

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММіР

к.т.н., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

« _____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації»

«Development of a technology for manufacturing a bottom cover with research into the formation of internal threaded surfaces using plastic deformation»

Виконав здобувач вищої освіти 2-го року
магістратури групи ПМ-24М-3

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Олександр КОВАЛЬ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: _____

Кропивницький – 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

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

Олександра КОВАЛЯ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » _____ 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації.

Завдання:

- виконати класифікацію різьбових поверхонь;
- проаналізувати способи формоутворення різьбових поверхонь;
- виконати огляд досліджень в області формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь формувальними мітчиками;
- дослідити вплив швидкості обробки та діаметра отвору на величину крутного моменту при формування внутрішньої різьбової поверхні;
- проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення деталі, виявити його переваги та недоліки, розробити прогресивний технологічний процес, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- спроектувати та розрахувати затискний, контрольний пристрої та різальний інструмент;
- виконати необхідні економічні розрахунки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Вересень 2025	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Вересень 2025	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Вересень-жовтень 2025	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Вересень-жовтень 2025	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Жовтень-листопад 2025	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад 2025	вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Листопад 2025	вик.
8	Графічна частина	Листопад-грудень 2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Олександр КОВАЛЬ
(підпис)

Анотація

Коваль О.О Розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації: кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: спец. 131 «Прикладна механіка» / наук. кер. О. І. Скібінський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 122 с. Матеріали презентації 8 ілюстрацій.

Метою роботи є розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації.

В роботі виконано класифікацію різьбових поверхонь; досліджено способи формоутворення різьбових поверхонь, виконано огляд досліджень в області формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь формувальними мітчиками; досліджено вплив швидкості обробки та діаметра отвору на величину крутного моменту при формування внутрішньої різьбової поверхні; проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі, виявлено його переваги та недоліки, розроблено прогресивний технологічний процес, вибрано металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розраховано припуски, режими різання та норми часу; спроектовано та розраховано затискний, контрольний пристрої та різальний інструмент; виконано необхідні економічні розрахунки. *Актуальність:* підвищення продуктивності, точності, якості обробки внутрішніх різьбових поверхонь в алюмінієвих сплавах, розробка гнучких прогресивних технологічних процесів є актуальною задачею.

Практичне значення: виконано аналіз способів та інструментів для формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь в деталях із алюмінієвих сплавів, виявлено їх переваги та недоліки, досліджено вплив швидкості різання та точності попередньо обробленого отвору на величину крутного моменту при формоутворенні внутрішньої різьбової поверхні, сформовано низку рекомендацій практичного спрямування; спроектовано модернізований технологічний маршрут виробництва деталі кришка нижня, а також сконструйовано спеціальне оснащення для базування, закріплення заготовки та контролю її параметрів.

Ключові слова: внутрішня різьбова поверхня, кришка нижня, формування різьб, пластична деформація, деформуючий мітчик, технологічний процес.

Annotation

Oleksandr KOVAL. Development of a technology for manufacturing a bottom cover with research into the formation of internal threaded surfaces using plastic deformation. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 122 p. Presentation materials 8 il.

The aim of the work is the development of manufacturing technology for the "lower cover" with an investigation of internal thread formation by the method of plastic deformation.

The classification of threaded surfaces has been performed in the work; methods of thread formation have been investigated, and a review of research in the field of internal thread forming by forming taps has been carried out. The influence of machining speed and hole diameter on the torque magnitude during internal thread forming has been investigated. The basic manufacturing process of the part has been analyzed, its advantages and disadvantages have been identified, and a progressive technological process has been developed. Metal-cutting machine tools, clamping, auxiliary, and inspection devices have been selected; allowances, machining parameters, and time standards have been calculated. Clamping and inspection devices, as well as the cutting tool, have been designed and calculated; necessary economic calculations have been performed.

Relevance: Increasing productivity, accuracy, and quality of internal thread machining in aluminum alloys, and the development of flexible progressive technological processes is a relevant task.

Practical value: An analysis of methods and tools for internal thread forming in aluminum alloy parts has been performed, their advantages and disadvantages have been identified. The influence of cutting speed and the accuracy of the pre-machined hole on the torque magnitude during internal thread forming has been investigated. A number of practical recommendations have been formulated; a modernized technological route for the production of the "lower cover" part has been designed, and special tooling for locating, clamping the workpiece, and inspecting its parameters has been designed.

Keywords: internal threaded surface, lower cover, thread forming, plastic deformation, forming tap, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ, СПОСОБИ ЇХ ФОРМОУТВОРЕННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ...	8
1.1 Класифікація різьбових поверхонь.....	8
1.2 Способи формоутворення різьбових поверхонь.....	11
1.3 Постановка задач дослідження.....	28
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ.....	30
2.1 Поняття про пластичну деформацію.....	30
2.2 Огляд досліджень в області формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь формувальними мітчиками.....	31
2.3 Дослідження впливу швидкості обробки та діаметра отвору на величину крутного моменту при формування внутрішньої різьбової поверхні.....	41
2.4 Висновки.....	48
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КРИШКИ НИЖНЬОЇ.....	49
3.1 Службове призначення кришки нижньої та її характеристика.....	49
3.2 Розробка технології виготовлення кришки нижньої.....	52
3.3 Висновки.....	90
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ.....	91
4.1 Проектування затискного пристрою та його розрахунок.....	91
4.2 Проектування та розрахункове обґрунтування контрольного пристрою...	99
4.3 Розроблення конструкції та виконання розрахунків різального інструменту.....	102
4.4 Висновки.....	104
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ..	105
5.1 Організаційна частина.....	105
5.2 Розрахунок планової цехової собівартості.....	109
5.3 Аналіз варіантів технологічних процесів	111
5.4 Висновки.....	120
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	122

ВСТУП

Соціально-економічний розвиток держави тісно пов'язаний з інтенсифікацією виробничих процесів на основі досягнень науково-технічного прогресу, упровадженням безвідходних технологій та екологічно безпечних виробництв. У зв'язку з цим у всіх галузях економіки актуальним є прискорення технічного переоснащення виробництва, а також проєктування і впровадження машин та обладнання, що забезпечують поліпшення умов праці, зростання продуктивності та раціональне використання матеріальних ресурсів.

