Припуски розраховуємо аналітичним методом на поверхню 14 (рис. 3.2) $\varnothing 47^{+0.007}_{-0.018}$.

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень:

$$\rho = \sqrt{c_o^2 + (\Delta_y l)^2}$$

де: Δ_y - питомий увід свердла;

c_o - зміщення осі отвору при свердлінні;

$$\rho = \sqrt{30^2 + (0,7 \cdot 42)^2} = 42 \text{ мкм}$$

Похибка установки ε_y на виконуваному переході при визначені проміжного припуску характеризується зміщенням оброблюваної поверхні, яке повинне компенсуватись додатковою складовою проміжного припуску:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2}$$

де: $\varepsilon_б$ - похибка базування, $\varepsilon_б = 100$ мкм;

$\varepsilon_з$ - похибка закріплення, $\varepsilon_з = 40$ мкм;

$\varepsilon_{пр}$ - похибка положення заготовки в пристосуванні, $\varepsilon_{пр} = 50$ мкм;

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{40^2 + 100^2 + 50^2} \approx 119 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка установки при розточуванні:

$$\varepsilon_{y2} = 0{,}05 \cdot \varepsilon_{y1} = 5{,}9 \approx 6 \text{ мкм}$$

На основі отриманих даних визначаємо мінімальні розрахункові припуски на обробку по усім технологічним переходам за формулою:

$$2zi_{\min} = 2\left[Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\right]$$

Мінімальний припуск під свердління:

$$2z_{1\min} = 2\left[300 + 300 + \sqrt{294^2 + 119^2}\right] = 2 \cdot 849 \text{ мкм;}$$

Мінімальний припуск під розточування попереднє:

$$2z_{2\min} = 2\left[40 + 60 + \sqrt{42^2 + 6^2}\right] = 2 \cdot 142 \text{ мкм;}$$

Мінімальний припуск під розточування кінцеве:

$$2z_{3\min} = 2[50 + 50] = 2 \cdot 100 \text{ мкм;}$$

Мінімальний припуск під розгортання попереднє:

$$2z_{4\min} = 2[20 + 25] = 2 \cdot 45 \text{ мкм;}$$

Мінімальний припуск під розгортання кінцеве:

$$2z_{5\min} = 2[10 + 25] = 2 \cdot 35 \text{ мкм}$$

Результати розрахунків приведені в таблиці 3.11.

Визначаємо загальні припуски $z_{o\max}$, та $z_{o\min}$ сумуючи проміжні припуски на обробку.

Виконуємо перевірку:

$$2z_{o\max} - 2z_{o\min} = D_з - D_д$$

$$4312 - 2337 = 2000 - 25$$

$$1975 = 1975$$

Розрахунки припусків виконані вірно.

Схема графічного розташування припусків представлена на рис. 3.3.

Таблиця 3.11

Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на обробку внутрішньої циліндричної поверхні деталі корпус

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	$2z_{min}$	d_p	δ	d_{min}	d_{max}	$2z^{пр}_{min}$	$2z^{пр}_{max}$
Заготовка	300	300	294		44,665	2000	42,67	44,67		
1. Свердління	40	60	42	2·849	46,363	390	45,97	46,36	1690	3300
2. Розточування попереднє	50	50	-	2·142	46,647	160	46,49	46,65	290	520
3. Розточування кінцеве	20	25	-	2·100	46,847	100	46,75	46,85	200	260
4. Розгортання попереднє	10	25	-	2·45	46,937	62	46,875	46,937	87	125
5. Розгортання кінцеве	5	10	-	2·35	47,007	25	46,982	47,007	70	107
Разом									2337	4312

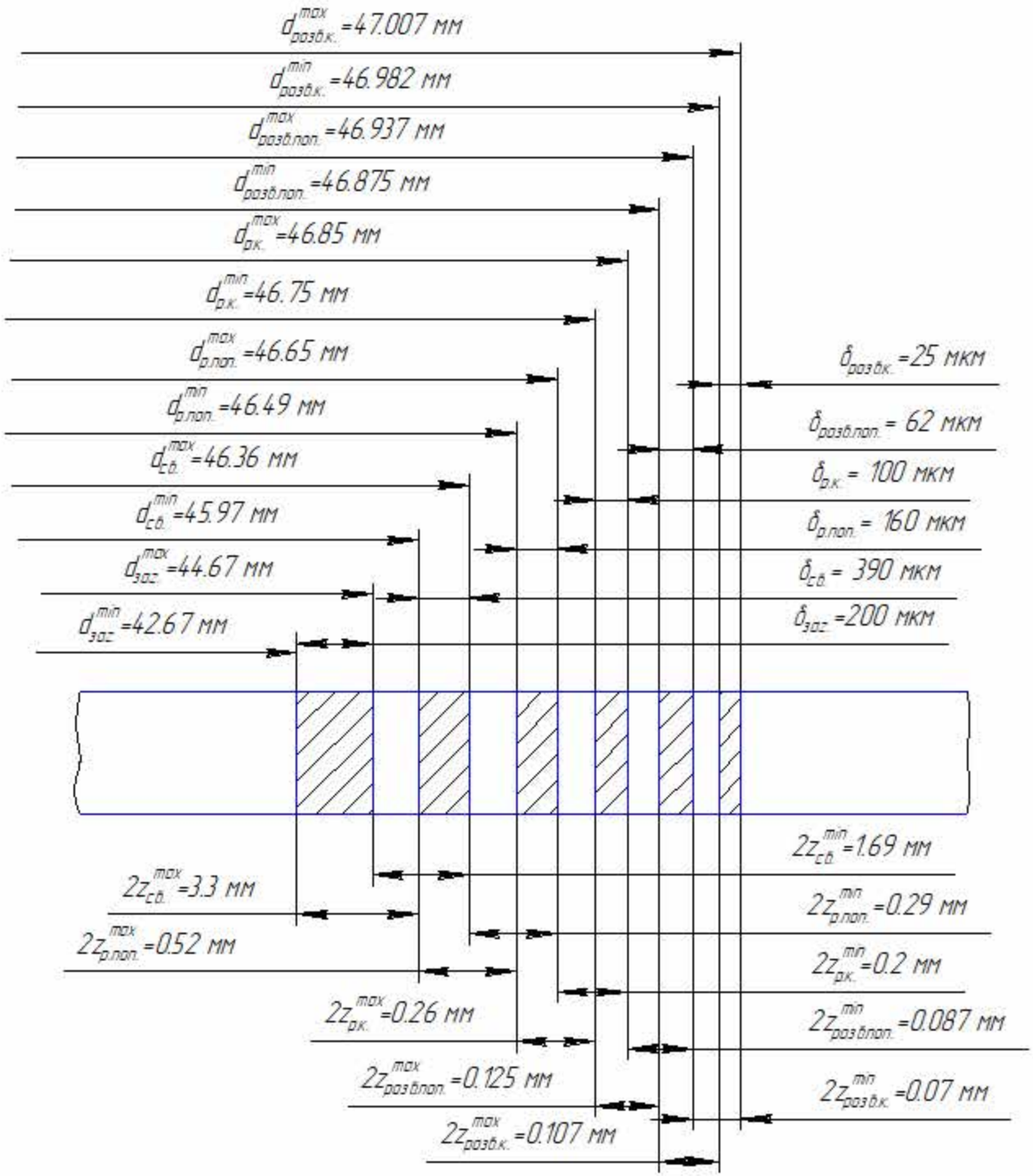


Рис. 3.3. Схема графічного розташування припусків

Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання виконуємо на операцію 030 вертикально-свердлильну обробки деталі корпус. Операція здійснюється на вертикально свердлильному верстаті мод. 2Н125. На вказаній операції виконується розточування двох канавок шириною $1{,}9^{+0{,}14}$ від ∅47 до $\varnothing 49{,}5^{+0{,}25}$, забезпечуючи при цьому шорсткість бічних поверхонь канавок по Ra 3,2 і впадин канавок по Ra 6,3.

Глибина різання:

$$t = \frac{49,5 - 47}{2} = 1,25 \text{ мм}$$

Подача визначається потужністю обладнання, жорсткістю технологічно-оброблюваної системи, міцністю різальної пластини та державки та необхідною якістю поверхні, що оброблюється. $s = 0,1$мм/об

Швидкість різання при прорізанні, визначається за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot s^y} \cdot K_v$$

де: s = 0,1 мм/об;

t = 1,25 мм;

T – середнє значення стійкості при одно інструментальній обробці (60 хв.)

C_v = 485; x = 0,12; y = 0,25; m = 0,28.

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$Kv = Kmv \cdot K\pi v \cdot Kuv \cdot K\varphi \cdot Kr$$

де: Kmv – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки – 1,0;

Kпv – коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні – 0,9;

Kuv – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента – 1,0;

Kφ та Kr – коефіцієнти, які враховують кут в плані різця та радіус інструмента – 0,7 та 1,0 відповідно.

$$Kv = 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 0,63.$$

Тоді:

$$v = \frac{458}{60^{0,28} \cdot 0,1^{0,25}} \cdot 0,63 = 172,7 \text{ м/хв.;}$$

Сили різання прийнято розкладати на складові сили направлені по осям координат верстата (тангенціальну Pz, радіальну Py і осьову Px) і розраховуються за формулою:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p$$

t – довжина леза різця (1,9 мм).

$$Kp = Kmp \cdot K\varphi p \cdot K\gamma p \cdot K\lambda p \cdot Krp$$

$$Kpy = 1,0 \cdot 0,44 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,704$$

$$Kpz = 1,0 \cdot 1,08 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,242$$

$$C_p = 50;\ x = 1,0;\ y = 1,0;\ n = 0.$$

Тоді:

$$P_y = 10 \cdot 50 \cdot 1,9^{1,0} \cdot 0,1^{1,0} \cdot 172,7^{0} \cdot 0,704 = 66,88\,\text{Н};$$

$$P_z = 10 \cdot 50 \cdot 1,9^{1,0} \cdot 0,1^{1,0} \cdot 172,7^{0} \cdot 1,242 = 117,99\,\text{Н}.$$

Визначаємо розрахункову частоту обертання:

$$n_p = \frac{1000\ v_p}{\pi \cdot D_{обр}}$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 172,7}{3,14 \cdot 49,5} = 1111,1\ \text{об/хв}$$

Отримане значення n_p коригуємо по паспортним даним верстату, а також враховуючи конструктивні особливості спеціального пристосування та спеціального різального інструмента для виконання даної операції, приймаємо $n_ф = 500\,\text{об/хв}$.

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$v_ф = \frac{\pi\ D_{обр}\ n_ф}{1000} = \frac{3,14 \cdot 49,5 \cdot 500}{1000} = 77,72\ \text{м/хв}.$$

Потужність різання:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v_ф}{1020 \cdot 60} = \frac{117,99 \cdot 77,72}{1020 \cdot 60} = 0,15\,\text{кВт}$$

Виконуємо перевірку по потужності:

$$N_p \le 1,2 \cdot N_{дв} \cdot \eta$$

$$0,15 \le 1,2 \cdot 2,2 \cdot 0,8$$

$$0,15 \le 2,112$$

Умова виконується.

Визначаємо коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$\eta_N = \frac{N_p}{N_{дв} \cdot \eta}$$

$$\eta_{N2} = \frac{0,15}{2,2 \cdot 0,8} = 0,086$$

Визначаємо основний час на обробку:

$$t_o = \frac{\pi \cdot D_{обр} \cdot l}{1000 v \cdot s} = \frac{3{,}14 \cdot 49{,}5 \cdot 1{,}25}{1000 \cdot 77{,}72 \cdot 0{,}1} = 0{,}025 \text{ хв.}$$

На інші операції механічної обробки деталі елементи режимів різання визначаємо з нормативів. Дані заносимо в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Режими різання

Номер		t, мм	S_o, мм/об, $S_{хв}$, мм/хв	v, м/хв	n, об/хв	t_o, хв.
Опер.	перехід					
005	2-10	3	125	387	475	5,87
010	2-7	3	125	387	475	$\sum$ 9,34
	8	10,13	200	40,06	630	
	9	9,6	100	37,2	300	
	10	3,25	270	180,55	12,50	
	11	0,35	80	14,7	100	
	12	0,15	60	14,7	100	
	13	5,1	180	32	1000	
	14	0,15	80	6,6	200	
	15	3	180	22,6	1000	
	16	2,5	140	15,7	1000	
	17	6	200	78,5	1000	
	18	5,6	180	35	1000	
	19	4,6	160	28,9	1000	
	20	3,35	160	21	1000	
	21	4,8	160	30,4	1000	
	22	0,15	80	6,28	200	
	23	2,5	140	15,7	1000	
	24	2,5	140	15,7	1000	
	25	9,5	0,2	29,8	500	
	26	0,5	0,4	31,4	500	
	27	7,75	0,2	24,3	500	
	28	0,25	0,4	25,1	500	
	29	5,3	0,2	23	710	
	30	0,25	0,4	25,1	500	
	31	1	0,1	13,5	355	
	32,33	0,5	1	5,2	280	
	35,36	3	200	94,2	1000	
	37	4,6	0,2	14,4	500	
	38	3,4	0,2	15	710	
	39	1	0,1	13,5	355	
	40	0,6	0,2	7	280	
015	2	1,5	100	9,9	1000	$\sum$ 4,17
	3	2,5	140	15,7	1000	
	4	6	200	50,24	1000	

Продовження табл. 3.12

1	2	3	4	5	6	7
015	5	4,8	160	30,4	1000	
	6	0,15	80	6,28	200	
	7	6	180	37,7	1000	
	8	6	180	37,7	1000	
	9	2,8	140	17,8	1000	
	10	8	200	88	1000	
	11	3	160	30,2	1000	
	12	2,5	140	15,7	1000	
	13-16	1	0,1	13,5	355	
	17,18	0,5	1	5,2	280	
	19	0,6	2	7	280	
	20	0,6	2	7	280	
020	2	2,6	0,2	11,6	710	0,39
025	2	2,6	0,2	11,6	710	0,38
030	2	1,25	0,1	28	180	0,4
035	2	4,6	0,2	14,4	500	0,28
040	2	0,5	1	8,7	280	0,28

Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу виконуємо для операції 030 вертикально-свердлильну, яка виконується на вертикально-свердлильному верстаті мод. 2Н125.

На вказаній операції виконується розточування двох канавок шириною 1,9 мм від ∅47 до $\varnothing 49{,}5^{+0{,}25}$, забезпечуючи при цьому шорсткість бічних поверхонь канавок по Ra 3,2 і впадин канавок по Ra 6,3.

Норма штучно-калькуляційного часу визначається за формулою:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + t_{пз} / n$$

де: $t_{пз}$ – підготовчо-заключний час;

n – кількість деталей у партії.

Норма штучного часу $t_{шт}$, розраховується за формулою:

$$t_{шт} = t_о + t_д + t_{т.о} + t_{о.о} + t_{відп}$$

де: $t_о$ – основний час визначається в розділі розрахунок режимів різання;

$t_д$ – допоміжний час, який включає в себе: час на встановлення та зняття деталі; час на підведення, відведення та зміну ріжучого інструменту; час на керування верстатом; час на проведення контрольних вимірів. Елементи допоміжного часу вибираються з нормативних таблиць;

$$t_д = t_{в.з.} + t_{п.в.} + t_{кер.} + t_{вим.}$$

$t_{в.з.}$ - час на встановлення та зняття деталі – 0,168 хв;

$t_{п.в.}$ - час на підведення та відведення інструмента – 0,036;

$t_{кер.}$ - час на керування верстатом – 0,03;

$t_{вим.}$ - час на проведення контрольних вимірів – 0,375.

Тоді:

$$t_{д} = 0{,}168 + 0{,}036 + 0{,}03 + 0{,}375 = 0{,}609 \text{ хв.}$$

$t_{т.о}$ – час на технічне обслуговування обладнання, розраховується за формулою:

$$t_{т.о} = \alpha\, t_{о}$$

де: α - нормативний процент від основного часу;

$$t_{т.о} = 0{,}03 \cdot 0{,}025 = 0{,}001 \text{ хв.}$$

$t_{о.о}$ – час на організаційне обслуговування, розраховується за формулою:

$$t_{о.о} = \beta\, t_{оп}$$

де: β - нормативний процент від оперативного часу; $t_{оп}$ – оперативний час, є сумою основного та допоміжного часу;

$$t_{о.о} = 0{,}06 \cdot 0{,}634 = 0{,}038 \text{ хв.}$$

$t_{відп}$ – час на перерви відпочинок та особисті потреби, розраховується за формулою:

$$t_{відп} = \gamma\, t_{оп}$$

де: γ - нормативний процент від оперативного часу;

$$t_{відп} = 0{,}025 \cdot 0{,}634 = 0{,}016 \text{ хв.}$$

$t_{пз}$ – підготовчо-заключний час - 9 хв.

n – кількість деталей у партії – 243 шт.

Тоді норма штучно-калькуляційного часу становить:

$$t_{шт.к} = t_{о} + t_{д} + t_{т.о} + t_{о.о} + t_{відп} + t_{пз}/n =$$

$$= 0{,}025+0{,}609+0{,}001+0{,}038+0{,}016+9/243=1{,}24 \text{ хв.}$$

Результати вибору та розрахунку норм часу на інші операції механічної обробки деталі, заносимо в таблицю 3.13.

Таблиця 3.13

Норма часу на обробку деталі

Номер операції	$t_о$, хв.	$t_д$, хв.	$t_{обсл}$, хв.		$t_{пер}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$t_{п-з}$, хв.	$t_{шт-к}$, хв.
			$t_{техн. об.}$	$t_{орг. об.}$				
005	5,87	1,23	0,02	0,01	0,01	7,14	16	7,17
010	9,34	3,48	0,02	0,02	0,01	12,87	18	12,9
015	4,17	1,84	0,02	0,01	0,01	6,05	16	6,08
020	0,39	0,23	0,001	0,008	0,005	0,63	8	0,66
025	0,38	0,23	0,0012	0,008	0,008	0,63	8	0,66
030	0,4	0,25	0,001	0,009	0,006	0,67	8	0,7
035	0,28	0,31	0,0012	0,007	0,005	0,60	8	0,63
040	0,28	0,27	0,001	0,007	0,008	0,57	8	0,6

3.3. Висновки

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі корпус забезпечує необхідні параметри точності та якості поверхонь, отвори 14, 22, 25, 26, 27, 36 деталі підлягають розгортанню, як чистовому методу обробки отворів. Розроблений технологічний процес складається з 8 операцій механічної обробки на відміну від базового, в якому 40 операцій. Раціоналізація технологічного процесу дозволила зменшити кількість металорізальних верстатів та замість універсальних свердлильних, фрезерних та різьбонарізних верстатів застосовано оброблювальні центри з ЧПУ. Оптимізовано час на обробку деталі. Вибрано затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої та різальні інструменти. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

На основі аналізу відомих конструкцій розверток (розділ 2) та аналізу точності та технологічності деталі вирішено, для отвору 25 деталі корпус $\varnothing 20^{+0,013}$ Ra 0,8 мкм спроектувати розвертку, яка завдяки своїм конструктивним особливостям дозволить уникнути огранювання обробленого отвору.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗВЕРТКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ДЕТАЛІ КОРПУС