Важливе місце серед сучасних машин, які широко застосовуються в різних галузях промисловості, займають гідравлічні машини різного функціонального призначення. Їх використання сприяє розширенню технологічних можливостей обладнання, зменшенню масо-габаритних показників агрегатів і покращенню умов праці персоналу. Найбільш ефективним є застосування гідравлічних машин у складі дорожньої, будівельної та сільськогосподарської техніки.

РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ, СПОСОБИ ЇХ ФОРМОУТВОРЕННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація різьбових поверхонь

Внутрішні різьбові поверхні — це гвинтові канавки, розташовані на внутрішніх циліндричних або конічних поверхнях, що утворюють з'єднання з відповідною зовнішньою різьбою. Вони широко використовуються у машинобудуванні, приладобудуванні, енергетиці, авіації тощо. Для забезпечення надійності та взаємозамінності необхідне чітке розуміння класифікації різьбових поверхонь.

За формою профілю:

- Метрична трикутна (ISO) — найпоширеніша для кріпильних з'єднань.
- Трапецієподібна — використовується у гвинтових передачах і домкратах.
- Прямокутна — для передачі великих осьових зусиль (рідко застосовується).
- Кругла — для умов із частими забрудненнями або ударними навантаженнями.
- Спеціальні профілі — за специфічними вимогами (наприклад, Buttress).

За напрямком витка:

- Права — найбільш поширена, стандартна.
- Ліва — застосовується у випадках, де потрібне самозатягування або протидія самовідгвинчуванню.

За кількістю заходів:

- Одинарна — одна гвинтова лінія, найпоширеніша.
- Багатозахідна (подвійна, потрійна) — для швидшого з'єднання або переміщення (менше обертів).

За точністю виготовлення:

- Класи точності визначаються згідно зі стандартами ISO або ДСТУ, наприклад 6Н, 7Н.
- Впливає на посадку, зазор і герметичність з'єднання.

За умовами виготовлення:

- Оброблені — створюються шляхом різання, або пластичної деформації.
- Необроблені — литі або ковані, використовуються при знижених вимогах до точності.

За призначенням:

- Кріпильні — для з'єднання деталей (гайки, втулки).
- Ходові — для передачі руху (гвинтові пари).
- Ущільнювальні — для герметизації (трубна різьба).

Класифікація внутрішніх різьбових поверхонь дозволяє правильно обрати тип різьби відповідно до функціональних, конструктивних та технологічних вимог. Це особливо важливо при проектуванні відповідальних з'єднань у різних галузях техніки.

В подальшому в роботі буде розглядатись метрична та дюймова різьби з трикутним профілем, як найбільш поширена в різних галузях машинобудування. Параметри різьбових поверхонь показані на рис. 1.1.

Відповідно до стандартів, метрична різьба поділяється на два діапазони: малі (діаметром від 0,25 до 0,9 мм) та великі (від 1 до 600 мм). Основною характеристикою цієї різьби є трикутний профіль з кутом 60° , що забезпечує міцність та надійність з'єднання.

На відміну від дюймових систем, у метричній різьбі крок вимірюється в міліметрах, що відповідає міжнародній системі одиниць (SI) і спрощує розрахунки та уніфікацію деталей.