4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції розвертки

На основі аналізу виконаного в розділі 2, можна визначити, що уникнення огранювання отвору має місце при таких варіантах конструктивних особливостей розверток:

- нерівномірному кроці розташування зубців, за рахунок чого знижується вібрація інструменту. При цьому, розвертка повинна бути збалансованою, тобто, сума проекцій складових сил різання у двох площинах має бути рівна. За такої умови, ступінь демпфірування радіальних коливань по координатам X та Y однаковий;

- збалансуванні розвертки з нерівномірним кроком за рахунок однакових кутів в кожній парі діаметрально протилежних зубців;

- збалансуванні розвертки з нерівномірним кроком за рахунок різних передніх кутів зубців розвертки. Оскільки, передній кут має великий вплив на кут результуючої сили різання;

- різній ширині задньої поверхні кожної різальної кромки при нерівномірному кроці розташування зубців. Несиметрична конструкція сприяє виникненню різної частоти вібрації кожної ріжучої кромки, що забезпечує зменшення резонансу у процесі різання кожною ріжучою кромкою;

- різнонахиленості зубців, яка забезпечує замкнутість різальної кромки за рахунок безперервного контакту різальної частини з оброблюваною поверхнею;

- змінності кута гвинтового зубця, тим самим утворюючи нерівномірний крок розташування зубців;

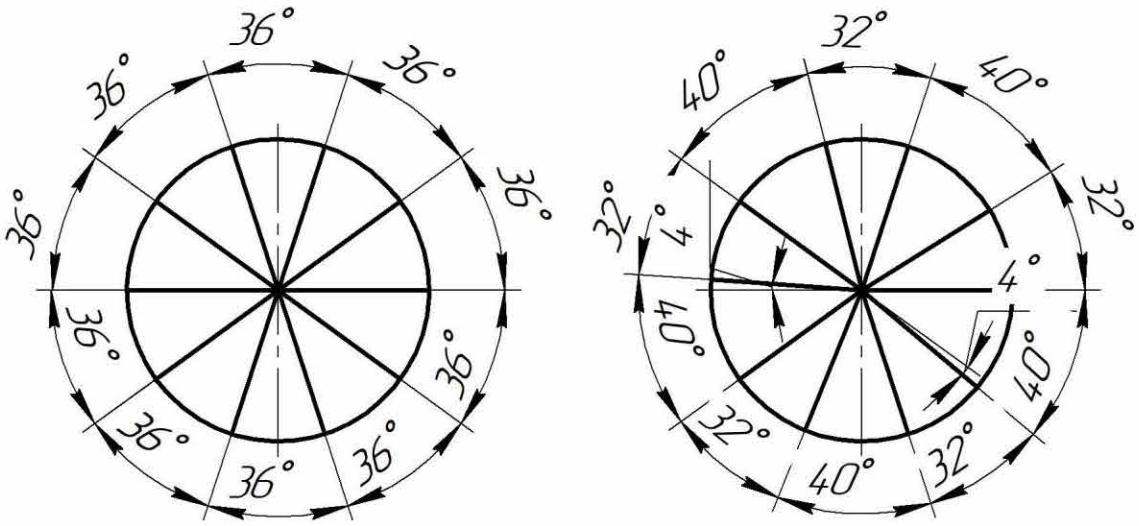
- ступінчастої забірної частини, яка розбиває припуск на два шари. Перший шар може мати різну глибину внаслідок попередньої обробки отвору. Другий знімаємий шар буде більш рівномірним, що зменшить вібрацію інструменту.

Тому, для удосконалення конструкції розвертки в роботі ставку зроблено саме на нерівномірність розташування різальних зубців в поперечному перерізі з варіюванням

кутів розташування двох суміжних зубців та балансуванням їх нерівномірного розташування за рахунок різних передніх кутів на суміжних зубцях розвертки.

4.2. Особливості геометрії удосконаленої розвертки

Проаналізувавши розвертки з нерівномірним кутовим розподілом зубців та відповідною їх кількістю та з метою максимального усунення явища огранювання отвору було вирішено розташувати зубці розвертки з наступними кутовими кроками: 40°, 32° (рис. 4.1, б). При чому, виконано зміщення на 4° відносно симетричного розташування двох зубців, які визначаються кутом 36°, оскільки, розвертка має 10 зубців.



а) б)

Рис. 4.1. Схема розташування кутів розвертки:
а – симетричної; б – удосконаленої з нерівномірним кутовим розподілом зубців

Для балансування зазначеної розвертки необхідно виконати передній кут, який буде мати різні значення на зубцях з більшим кутовим кроком та меншим відповідно.

Шлях, який проходить різальна кромка визначається за формулою:

$$l = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°}$$

де: r – радіус розвертки

Шлях, який проходить різальна кромка з кутовим кроком 40°:

$$l_1 = \frac{3{,}14 \cdot 10{,}0045 \cdot 40°}{180°} = 6{,}98 \text{ мм}$$

Шлях, який проходить різальна кромка з кутовим кроком 32°:

$$l_2 = \frac{3{,}14 \cdot 10{,}0045 \cdot 40°}{180°} = 5{,}58 \text{ мм}$$

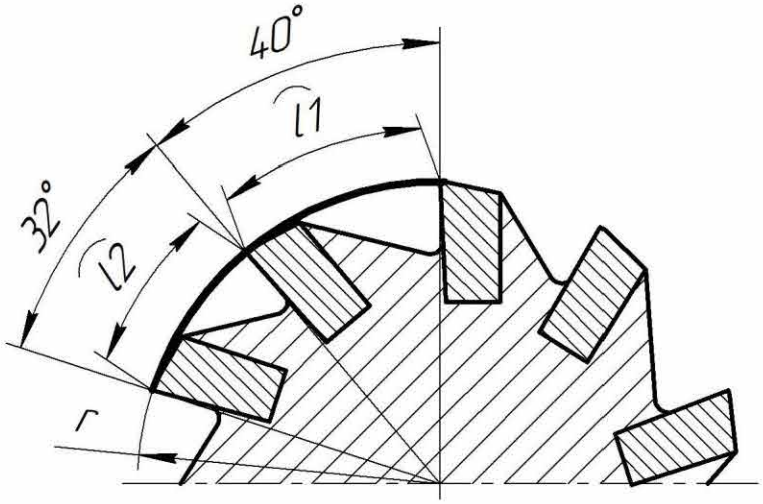


Рис. 4.2. Довжина шляху, який проходять різальні кромки розвертки

Тому, враховуючи відношення шляху різальних кромок з кутом 32° та 40° передній кут для зубців, які проходять коротший шлях становитиме 2°, а для зубців які проходять довший шлях – 3°. Таке співвідношення передніх кутів та кутів розташування різальних кромок зможе призвести до балансування різального інструменту і, як наслідок, до зниження вібрацій при обробці та зменшення величини огранювання.

Приклавши сили, які діють в зоні різання, схема сил при розгортанні розверткою з нерівномірним кутовим кроком та різними передніми кутами на суміжних зубцях буде мати вигляд, як на рисунках 4.3 та 4.4.

Сили, що діють в зоні різання: P – головна сила, Q – сила тяги, N – нормальна сила, F – сила тертя. Кут α – передній кут зубця.

Головна сила P визначається за формулою:

$$P_i = K_c \cdot \delta_i \cdot r_i,$$

де: K_c – питома сила різання;

r_i – радіальне зміщення різальної кромки.

Радіальне зміщення різальної кромки визначається за формулою:

$$r_i = x_E \cdot cos\alpha_i + y_E \cdot sin\alpha_i,$$

де: $x_E = x(L)$, $y_E = y(L)$ – зсув різальної кромки за х та у координатами відповідно.

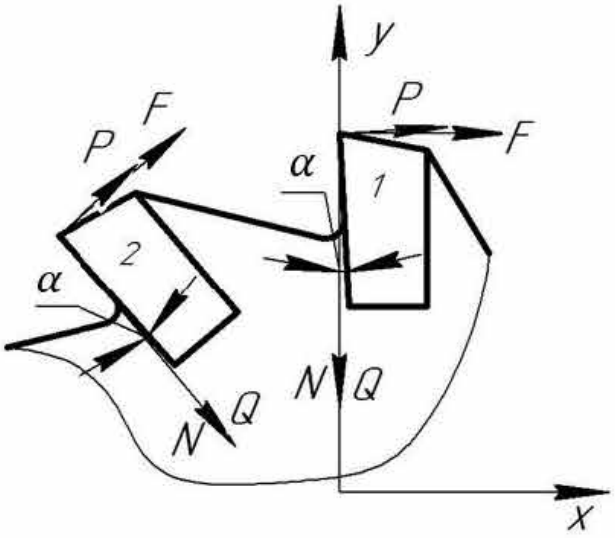


Рис. 4.3. Схема сил різання

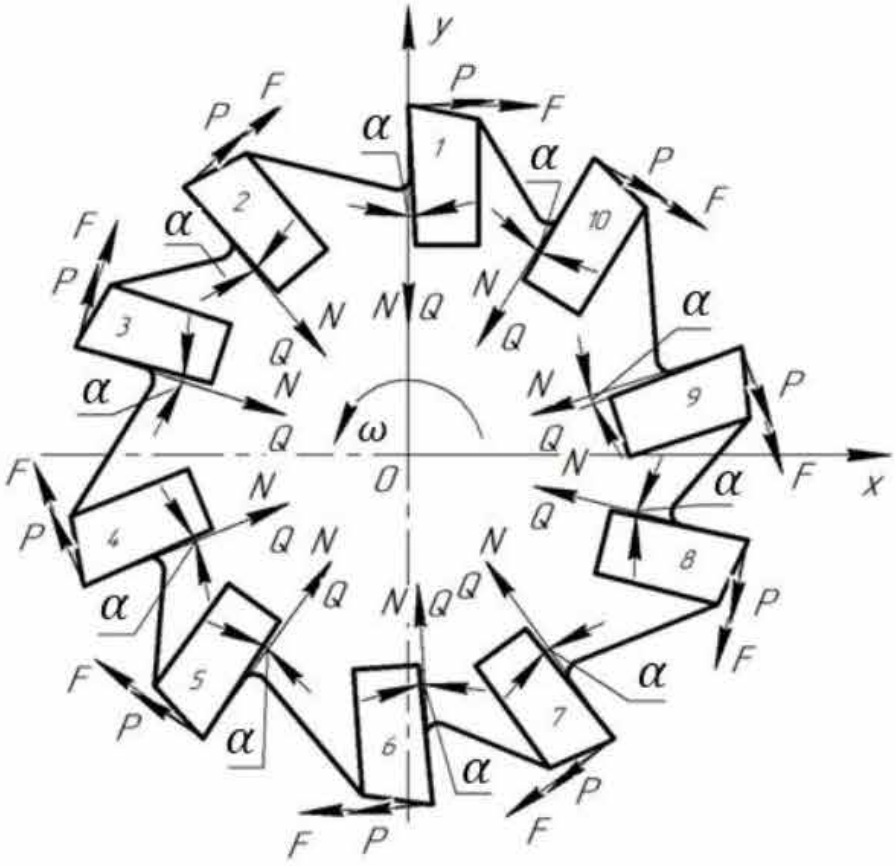


Рис. 4.4. Схема сил різання розвертки

$$\delta_i = \delta \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{2\pi},$$

$$\sum_{i=1}^{n} \delta_i = \delta$$

Сила тяги Q визначається за формулою:

$$Q_i = bP_i,$$

де: b - відношення сили тяги до головної сили.

Нормальна сила N визначається за формулою:

$$N_{i,l} = k\delta_{i+1}\left(r_i - r_{i+1}\left(t - \frac{\alpha_{i+l} - \alpha_i}{\omega}\right)\right) + c\delta_{i+l}\left(r_i - r_{i+1}\left(t - \frac{\alpha_{i+l} - \alpha_i}{\omega}\right)\right)$$

де: k і c – розподілена постійна пружності та розподілений коефіцієнт демпфування між ріжучою кромкою та поверхнею заготовки на одиницю довжини.

Сила тертя F визначається за формулою:

$$F_i = \mu N_i$$

де: μ - коефіцієнт тертя.

$$F_x = \sum_{i=1}^{n}\left((P_i + F_i)sin\alpha_i - (Q_i + N_i)cos\alpha_i\right)$$

$$F_y = \sum_{i=1}^{n}(-(P_i + F_i)cos\alpha_i - (Q_i + N_i)sin\alpha_i)$$

За даними формулами можна розрахувати значення сил в залежності від переднього кута і в подальшому оптимізувати розвертку для зменшення негативного явища огранювання.

4.3. Проектування конструкції розвертки

На 26 переході 010 комплексної з ЧПУ операції, що виконується на обробному центрі ЕС500 виконується розгортання отвору 25 (рис. 3.2) $\varnothing 20^{+0,013}$ Ra 0,8 довжиною 100 мм. Для виконання даного переходу необхідно спроектувати розвертку із описаними в пункті 4.2 конструктивними особливостями.

Для проектування циліндричної розвертки, корпус якої виготовлено зі сталі 40Х, з напайними пластинами із твердого сплаву ВК8 для чистової обробки отвору ∅20 Н6 деталі кришка з алюмінієвого сплаву АК12М2, спершу розраховуємо максимальний діаметр розвертки, який визначається за формулою [3]:

$$D = D_O + \delta - P,$$

де: D_O – діаметр отвору, отримуваного після розгортання, мм;

δ – допуск на діаметр отвору, мм;

P – величина розбивки отвору, мм

$$P = \frac{1}{3}\delta$$

$$P = \frac{1}{3}0{,}013 = 0{,}0032 \text{ мм}$$

$$D = 20 + 0{,}013 - 0{,}0032 = 20{,}009 \text{ мм}$$

Калібруюча частина розвертки має зворотну конусність. Діаметр меншої частини конусу визначається за формулою:

$$d_1 = D - \frac{1}{3}\delta$$

$$d_1 = 20{,}009 - 0{,}0032 = 20{,}005 \text{ мм}$$

Діаметр початку забірного конуса для машинної розвертки визначається за формулою:

$$d_{\text{заб}} = D - (0{,}5 \dots 1{,}0)$$

$$d_{\text{заб}} = 20{,}009 - 0{,}6 = 19{,}409 \text{ мм}$$

Кут при вершині розвертки φ=12^0.

Забірна частина переходить у калібруючу плавною кривою.

Початок забірної частини розвертки додатково забезпечується фаскою під кутом 45^0. Дана фаска забезпечує захист зубців забірної частини від викришування у випадку наявності збільшеного припуску або будь-яких дефектів в отворі.

Довжина забірної частини визначається за формулою:

$$l_{\text{заб}} = \frac{D - d_{\text{заб}}}{2} ctg\ \varphi + (1 \dots 3)$$

$$l_{\text{заб}} = \frac{20{,}009 - 19{,}409}{2} ctg\ 12° + 3 = 5 \text{ мм}$$

Довжина робочої частини розвертки визначається за формулою:

$$l_{\text{роб}} = (0{,}8 \dots 7)D$$

$$l_{\text{роб}} = 2{,}5 \cdot 20 = 50 \text{ мм}$$

Кількість зубців розвертки зазвичай приймається парною, що полегшує контроль діаметру інструменту.

Кількість зубців розвертки визначається за формулою:

$$Z = 1{,}5\sqrt{D} + (2 \dots 4)$$

$$Z = 1{,}5\sqrt{20} + 3 = 10$$

Задній кут $\alpha = 12°$.

Передній кут для зубців, які проходять коротший шлях становитиме 2°, а для зубців які проходять довший шлях – 3°.

Зубці розвертки на калібруючій частині додатково забезпечені стрічкою. Вона призначена для забезпечення направлення розвертки в отворі, виконує вигладжування та калібрування отвору по розміру, а також полегшує контроль розвертки по діаметру. Ширина стрічки $f = 0{,}05 \dots 0{,}3$ мм. Приймаємо $f = 0{,}15$ мм.

Кутові кроки зубців розвертки є нерівномірними та рівні: $\omega_1 = 32°$, $\omega_2 = 40°$, $\omega_3 = 32°$, $\omega_4 = 40°$, $\omega_5 = 32°$, $\omega_6 = 40°$, $\omega_7 = 32°$, $\omega_8 = 40°$, $\omega_9 = 32°$, $\omega_{10} = 40°$.

Геометрія стружкової канавки:

- висота зубця $h = 2$ мм;

- кут стружкової канавки $\beta = 55° \dots 75°$.

- радіус закруглення дна канавки $r = 0{,}3 \dots 0{,}8$ мм.

Довжина зворотного конуса калібруючої частини $l_{\text{зк}} = 5$ мм.

Діаметр в кінці калібруючої частини визначається за формулою:

$$D_{\text{зк}} = D - (0{,}05 \dots 0{,}07)$$

$$D_{\text{зк}} = 20{,}009 - (0{,}05 \dots 0{,}07) = 20{,}009 - 0{,}05 = 19{,}959 \text{ мм}$$

Креслення розробленої розвертки представлено на рисунку 4.5.