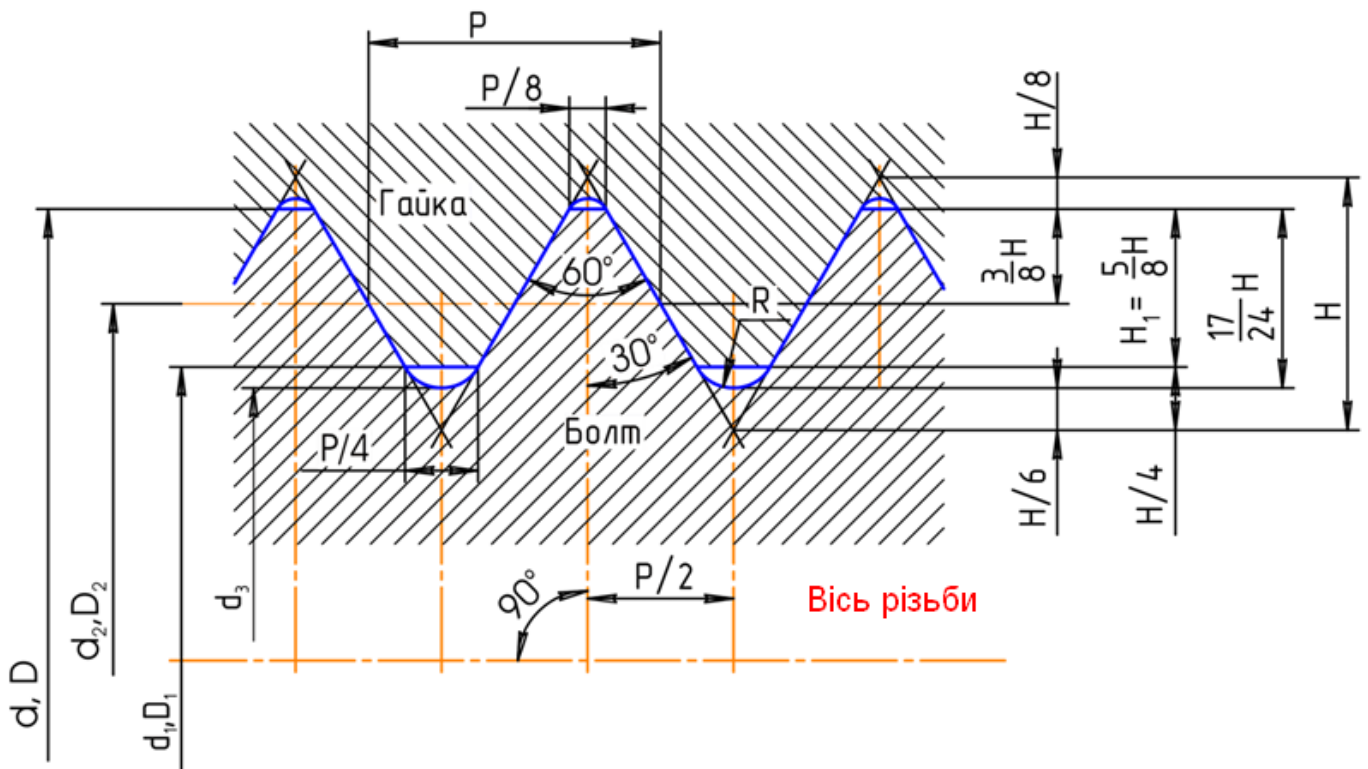


Рис. 1.1 Параметри різьбової поверхні

Крок різьби (P) — це відстань між однаковими елементами сусідніх витків.

Зовнішній діаметр (D або d) — це розмір, що відповідає діаметру уявного циліндра, який проходить через вершини витків різьби. Для зовнішньої різьби це діаметр болта до нарізання, для внутрішньої — діаметр западин.

Середній діаметр (D_2 або d_2) — це умовний діаметр циліндра, який перетинає профіль різьби таким чином, що ширина профілю нитки дорівнює ширині канавки. Іншими словами, це діаметр, на якому навантаження в з'єднанні розподіляється рівномірно.

Внутрішній діаметр (D_1 або d_1) — це найменший діаметр різьбового елемента. Для зовнішньої різьби він визначається за западинами витків, а для внутрішньої — по вершинах профілю. У випадку гайки цей діаметр відповідає отвору до процесу різьбонарізання $D_1 = D - 2 \times (H - 2c)$.

Хід різьби (Ph) — це осьова відстань, яку проходить гвинтовий елемент за повний оберт навколо власної осі. Інакше кажучи, це переміщення точки, що лежить

на середині профілю різьби, вздовж гвинтової траєкторії на 360°. Значення ходу визначає, наскільки далеко просунеться елемент уздовж осі при одному повороті.

У випадку однозаходної різьби хід дорівнює її кроку ($Ph = P$). Для багатозаходної різьби хід визначається як добуток кроку на кількість заходів:

$$Ph = n \cdot P$$

де: Ph - хід, n - кількість заходів (ниток), P - крок різьби.

Збільшення ходу в багатозаходних різьбах дозволяє досягти швидшого лінійного переміщення за один оберт, що є корисним у механізмах передачі руху, де потрібна висока швидкість переміщення без збільшення обертів.

Висота початкового трикутника (H), це теоретична висота трикутного профілю різьби, яка утворюється в основі геометрії нитки. Вона визначається як функція кроку і зазвичай розраховується за формулою:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot P \approx 0.866 \cdot P$$

де, P - крок різьби. Висота H - використовується як база для побудови профілю нитки та подальших розрахунків середнього й внутрішнього діаметрів.

Обріз нитки (зменшення вершини профілю), у реальній різьбі вершини та впадини нитки дещо притупляються для забезпечення міцності та технологічності виготовлення. Цей елемент конструкції називається обрізом нитки. Він зменшує напруження на вершинах і покращує зносостійкість різьбового з'єднання.

Кут конуса ($\emptyset$) стосується різьб, які формуються на конічній поверхні. Кут конуса визначає ступінь розширення профілю від основи до вершини й впливає на герметичність і силу затягування. Зазвичай цей кут становить від 1° до 3°.

Кут підйому різьби (ψ) є кутом між гвинтовою лінією нитки й площиною, перпендикулярною до вісі різьбового елемента. Визначає нахил витків і впливає на характеристики з'єднання, зокрема на опір осьовому навантаженню. Обчислюється за формулою:

$$\tan \psi = \frac{Ph}{\pi \cdot d_2}$$

де, Ph - хід різьби, d_2 - середній діаметр.

Форма різьби — це конфігурація профілю в осьовій площині, яка визначає будову нитки. У спрощеному розумінні — це контур різьби, що включає три основні елементи: гребінь (верхню частину витка), корінь (нижню частину між витками) та бічні поверхні, які з'єднують гребінь із коренем.

Коли профіль різьби умовно продовжити до перетину у вершині та основі, утворюється так званий фундаментальний трикутник. Він є базовим елементом для побудови геометрії різьби, а також слугує відправною точкою для розрахунку висоти профілю, діаметрів і кутів.

Висота фундаментального трикутника — це радіальна відстань між лініями, що відповідають теоретичному гострому гребеню й гострому кореню нитки. Цей

параметр має важливе значення для визначення ефективної висоти нитки, а отже — і для розрахунку навантажувальної здатності різьбового з'єднання.

Кут задньої поверхні — це кут між задньою (відведеною) частиною профілю нитки та прямою, перпендикулярною до осі різьби. Цей параметр іноді помилково називають "півкутом" різьби. Насправді термін «півкут» коректний лише для симетричних різьб, де обидві бічні поверхні мають однаковий нахил щодо осі. Наприклад, у стандартній метричній різьбі ISO цей кут становить 60° , що означає по 30° з кожного боку профілю.

Форма (профіль) різьби — це поперечний переріз нитки в осьовій площині. Стандартний профіль містить три основні зони:

- гребінь (верхня частина нитки),
- корінь (нижня частина між нитками),
- бічні поверхні, що з'єднують гребінь із коренем.

Коли ці елементи умовно продовжити до теоретичних точок перетину, утворюється фундаментальний трикутник — базова геометрична фігура, яка визначає загальну форму нитки. Висота цього трикутника є важливою величиною для обчислення параметрів різьби й міцності з'єднання. Вона вимірюється радіально - від вершини профілю до основи, і зазвичай залежить від кроку:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot P$$

Середній (профільний) діаметр різьби — це діаметр уявного циліндра, який перетинає профіль різьби так, що ширини гребеня та канавки, виміряні по бічних поверхнях, є рівними. Інакше кажучи, це розмір, при якому висота нитки поділяється навпіл — відстань від цієї умовної поверхні до вершини і до кореня нитки однакова.

У ідеальному випадку цей діаметр відповідає лінії, де кожен виток має профіль, у якому ширина різьбового виступу дорівнює половині кроку P . Саме на цьому діаметрі відбувається основне навантаження при роботі з'єднання, тому він критично важливий для розрахунків міцності та перевірки посадки.

1.2 Способи формоутворення різьбових поверхонь

При обробці внутрішніх різьбових поверхонь діаметром до 25 мм основними способами формоутворення є нарізання різьби мітчиками, різьбовими фрезами та деформуючими мітчиками.

Розглянемо особливості обробки різьбових отворів даними методами.

Нарізання різьби різальними мітчиками, фрезами та формувальними мітчиками показано на рис. 1.2., як правило головним рухом є обертання інструмента навколо власної вісі та подача інструмента вздовж вісі оброблюваної деталі з величиною подачі, яка відповідає кроку різьби, а при планетарному фрезеруванні — рух інструмента по гвинтовій траєкторії.



Рис. 1.2 Способи формоутворення різьбових поверхонь:

1- різьбонарізні фрези охоплюють широкий широкий діапазон профілів та розмірів, є універсальними та є економічно ефективними в більшості застосувань; 2- орбітальний різьбофрезер можна використовувати для виготовлення малої та глибокої різьби високою точністю та безпекою протікання процесу; 3- різьбофрезерний інструмент, який має меншу кількість ріжучих кромek, що значно знижує тиск різання та вібрацію, що дозволяє працювати з вищими параметрами різання і досягати більш економічно ефективної обробки; 4- різьбонарізні фрези зі змінними пластинами, застосовується для великої різьби. Міцна конструкція корпусу та змінних пластин робить інструмент неперевершеним з точки зору швидкості та надійності процесу; 5- машинний мітчик забезпечує надійність процесу, що є одним із головних пріоритетів під час нарізання різьби. Це пояснюється тим, що він створює коротку стружку та забезпечує найкращу якість поверхні; 6- формувальний мітчик є безрізальним, стабільним, надійним і надзвичайно економічно ефективним; 7- універсальний машинний мітчик підходить для універсального застосування та гарантує видатну надійність процесу; 8- твердосплавний мітчик для високошвидкісного різання.

Особливості обробки різбових поверхонь різальними мітчиками. Мітчики з прямими канавками не транспортують стружку. З цієї причини їх можна використовувати лише для матеріалів які утворюють коротку стружку або з короткою різбою. Стружка накопичується на дні отвору, якщо не використовується внутрішнє охолодження. Якщо запас міцності інструмента малий, інструмент може впертися в стружку та зламатися.

Для збільшення глибини нарізання різби, доцільно застосовувати інструменти з прямими канавками, оснащені системою внутрішньої подачі мастильно-холодильної рідини (рис. 1.3 а). Тиск рідини забезпечує ефективне вимивання стружки із зони різання у напрямку, протилежному подачі. Проте цей метод вимагає, щоб оброблюваний матеріал утворював коротку, ламку стружку.

При обробці наскрізних отворів у матеріалах, схильних до утворення довгої стружки, пріоритетним вибором є мітчики зі спіральною підточкою (рис. 1.3 в).

Правоспіральні мітчики забезпечують відведення стружки з отвору вгору, у напрямку хвостовика. При виборі геометрії інструменту існує пряма залежність: чим вища твердість оброблюваного матеріалу (або чим довшу стружку він утворює) і чим більшою є глибина різблення, тим більшим повинен бути кут нахилу спіралі. (рис. 1.3 б).

Інструменти з прямим профілем канавок, як правило, характеризуються вищим експлуатаційним ресурсом у порівнянні з мітчиками, що мають гвинтову (спіральну) геометрію.

Мітчики з лівим кутом нахилу спіралі (рис. 1.3 г), так само як і інструменти зі спіральною підточкою (рис. 1.3 в), відводять стружку вперед, у напрямку подачі. Застосування інструментів із повноцінною лівою спіраллю є доцільним у випадках, коли можливостей звичайної спіральної підточки недостатньо для надійного видалення стружки із зони різання.

Розглянемо деякі особливості при виборі конструкцій мітчиків. Мітчикові канавки можуть бути прямими, прямими зі спіральним кінчиком та спіральними. Мітчики з прямими канавками в основному рекомендуються для деталей з матеріалів, які утворюють коротку стружку. Канавки мітчика відводять лише частину стружки, яка повільно рухається вздовж осі, тому вони добре підходять для нарізання наскрізних отворів. Ці мітчики обробляють різбу довжиною до 1,5 діаметра мітчика.