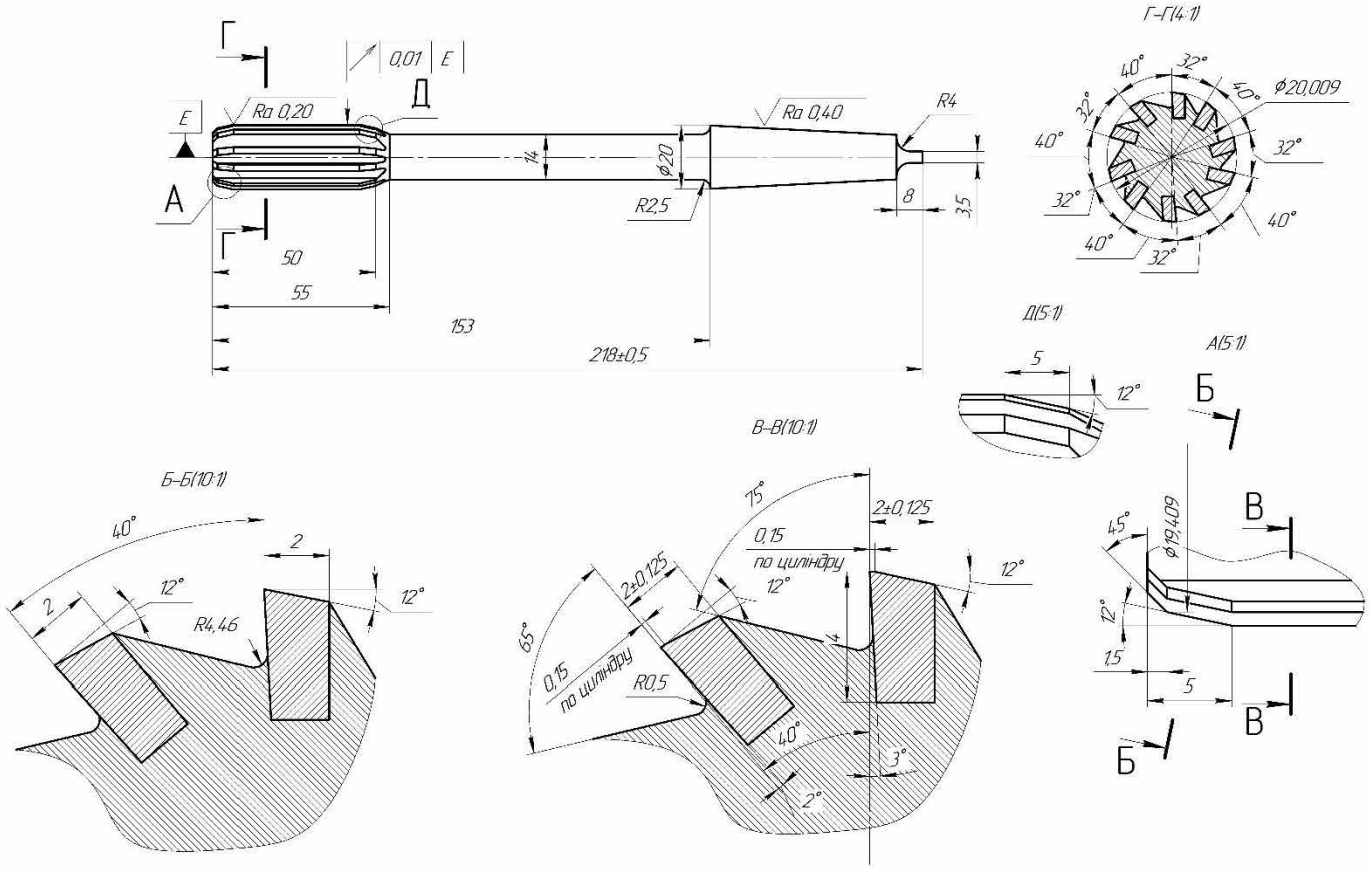


Рис. 4.5. Креслення розвертки

4.4. Висновки

Виконавши аналіз розверток в яких зубці розташовані нерівномірно, запропоновано конструкцію розвертки у якої зубці зміщені на 4° відносно їх симетричного розташування. Передні кути на двох сусідніх зубцях виконані різними і становлять 2° і 3° відповідно. Запропоновані зміни дадуть можливість збалансувати різальний інструмент та зменшити ефект огранювання при розгортанні отворів.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

5.1. Визначення програми запуску деталей у виробництво

Річну програму запуску деталі «корпус» у виробництво визначаємо за формулою:

$$N_з = N_в \cdot m + N_{зч} + N_{бр},$$

де $N_в$ – річна програма випуску вузлів, у яких використовується дана деталь, шт./рік;

m – кількість деталей в одному вузлі, шт.;

$N_{зч}$ – кількість деталей, що випускаються у якості запчастин (приймаємо у розмірі 20% від $N_в \times m$);

$N_{бр}$ – кількість деталей, які компенсують технологічно неминучий брак, шт.:

$$N_{бр} = \left(N_в + N_{зч}\right) \cdot \left[\left(1+\frac{\alpha_л}{100}\right)\left(1+\frac{\alpha_1}{100}\right)\cdot\ldots\cdot\left(1+\frac{\alpha_m}{100}\right)-1\right]$$

$\alpha_л$ – процент браку на заготівельних операціях;

$\alpha_1 \ldots \alpha_m$ – процент браку на операціях механічної обробки.

$$N_{бр}^{К} = (2000 \cdot 12 + 24000 \cdot 0,2)\left[\left(1+\frac{2}{100}\right)\left(1+\frac{1}{100}\right)^3 - 1\right] = 1466 \text{ шт.}$$

$$N_з^{К} = 2000 \cdot 12 + 24000 \cdot 0,2 + 1466 = 30266 \text{ шт.}$$

5.2. Визначення потрібної кількості обладнання та типу виробництва

Потрібну кількість робочих місць на операціях технологічного процесу механічної обробки деталі «корпус» визначимо за формулою:

$$q_{р(і)} = \frac{N_з \cdot t_{шт(і)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_в},$$

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

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин:

$$F_{дрм} = F_н \cdot S \cdot (1 - 0,01 \cdot f),$$

де $F_н$ – номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, год. (визначається за календарем з урахуванням кількості святкових та вихідних днів у поточному році, а також 8-годинній тривалості зміни);

S – режим (кількість змін) роботи цеху;

f – регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина f може складати 8-10% [1, с. 4].

$$F_{дрм} = (365 - 104 - 11) \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 3890 \; год.$$

$k_в$ – нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно з [1, с. 4]).

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{30266 \cdot 7,14}{3890 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,92$$

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

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній детале-операції:

$$\eta_{з(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{пр(i)}},$$

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

Так, наприклад, на операції 005 техпроцесу:

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,92}{1} = 0,92 .$$

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

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

$$\overline{\eta}_з = \frac{\sum_{i=1}^{m} q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^{m} q_{пр(i)}} = \frac{3,74}{9} = 0,42$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок навантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	Кількість обладнання		$\eta_з$	$\overline{\eta}_з$
			$q_р$	$q_{пр}$		
005	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	7,14	0,92	1	0,92	
010	Комплексна з ЧПУ	12,87	1,65	2	0,83	
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	6,05	0,78	1	0,78	
020	Вертикально-свердлильна	0,63	0,08	1	0,08	
025	Вертикально-свердлильна	0,63	0,08	1	0,08	0,42
030	Вертикально-свердлильна	0,67	0,09	1	0,09	
035	Вертикально-свердлильна	0,6	0,08	1	0,08	
040	Різьбонарізна	0,57	0,07	1	0,07	
	Всього	29,16	3,74	9	2,92	

Середній коефіцієнт завантаження обладнання цеху складає 0,42, що відповідає великосерійному типу виробництва [1, дод. Д1]. – великосерійний.

5.3. Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів великосерійного 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.

Розрахунковий розмір партії деталей $n_р$ визначається за формулою, яка застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (підготовчо-заключний час не перевищує 30 хв.) [1, с. 5]. Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії

деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5F_{зм.д}}{t_{шт}^{\min}},$$

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

$t_{шт}^{min}$ – штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,57} \approx 386 \text{ шт.}$$

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:

$$A_p = \frac{N_з}{n_p} = \frac{30266}{386} = 78,$$

визначимо фактичну кількість партій ($A_ф$) 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 $A_ф$, розмір партії деталей:

$$n_{пр} = \frac{N_з}{A_ф} = \frac{30266}{52} = 582 \text{ шт.}$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_з = \frac{T_р}{A_ф} = \frac{250}{52} = 4,8 \text{ роб. днів},$$

де $T_р$ – кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу міжопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{пр} \cdot t_{к-д(i)}}{S \cdot F_{зм.д}},$$

де $n_{пр}$ – остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{к-д(i)}$ – калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{к-д(i)} = \frac{t_{шт(i)}}{k_в \cdot p_{m(i)} \cdot q_{пр(i)}} + \frac{t_{п-з(i)}}{n_{пр}} \quad ,$$

де $k_в$ – коефіцієнт виконання норм на даній операції;

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

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

Результати розрахунків $t_{к-д(i)}$ і $T_{о(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Наприклад, для операції 005:

$$t_{к-д(005)} = \frac{7,14}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{12}{582} = 7,090 \text{ хв.};$$

$$T_{о(005)} = \frac{582 \cdot 7,090}{2 \cdot 440} = 18,76 \text{ дн.}$$

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	$t_{п-з}$, хв.	$t_{к-д}$, хв.	$T_о$, днів	$t_{мо}$, днів
005	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	7,14	12	7,090	18,76	1,87
010	Комплексна з ЧПУ	12,87	20	6,406	16,95	1,87
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	6,05	12	6,011	15,90	1,87
020	Вертикально-свердлильна	0,63	8	0,638	1,69	1,87
025	Вертикально-свердлильна	0,63	8	0,638	1,69	1,87
030	Вертикально-свердлильна	0,67	8	0,677	1,79	1,87
035	Вертикально-свердлильна	0,6	8	0,608	1,61	1,87
040	Різьбонарізна	0,57	8	0,578	1,53	1,87
	Всього	29,16	-	22,644	59,90	15,0

Для даної партії деталей може бути обраний паралельно-послідовний рух, який рекомендується приймати при предметному розташуванні обладнання, та тривалості операційних циклів, що в середньому перевищують два дні.

Тривалість виробничого циклу при паралельно-послідовному русі:

$$T_{п-п} = \sum_{i=1}^{m} T_{o_i} - \frac{(n-p)\sum_{i=1}^{m-1} t_{к-д(i)}^{кор}}{S \cdot F_{зм.д}} + \sum_{i=1}^{m} t_{мо} \ ,$$

де $t_{мо}$ – час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{мо} = \frac{(0,25...0,8)\cdot\sum_{i=1}^{m} T_{o_i}}{m} = \frac{0,25\cdot 59,9}{8} = 1,87 \text{ днів},$$

p – кількість деталей у транспортній партії:

$$p = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{10}\right)\cdot n_{пр} = \frac{1}{6}\cdot 582 = 97 \text{ шт.},$$

$t^{кор}_{к-д(i)}$ – калькуляційно-дійсний час найкоротшої з кожної пари суміжних операції, хв.

$$\sum_{i=1}^{m-1} t^{кор}_{к-д(i)} = 6,406 + 6,011 + 0,638 + 0,638 + 0,638 + 0,608 + 0,578 = 15,515 \text{ хв}.$$

$$T_{п-п} = \sum_{i=1}^{m} T_{o_i} - \frac{(n-p)\sum_{i=1}^{m} t^{кор}_{к-д(i)}}{S\cdot F_{зм.д}} + \sum_{i=1}^{m} t_{мо} = 59,9 - \frac{(582-97)\cdot 15,515}{2\cdot 440} + 15,0 = 36,4 \text{ дн.}$$

Графік паралельно-послідовного виду руху партії деталей «корпус» представлено на рис. 5.1.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$З_ц = \frac{n_{пр}\cdot T_ц}{R_з} = \frac{582\cdot 36,4}{4,8} = 4414 \text{ шт.},$$