Мітчики з прямою канавкою та спіральною підточкою використовуються спеціально для обробки наскрізних отворів. Завдяки наявності спірального скосу на торці, стружка ефективно ущільнюється та виштовхується перед мітчиком (у напрямку подачі). Такий механізм запобігає засміченню стружкових канавок і забезпечує вільний доступ мастильно-холодильної рідини до різальних крайок. Зазвичай ці мітчики дозволяють нарізати різбу на глибину до 3-х діаметрів.

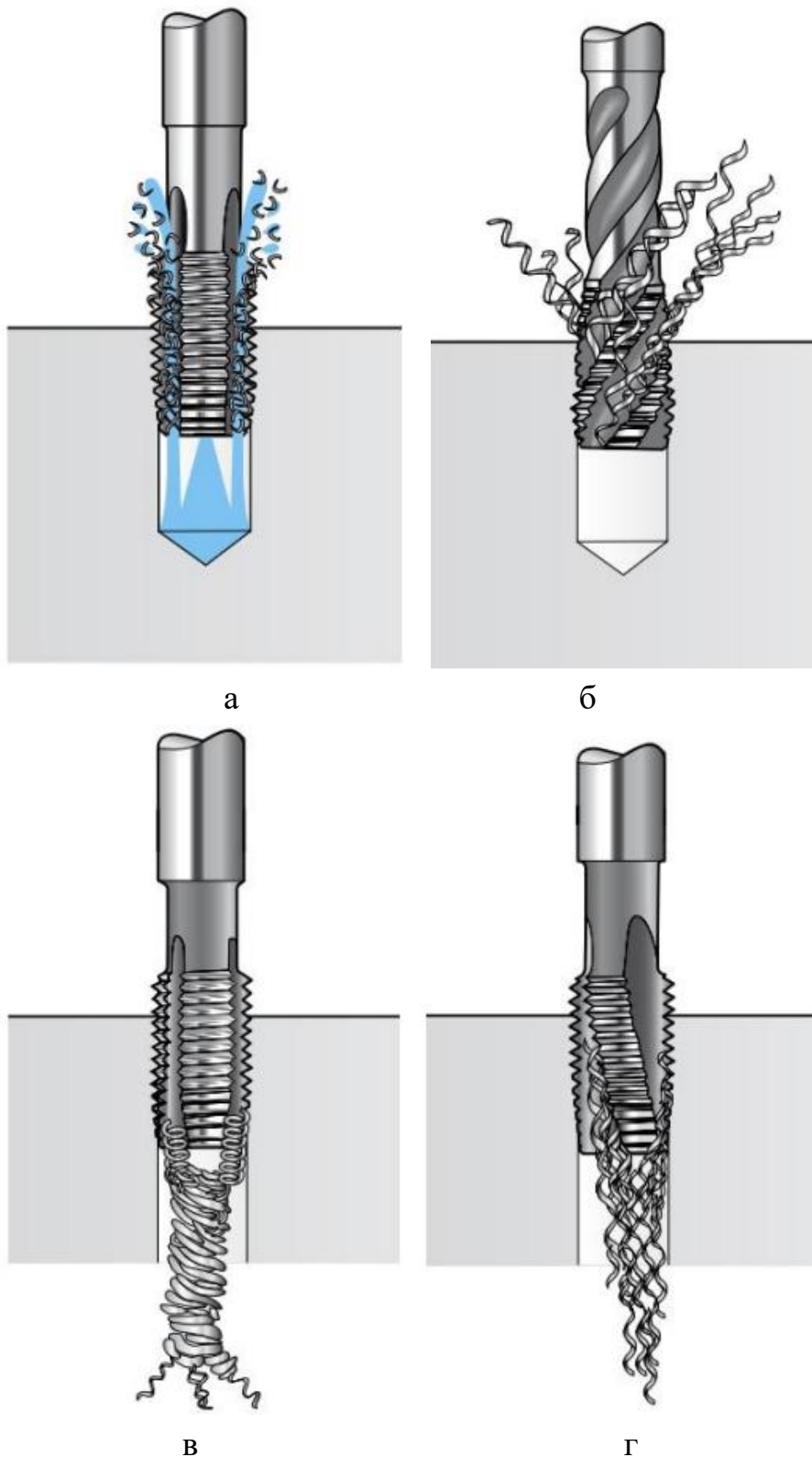


Рис. 1.3 Особливості відведення стружки при обробці різальними мітчика

Мітчики з гвинтовими (спіральними) канавками є пріоритетним вибором для обробки в'язких матеріалів, що формують довгу зливну стружку. Завдяки геометрії канавок стружка ефективно евакуюється із зони різання вгору, у напрямку хвостовика (назад від дна отвору). Конструкція таких інструментів зазвичай розрахована на нарізання різьби глибиною до двох номінальних діаметрів, залежно від типорозміру.

Забірна частина мітчика (часто звана фаскою) — це конічна ділянка на початку інструменту, функція якої полягає у розподілі загального зусилля різання між

кількома робочими витками. Вибір геометрії цієї частини напряду залежить від типу отвору, що обробляється (глухий чи наскрізний). У сучасній металообробці стандартом є використання трьох основних форм забірної частини: В, С та Е (рис. 1.4).

Забірنا частина форми В має довжину, що охоплює від 3,5 до 5 кроку різби. Завдяки такій подовженій геометрії процес різання відбувається з утворенням тонкої стружки, що суттєво знижує радіальний тиск на інструмент та зменшує навантаження на різальні кромки. Це забезпечує дві ключові переваги: максимальну стійкість (ресурс) мітчика та високу чистоту поверхні різби. Найчастіше форма В застосовується на мітчиках зі спіральною підточкою (Spiral Point) для обробки наскрізних отворів.

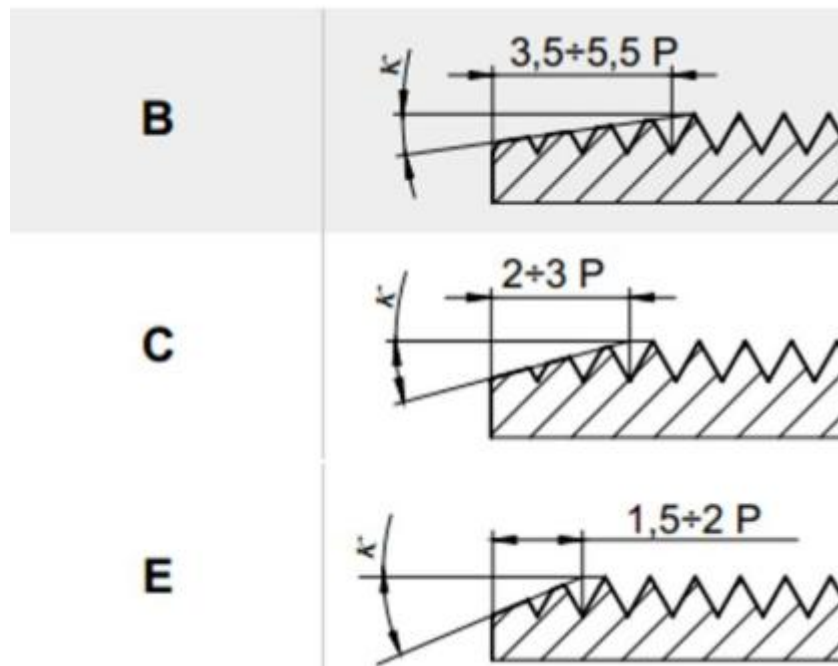


Рис. 1.4 Типи забірної частини мітчика

Забірна частина форми С має довжину 2–3,5 кроку різби. Це найпоширеніший, універсальний тип геометричного виконання ("середня фаска"). Вона забезпечує збалансовані умови різання: помірний крутний момент, нормальну товщину стружки та високу якість отриманої поверхні. Завдяки оптимальному розподілу навантаження цей тип гарантує тривалий ресурс інструменту. Форма С є стандартом для мітчиків зі спіральними канавками, що використовуються для нарізання різби у глухих отворах.

Забірна частина форми Е є найкоротшою і складає всього 1,5–2 кроку різби. Ця геометрія класифікується як «екстремальна» і застосовується виключно у випадках, коли необхідно нарізати повний профіль різби максимально близько до дна глухого отвору (при обмеженому запасі глибини).

Через малу довжину робочої зони на кожен зубець припадає значний об'єм матеріалу, що призводить до формування товстої стружки та високого тиску на різальні кромки. Хоча це забезпечує прийнятну якість поверхні, інструмент працює у важких умовах підвищеного навантаження.

Основні конструктивні параметри мітчиків показані на рис. 1.5.