де $T_ц$ – тривалість виробничого циклу виготовлення партії деталей,

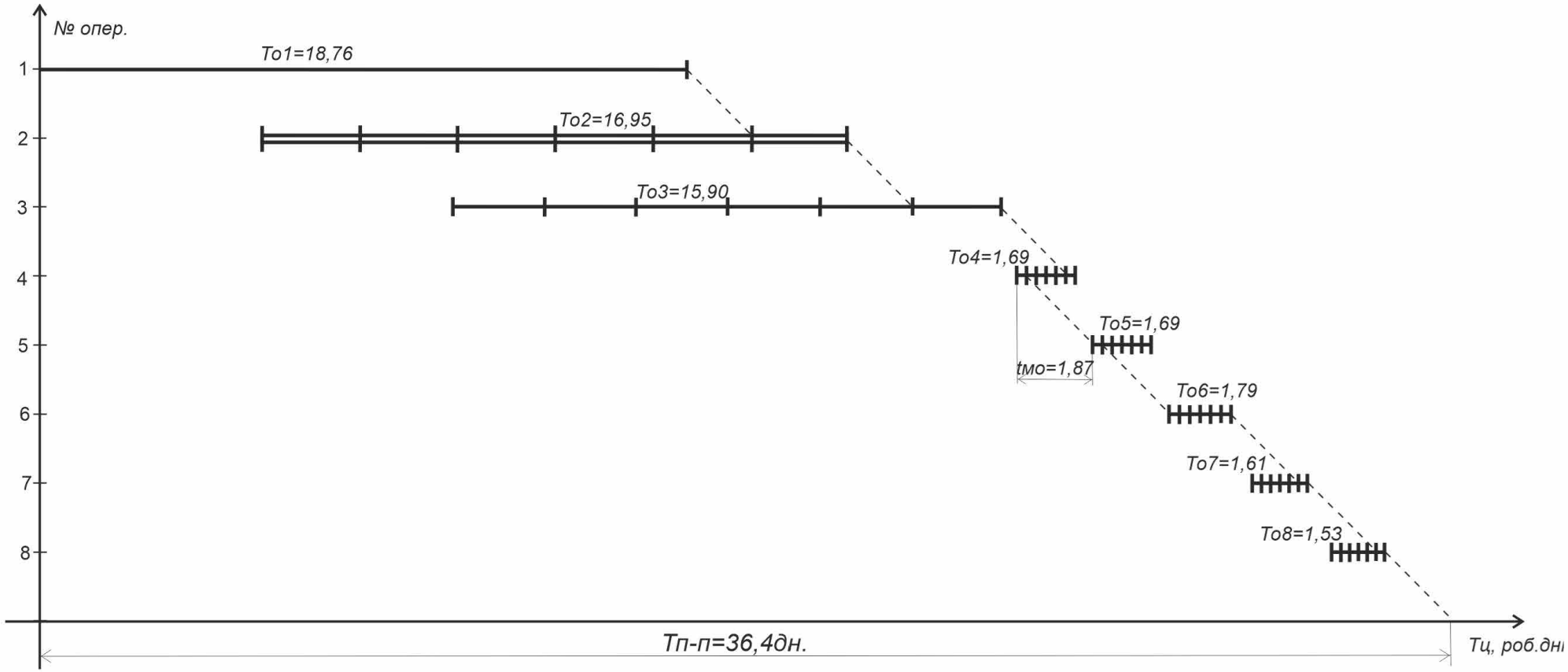


Рис. 5.1. Графік паралельно-послідовного руху партії деталей «корпус»

5.3.1. Визначення чисельності основних робітників цеху

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

$$R_o = \frac{T_p}{F_{др}},$$

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

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

де $K_{дов}$ – коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного ($\eta_{зн}$) для даного типу виробництва [1, дод. Д1]:

$$K_{дов} = \frac{\eta_{зн}}{\overline{\eta}} = \frac{0,8}{0,42} = 1,9.$$

d – процент 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 $F_н$, зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин $C_н$ (8...10%)):

$$F_{др} = F_н \cdot (1 - 0,01 \cdot C_н) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.},$$

$$T_p = 30266 \cdot \frac{29,16}{60} \cdot 1,9 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 33537 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{33537}{1840} = 18 \text{ осіб.}$$

5.4. 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):

$$C_{тех} = V \cdot N_з + P,$$

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.

Таблиця 5.3

Характеристика змін при обробці деталі «корпус»

№ оп.	Базовий варіант		Розряд	№ оп.	Проектний варіант		Розряд
	Найменування операції (обладнання)	$t_{шт}$, хв.			Найменування операції	$t_{шт}$, хв.	
030	Вертикально-фрезерна з ЧПУ (6Т13ФЗ)	17,85	3	010	Комплексна з ЧПУ (ЕС500)	12,87	4
035	Фрезерна (ГФ2117)	7,82	3				
045	Фрезерна (ГФ2117)	7,8	3				
060	Вертикально-свердлильна (2Н125)	2,87	3				
085	Вертикально-свердлильна (2Н125)	0,95	3				
090	Вертикально-свердлильна (2Н125)	1,22	3				
140	Різьбонарізна (2056)	0,48	3				
145	Різьбонарізна (2056)	0,62	3				
200	Вертикально-свердлильна (2Н125)	0,44	3				
205	Різьбонарізна (2056)	1,1	3				
	Всього	41,15			Всього	12,87	

5.4.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + З_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{еп},$$

де $М_о$ – вартість основних матеріалів, грн;

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

$Е_с$ – витрати на електроенергію силову, грн;

$В_р$ – витрати на ремонт обладнання, грн;

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

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

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

$В_{еп}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

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

$$З_{одв} = С_{г(і)} \frac{t_{шт(і)}}{60}\left(1+К_д\right)\cdot\left(1+К_с\right),$$

де $С_{г(і)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду *і*-тої операції техпроцесу, грн/год.;

$t_{шт(і)}$ – штучний час *і*-тої операції, хв;

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

В базовому варіанті:

$$З_{одв.баз} = \frac{70,180\cdot 41,15}{60}\cdot\left(1+0,1\right)\cdot\left(1+0,22\right) = 64,593 \text{ грн;}$$

В проєктному варіанті:

$$З_{одв.пр} = 77,980\cdot\frac{12,87}{60}\cdot\left(1+0,1\right)\cdot\left(1+0,22\right) = 22,447 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов’язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, дод. Д2] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного технологічних процесів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потуж-ність електро-двигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м^2	Оптова ціна, тис. грн.
Базовий варіант					
6Т13Ф3 Вертикально-фрезерний	3,60×2,26	11,0	15/12	8,14	471,0
ГФ2117 Спеціальний фрезерний	2,68×2,26	11,0	20/18	6,06	210,0
2Н125 Свердлильний	0,92×0,79	2,2	11/8,5	0,73	29,0
2056 Різьбонарізний	0,87×0,59	1,3	12/5,5	0,51	105,0
Проєктний варіант					
EC500 Haas Обробний центр з ЧПУ	4,45×4,655	22,0	50/28	20,71	1240

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_в \cdot K_о \cdot K_N \cdot K_д}{\eta_в \cdot \eta_м} \cdot \frac{t_{шт}}{60} \cdot Ц_{ел},$$

де $N_в$ – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

$K_о$ – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_о$=0,65...0,8;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,6…0,7 – для фрезерних верстатів, 0,5…0,6 – для свердлильних та різьбонарізних верстатів, 0,7…0,8 – для обробних центрів);

$K_д$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_д$=0,3...0,5;

$\eta_в$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_в$=0,92…0,96;

$\eta_м$ – ККД електродвигунів, $\eta_м$=0,86…0,9;

$Ц_{ел}$ – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

Наприклад, для проєктного варіанту:

$$E_{с.пр} = \frac{22,0 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{12,87}{60} \cdot 7,5 = 11,854 \text{грн.}$$

Розрахунки $E_с$ за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Розрахунок витрат на електроенергію силову

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$N_в$, кВт	K_N	$t_{шт}$, хв.	$E_{с.баз}$, грн.	№ опер.	$N_в$, кВт	K_N	$t_{шт}$, хв.	$E_{с.пр}$, грн.
030	11,0	0,7	17,85	7,193	010	22,0	0,8	12,87	11,854
035,045	11,0	0,7	15,62	6,294					
060,085 ,090,20 0	2,2	0,6	5,48	0,379					
140,145 ,205	1,3	0,6	2,2	0,090					
Всього	-	-	41,15	13,955	Всього	-	-	12,87	11,854

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_р = \frac{W_м \cdot R_м + W_е \cdot R_е}{F_{дрм}} \cdot \frac{t_{шт}}{60},$$

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

$R_м$, $R_е$ – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО.

$$B_{р.пр} = \frac{50 \cdot 880 + 28 \cdot 720}{3890} \cdot \frac{12,87}{60} = 3,538 \text{ грн. грн.}$$

Розрахунки $B_р$ за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 5.6.