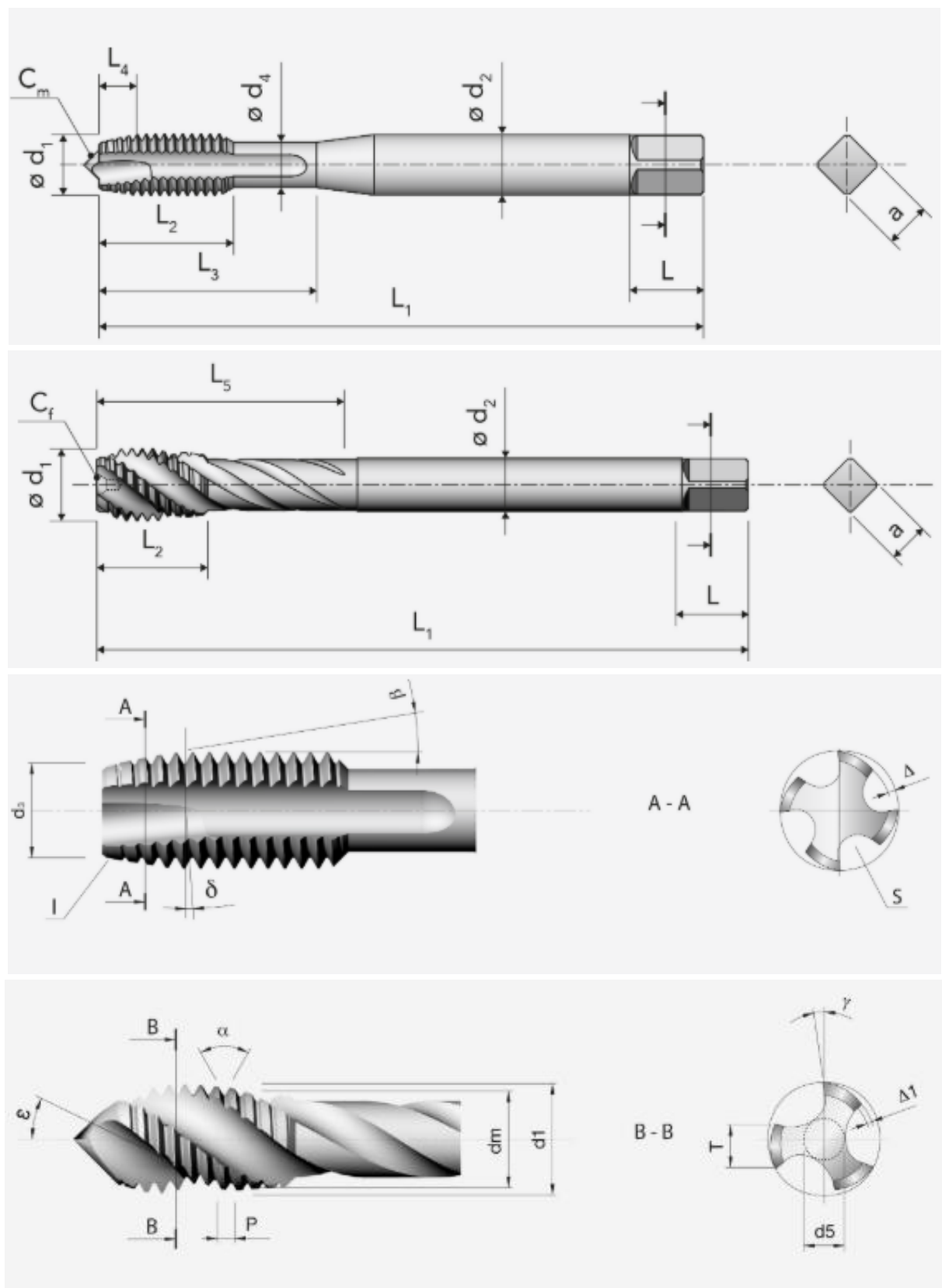


Рис. 1.5 Конструктивні параметри різних типів мітчиків

Згідно рис. 1.5: d_1 - номінальний діаметр; d_m - діаметр кроку (вимірюється там, де ширина різьби дорівнює половині кроку); d_2 - діаметр хвостовика; d_3 - діаметр фаски; d_4 - діаметр шийки; d_5 - діаметр серцевини (діаметр кола дотичного до дна канавки); I - конусність на робочому кінці мітчика досягається шляхом механічного зниження (зішліфовування) зовнішнього діаметра перших зубів. Таке конструктивне рішення забезпечує розподіл навантаження при врізанні інструменту в матеріал; а- приєднувальний квадрат хвостовика, утворений чотирма плоскими гранями, що

розташовані паралельно до осі інструменту (часто із заокругленими переходами). Його єдине призначення — надійна фіксація в патроні або воротку для передачі крутного моменту (обертання мітчика); L - довжина квадрата хвостовика визначає осьовий розмір (протяжність) плоских граней на кінці інструменту. Саме ця ділянка заходить у патрон або вороток для передачі крутного моменту; L_1 - загальна довжина; L_2 - довжина різьби; L_3 - корисна довжина, це відстань, виміряна від початку забірної частини до шийки інструменту, є критичним параметром для мітчиків з посиленням хвостовиком. Вона лімітує можливу глибину обробки, адже подальше заглиблення неможливе через більший діаметр хвостової частини; L_4 - довжина фаски; L_5 - довжина канавки; C_m - зовнішній центр; C_f - внутрішній центр; P - крок різьби; α - кут різьби між бічними сторонами різьби; δ - кут нахилу різьби, це геометричний параметр, що визначається як кут між дотичною до гвинтової лінії (спіралі) та площиною, перпендикулярною до осі мітчика. Важливою умовою є те, що вимірювання цього кута проводиться на умовному циліндрі середнього діаметра; β - кут фаски; γ - кут нахилу, цей параметр характеризує нахил різальної грані відносно центру інструменту. Він утворюється перетином площини передньої поверхні мітчика та радіуса, що проходить через точку різальної кромки; T - ширина гребня, хордова ширина матеріалу між двома суміжними канавками; S - поздовжній жолоб на мітчику, який формує ріжучі кромки. Канавки створюють простір для відведення стружки та забезпечують проходження охолоджувальної рідини; Δ_1 - ослаблення по середньому діаметру, це радіальне зменшення середнього та/або зовнішнього діаметра за ріжучою кромкою мітчика. Таке ослаблення надає інструменту ріжучі властивості та забезпечує зазор між нарізуваною різьбою і різбовими витками мітчика. Δ - ослаблення фаски, це радіальне зменшення зовнішнього діаметра у зоні фаски мітчика, розташоване позаду ріжучої кромки. Таке ослаблення забезпечує мітчику ріжучі властивості, полегшуючи процес утворення різьби та зменшуючи опір при входженні в матеріал; ε - кут спіралі канавки, це кут, утворений між канавками мітчика та його віссю.

Рекомендації для високоякісного нарізання різьби.

Свердління є фундаментальним етапом технологічного процесу виготовлення різьби. Якість підготовки отвору має вирішальне значення: будь-які похибки на цій стадії (геометричні відхилення, дефекти поверхні) неминуче знижують якість готового з'єднання. Незалежно від того, чи буде різьба нарізатися, чи формуватися методом пластичної деформації, точність базового отвору є гарантією успішної роботи мітчика.

Забезпечення стабільно високої якості різьби є ключовою умовою для надійності будь-якого вузла в машинобудуванні. Хоча основна увага технологів часто зосереджена саме на операції нарізання, роль попереднього свердління часто недооцінюється. Насправді ж етап свердління закладає базу для всього процесу: будь-які геометричні відхилення чи дефекти, допущені тут, запускають ланцюгову реакцію

проблем — від браку деталей через незадовільну якість поверхні до поломки дороговартісних мітчиків.

Операцію свердління можна порівняти з фундаментом будівлі: якщо основа ненадійна, цілісність конструкції неминуче постраждає. Свердло формує базовий отвір, у якому згодом працюватиме мітчик (різальний або формувальний).

Для операторів верстатів та технологів критично важливо розуміти, як саме дефекти свердління впливають на кінцевий результат:

- Відхилення діаметра отвору:

Замалий отвір призводить до зняття мітчиком надмірного припуску. Це викликає критичне зростання крутного моменту, що може призвести до заклинювання або поломки інструменту;

Завеликий отвір призводить до формування неповного профілю різьби ("ослаблена різьба"), яка не здатна витримати проєктні навантаження на зрив.