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{гв} \cdot R_м \cdot t_{шт}}{100 \cdot 60} \cdot K_в,$$

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

$K_в$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

Таблиця 5.6

Розрахунок витрат на ремонт обладнання

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	R_m, УРО	R_e, УРО	$t_{шт}$, хв.	B_p, грн.	№ опер.	R_m, УРО	R_e, УРО	$t_{шт}$, хв.	B_p, грн.
030	15	12	17,85	1,670	010	50	28	12,87	3,538
035, 045	20	18	15,62	2,045					
060, 085,090, 200	11	8,5	5,48	0,371					
140, 145,205	12	5,5	2,2	0,137					
Всього	-	-	41,15	4,223	Всього	-	-	12,87	3,538

$$B_{\text{мд.пр}} = \frac{79,5 \cdot 50 \cdot 12,87}{60 \cdot 100} \cdot 1,1 = 9,379 \text{ грн.}$$

Розрахунки $B_{мд}$ за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Базовий варіант				Проектний варіант			
№ опер.	$R_м$, УРО	$t_{шт}$, хв.	$B_{мд.баз}$, грн.	№ опер.	$R_м$, УРО	$t_{шт}$, хв.	$B_{мд.пр}$, грн.
030	15	17,85	3,902	010	40	12,87	9,379
035,045	20	15,62	4,553				
060,085,090, 200	11	5,48	0,879				
140,145,205	12	2,2	0,385				
Всього	-	41,15	9,719	Всього	-	12,87	9,379

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{Ф_{бал} \cdot Н_а \cdot t_{шт}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}},$$

де $Ф_{бал}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$Ф_{бал} = Ц_{опт} \cdot \left(1 + К_{тр} + К_м + К_ф\right),$$

де $Ц_{опт}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

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

$Н_{а}$ – норма амортизації на реновацію, %.

Так балансова вартість обробного центру EC500 Haas:

$$Ф_{\text{бал.пр}} = 1240000 \cdot (1 + 0,07 + 0,06 + 0,05) = 1463200 \text{ грн.}$$

$Н_{а}$ – норма амортизації на реновацію, %;

$\eta_{зн}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для цехів даного типу виробництва (для ВС $\eta_{зн}$ = 0,8).

$$В_{\text{а.пр}} = \frac{1463200 \cdot 20 \cdot 12,87}{3890 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 20,171 \text{ грн.грн.}$$

Розрахунки $В_{а}$ за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$Ц_{опт}$, тис.грн.	$Ф_{бал}$, тис.грн.	$t_{шт}$, хв	$В_{ам.баз}$, грн.	№ опер.	$Ц_{опт}$, тис.грн.	$Ф_{бал}$, тис.грн	$t_{шт}$, хв	$В_{ам.пр}$, грн.
030	471,0	560,49	17,85	10,716	010	1240,0	1463,2	12,87	20,171
060,085, 090,200	29,0	34,51	5,48	0,203					
140,145, 205	105,5	125,545	2,2	0,296					
Всього	-		25,53	11,215	Всього	-		12,87	20,171

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$В_{еп} = \frac{S_{од} \cdot k_{f} \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{шт}}{60},$$

де $S_{од}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м^2;

k_{f} – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [1, табл. 4].

$С$ – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1м^2 виробничого приміщення, грн.

$$В_{\text{уп.пр}} = \frac{20,71 \cdot 1,5 \cdot 780}{3890 \cdot 0,8} \cdot \frac{12,87}{60} = 1,670 \text{ грн.}$$

Розрахунки $B_{уп}$ за операціями базового техпроцесу зведемо до табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Розрахунок витрат на утримання приміщення

Базовий варіант						Проектний варіант					
№ опер.	$S_{од}$, м^2	k_f	$S_{од}\times k_f$, м^2	$t_{шт}$, хв.	$B_{еп.баз}$ грн.	№ опер.	$S_{од}$, м^2	k_f	$S_{од}\times k_f$, м^2	$t_{шт}$, хв.	$B_{еп.пр}$, грн.
030	8,14	2,5	20,35	17,85	1,517	010	20,71	1,5	31,065	12,87	1,670
035,045	6,06	2,5	15,15	15,62	0,989						
060,085 090,200	0,73	4,0	2,92	5,48	0,067						
140,145 205	0,51	4,0	2,04	2,2	0,019						
Всього	-	-	40,46	41,15	2,592	Всього	-	-	31,065	12,87	1,670

5.4.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр},$$

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

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у порівнюваних варіантах відсутнє);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у порівнюваних варіантах відсутнє), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{гн} \cdot \frac{t_{п-з}}{60} \cdot (1 + K_д) \cdot (1 + K_с) \cdot A,$$

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

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

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

$$B_{нал.баз} = (88,375 \cdot \frac{8 \cdot 4 + 12}{60} + 103,969 \cdot \frac{24}{60}) \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 7424,734 \text{ грн.}$$

$$B_{нал.баз} = 103,969 \cdot \frac{20}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 2418,458 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію спеціального обладнання:

$$B_{ам.сп} = \frac{Ф_{бал} \cdot Н_а}{100},$$

$$B_{ам.сп.баз} = \frac{249900 \cdot 2 \cdot 20}{100} = 99960 \text{ грн.}$$

Витрати на створення програмного забезпечення:

$$B_{пр} = T_{пр} \cdot З_{год} \cdot К_{дс},$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість підготовки програмного забезпечення, яка враховує трудомісткість розробки операційної карти техпроцесу, керуючої програми, карт налагодження інструменту, карти кодування інформації, год.;

$З_{год}$ – середньогодинна заробітна плата інженерів з підготовки програмного забезпечення, грн./год.;

$К_{дс}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату та єдиний соціальний внесок.

$$B_{пр.баз} = 31,5 \cdot 91,20 \cdot 1,342 = 3855,43 \text{ грн.}$$

$$B_{пр.пр} = 52,5 \cdot 91,20 \cdot 1,342 = 6425,71 \text{ грн.}$$

5.4.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1	2	3	4
1.	*Змінні витрати V*		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	64,593	22,447
1.2	Електроенергія силова	13,955	11,854
1.3	Ремонт обладнання	4,223	3,538
1.4	Матеріали допоміжні	9,719	9,379
1.5	Амортизація універсального обладнання	11,215	20,171

Продовження табл. 5.10

1	2	3	4
1.6	Експлуатація приміщень	2,592	1,670
	Всього змінних витрат	106,297	69,059
2.	*Постійні витрати Р*		
2.1	Налагодження обладнання	7424,734	2418,458
2.2	Амортизація спеціального обладнання	99960,00	–
2.2	Створення програмного забезпечення	3855,43	6425,71
	Всього постійних витрат	111240,16	8844,17
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	3328425	2098984

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 106,297 \cdot 30266 + 111240,16 = 3328425 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 69,059 \cdot 30266 + 8844,17 = 2098984 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «корпус» $N_з$=30266 шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

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

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{8844,17 - 111240,16}{106,297 - 69,059} = -2750 \text{ шт.},$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «корпус» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

5.4.4. Розрахунок показників економічної ефективності обраного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_р = \left(C_{тех.баз} + E_н \cdot K_{баз}\right) - \left(C_{тех.пр} + E_н \cdot K_{пр}\right),$$

де $E_н$ – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}$, $K_{пр}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $Ф_{бал}$, оснащення $B_{осн}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{буд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих детале-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = \left(Ф_{бал} + B_{осн} + K_{буд}\right) \cdot \eta_{з_i},$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot Ц_{буд},$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$Ц_{буд}$ – ціна 1м^2 виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м^3.

$$K_{буд.баз} = (20,35 \cdot 3 + 15,15 \cdot 2 + 2,92 \cdot 4 + 2,04 \cdot 3) \cdot 8 \cdot 6200 = 5413840 \text{ грн.};$$

$$K_{буд.пр} = 31,065 \cdot 8 \cdot 6200 = 1540824 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$Ф_{бал.баз} = 560490 \cdot 3 + 249900 \cdot 2 + 34510 \cdot 4 + 125545 \cdot 3 = 269545 \text{ грн.};$$

$$Ф_{бал.пр} = 1463200 \cdot 2 = 2926400 \text{ грн.}$$

$$K_{баз} = \left(5413840 + 2695945\right) \cdot 0,38 = 3081718 \text{ грн.}$$

$$K_{пр} = \left(1540824 + 2926400\right) \cdot 0,83 = 3707796 \text{ грн.}$$

$$E_р = \left(3328425 + 0,16 \cdot 3081718\right) - \left(2098984 + 0,16 \cdot 3707796\right) = 1129300 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр} - K_{баз}}{C_{тех.баз} - C_{тех.пр}} = \frac{3707796 - 3081718}{3328425 - 2098984} = 0,5 \text{ року.}$$

5.5. Розрахунок планової цехової собівартості

Цехову собівартість виготовлення деталі визначимо як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + З_{од} + B_c + B_{ін} + B_o + B_ц,$$

де M_o – вартість основних матеріалів, грн:

$З_{од}$ – основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн;

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

$B_{ін}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн;

B_o – витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн;

$B_ц$ – цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot Ц_м \cdot K_{тр} - a_в \cdot Ц_в,$$

де a_p – норма витрат матеріалу (АК12М2), кг;

$Ц_м$ – ціна матеріалу, грн./кг;

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

$a_в$ – маса відходів, кг;

$Ц_в$ – ціна відходів, грн./кг;

$$M_o = 6,3 \cdot 220,0 \cdot 1,05 - (7,50 - 6,3) \cdot 30,00 = 1419,30 \text{ грн.};$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$З_{од} = P_в \left(1 + K_д\right),$$

де $P_в$ – відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{оп(i)}$:

$$P_в = \sum_1^m P_{оп_i} = \sum_1^m \frac{e^в_{год_i} \cdot t_{шт-к_i}}{60},$$

де $e^в_{годі}$ – годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i-ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{шт\text{-}кі}$ – штучно-калькуляційний час i-ої операції технологічного процесу, хв.:

На першій операції техпроцесу:

$$t_{шт-к(005)} = 7,14 + \frac{12}{582} = 7,161 \text{ хв},$$

$$P_{оп(005)} = 70,180 \cdot \frac{7,161}{60} = 8,3755 \text{ грн/шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{шт-к}$, хв	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн/год	Розцінка на деталь, грн
005	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	7,161	3	70,180	8,3755
010	Комплексна з ЧПУ	12,904	4	77,980	16,7714
015	Вертикально-фрезерна з ЧПУ	6,071	3	70,180	7,1006
020	Вертикально-свердлильна	0,644	3	70,180	0,7530
025	Вертикально-свердлильна	0,644	3	70,180	0,7530
030	Вертикально-свердлильна	0,684	3	70,180	0,7998
035	Вертикально-свердлильна	0,614	3	70,180	0,7179
040	Різьбонарізна	0,584	3	70,180	0,6828
	Всього	29,304	–	–	35,9539

$$З_{од} = 35,954 \cdot (1 + 0,1) = 39,549 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$В_с = 39,549 \cdot \frac{22}{100} = 8,701 \text{ грн.},$$

де $К_с$ – відсоток єдиного соціального внеску.

*Витрати на експлуатацію спеціального осн*ащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (більше значення відповідає ВС).

$$В_{осн} = 25 \cdot \frac{29,304}{60} = 12,210 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$В_о = З_о \cdot \frac{П_{во}}{100} = 35,954 \cdot \frac{320}{100} = 115,053 \text{ грн},$$

де $П_{во}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

$З_о$ – основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$В_ц = З_о \cdot \frac{П_ц}{100} = 35,954 \cdot \frac{280}{100} = 100,671 \text{ грн},$$

де $П_ц$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 5.12.

Таблиця 5.12

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	1419,300
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	35,954
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3,595
4.	Відрахування у соціальні фонди	8,701
5.	Експлуатація спеціального оснащення	12,210
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	115,053
7.	Цехові витрати	100,671
8.	Всього цехова собівартість $С_ц$	1695,484

5.6. 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):

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_{шт(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^{m} t_{шт(i)}^{пр}} \cdot 100 - 100 = \frac{41,15}{12,87} \cdot 100 - 100 = 219,7\%,$$

- *виробіток продукції на одного робітника*:

$$В_п = \frac{T_р}{R_о} = \frac{33537}{18} = 1863,2 \text{ нормо-год./ос.},$$

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

$R_о$ – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- *зарплатомісткість продукції*:

$$З_{зп} = \frac{З_{од}}{С_ц} \cdot 100 = \frac{39,549}{1695,484} \cdot 100 = 2,3\%,$$

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

$С_ц$ - цехова собівартість деталі, грн.

- *матеріаломісткість продукції*:

$$М_{мп} = \frac{М_о}{С_ц} \cdot 100 = \frac{1419,3}{1695,484} \cdot 100 = 83,7\%,$$

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

- *собівартість товарної продукції цеху*:

$$С_{тп} = 1695,484 \cdot 30266 \cdot 1,9 = 97500 \text{ тис грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 5.13.

Таблиця 5.13

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Величина
1.	Програма запуску деталі ($N_з$), шт/рік	30266
2.	Трудомісткість виробничої програми $Т_р$, нормо-год	33537
3.	Цехова собівартість деталі, грн/шт	2580,71
4.	Собівартість товарної продукції цеху $С_{тп}$, тис грн./рік	97500
5.	Чисельність основних робітників, осіб	18
6.	Виробіток продукції на одного робітника, нормо-год	1863,2
7.	Матеріаломісткість продукції $З_{зп}$, %	73,7
8.	Зарплатомісткість продукції $М_{мп}$, %	2,3
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу $\Delta Т_р$,%	219,7
10.	Економія від зниження технологічної собівартості, грн	1229441
11.	Додаткові капітальні витрати при пере[ході до проєктного варіанту техпроцесу, грн	626078
12.	Строк окупності додаткових капітальних витрат, років	0,5
13.	Річний економічний ефект, грн	1129300

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Дослідження процесу розгортання отворів при обробці деталі корпус» виконано дослідження процесу розгортання отворів та зосереджено увагу на негативному явищі процесу розгортання, а саме огранюванні отвору.

Проаналізовано причини виникнення огранювання отворів, виконано пошук відомих варіантів боротьби із огранюванням та досліджено відомі конструкції розверток, які усувають огранювання.

Виконано аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі корпус, виявлено його переваги та недоліки. Розроблено прогресивний технологічний процес, який забезпечує зменшення кількості операцій механічної обробки та металорізальних верстатів на яких вони виконуються. Обрано заготовку для виготовлення деталі, верстати, затискні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

Деталь корпус містить отвори, для обробки яких, як чистовий метод застосовується розгортання. Запропоновано конструкцію розвертки у якої зубці зміщені на 4° відносно їх симетричного розташування. Передні кути на двох сусідніх зубцях виконані різними і становлять 2° і 3° відповідно. Запропоновані зміни дадуть можливість збалансувати різальний інструмент та зменшити ефект огранювання при розвертанні отворів. Виконано необхідні економічні розрахунки.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними 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. Журило І.В., Романюк Л.М. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
2. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи : освітньо - професійна програма «Прикладна механіка», рівень вищої освіти другий (магістерський) : спец. 131 Прикладна механіка, галузь знань 13 Механічна інженерія / [уклад. : І. І. Павленко, В. А. Мажара, К. К. Щербина, О. І. Скібінський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т., каф. машинобуд., механтроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. - 42 с.
3. Основи проектування різального інструмента. Частина ІІ. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Електронні текстові дані. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 178 с.
4. Пат. на винахід 37558 Україна, B23D77/00. Розвертка / О.Г. Татьянченко, І.О. Малишко, В.В. Дядюшек. – № 99116483; заявл. 30.12.1999; опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4. – 3 с. : іл.
5. Пат. на винахід 65259 Україна, МПК B23D 77/00. Зенкер-розвертка / І.О. Малишко, В.І. Коваленко. – № 2003066017; заявл. 27.06.2003; опубл. 15.06.2006, Бюл. № 6. – 2 с. : іл.
6. Пат. на винахід 71342 Україна, 7 B23F21/16. Розвертка для обробки глибоких отворів / Т.М. Брижан, О.С. Крепак. – № 20031212145; заявл. 23.12.2003; опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11. – 2 с. : іл.
7. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учеб. пособие / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач; Под общ. ред. В. М. Плескача. – К.: Выща шк., 1991. – 247 с., ил.
8. Технологія машинобудування : метод. вказ. до викон. курсового проекту : для студ. спец. «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» / [уклад. : І. І. Павленко, А. М. Артюхов, М. М. Підгаєцький та ін.] ; М-во освіти і науки

України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 68 с.

9. Countermeasures against polygonal deformation of borehole in reaming process / T. Ryu, T. Nakae, K. Matsuzaki, Y. Matsumoto, K. Tsukamoto, N. Hirata // The International Conference on Applications and Design in Mechanical Engineering 2023 (ICADME 2023): Journal of Physics: Conference Series. - Kuala Lumpur: IOP Publishing, 2023. –Vol. 2643. – P. 1-8.
10. Epureanu B. I. An investigation of stability and pattern formation in reaming / B. I. Epureanu // Journal of Engineering Manufacture. – Vol. 217. – No.2 (2003). – P..269-281.
11. Leveille T. Influence of the reaming process on hole's surface integrity and geometry in a martensitic stainless steel 15-5PH / T. Leveille, F. Valiorgue, C. Claudin, J. Rech, A. Van-Robaeys, U. Masciantonio, A. Brosse, T. Dorlin // 6th CIRP Conference on Surface Integrity. – Lyon: 2022. – Vol. 108. – P. 384-389.
12. Manoilov O. Сучасні концепції підвищення вібростійкості інструменту при розвертанні / O. Manoilov, E. Kudinova, // Prospektive globale wissenschaftliche Trends 2021: INNOVATIVE TECHNOLOGY, TRANSPORT, SECURITY: monograph [*S.* Denysiuk, I.V. Verbytskyi, A.V. Bernatskyi, I.V. Bondarenko, V.I. Burlakov] - Karlsruhe: Sergeieva&Co, 2021 – P. 87-94.
13. Matsuzaki K. Numerical study for rifling mark generating phenomena on BTA deep hole drilling process / K. Matsuzaki, T. Ryu, A. Sueoka, K. Tsukamoto, T. Honda // PROCEEDINGS OF ISMA2012-USD2012. – KU Leuven: 2012. – P. 3033-3046.
14. Ryu T. Experimental study for a countermeasure against rifling mark generating phenomena on BTA deep hole drilling process / T. Ryu, K. Matsuzaki, K. Tsukamoto, K. Fujii, Y. Yuge, S. Nakao, T. Honda, A. Sueoka // PROCEEDINGS OF ISMA2012-USD2012. – KU Leuven: 2012. – P. 3071-3082.
15. Tsuchiiwa H. Numerical Analysis of Polygonal Deformation Phenomenon of Borehole in Reaming Process (Taking into Account Bending Vibration of Tool) / H. TSUCHIIWA, K. MATSUZAKI, T. RYU, A. SUEOKA, K. TSUKAMOTO //

Dynamics and Design Conference 2018 講演論文集 (2018.8.28-31).- 小金井(東京): 2018. - No.18-7. – P. 110-118.

16. United States Patent US 6,379,090 B1 FORCE BALANCED IRREGULAR PITCH REAMER AND ASSOCIATED REAMING METHOD / J. E. Halley, J. J. Luner, K. Young, P. V. Bayly // Apr. 30, 2002. 10 p.

17. 发明专利 CN 107398599 A 中华人民共和国国家知识产权局 B23D 77/00. 种超精铰刀 / 吴何洪　张济沧　张勇强. - № 201710846555.1; 19.09.2017; 06.11.2020. – 9 p.

18. 发明专利 CN 110893488 A 中华人民共和国国家知识产权局 B23D 77/00. 种高效不等分多刃扩铰刀 / 王明坤. - № 201911343448.2; 24.12.2019; 20.03.2020. – 11 p.