- Незадовільна якість поверхні: Наявність задирок, висока шорсткість стінок або відхилення форми (овальність, конусність) створюють додатковий опір руху мітчика. Це пришвидшує знос різальних кромek і погіршує чистоту поверхні готової різьби.

- Термічні пошкодження та нагартівка: неконтрольоване виділення тепла під час свердління призводить до нагартівки (зміцнення поверхневого шару металу). Нарізати різьбу в такому "загартованому" шарі вкрай важко — це основна причина передчасного виходу мітчиків з ладу.

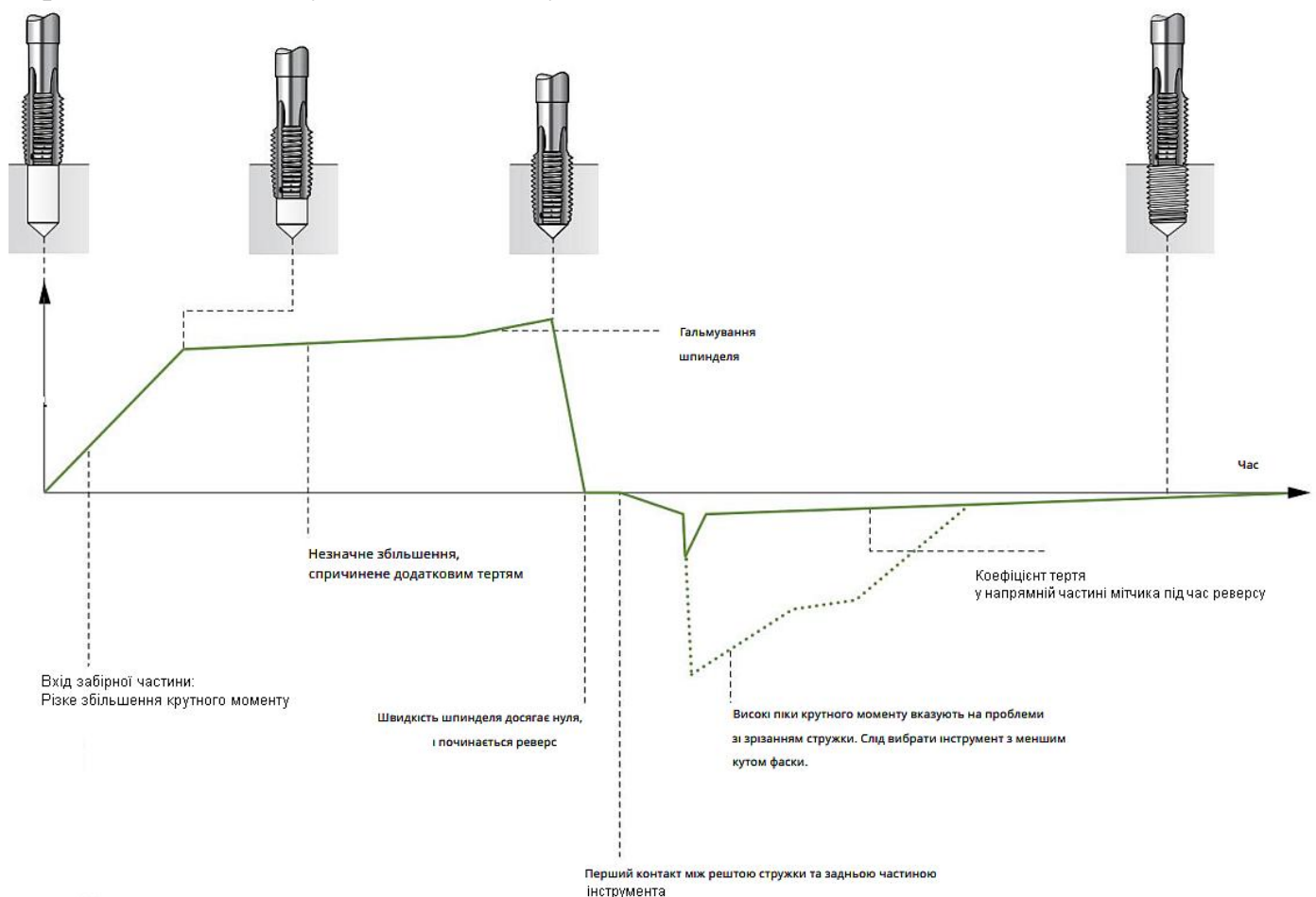


Рис. 1.6 Зміна крутного моменту на різних етапах обробки різальним мітчиком

Навіть ідеальна геометрична точність попередньо просвердленого отвору не гарантує безпроблемного нарізання різьби. Процес формоутворення різьби супроводжується значними навантаженнями, і помилки на цьому етапі можуть призвести до браку деталі або пошкодження інструменту.

Розглянемо основні фактори ризику, які приводять до поломки мітчика:

- Занижений діаметр отвору змушує мітчик знімати більший припуск, ніж розраховано, що критично підвищує крутний момент.
- Неефективне змащення роизводить до відсутності масляної плівки, що збільшує тертя та спричиняє перегрів.
- Помилки режимів різання, наприклад, завищена швидкість обертання, призводить до динамічних перевантажень.
- Пакетування стружки в канавках може заклинити інструмент.

Отримання шорсткої або "рваної" поверхні витків зазвичай свідчить про використання зношеного (тупого) інструменту, який не ріже метал, а вириває його частинки. Іншими причинами є сухе тертя через брак змащення або виникнення резонансних вібрацій внаслідок неправильно підібраних обертів шпинделя.

Ефективна евакуація стружки є критичною умовою, особливо при обробці в'язких матеріалів у глухих отворах. Довга зливна стружка схильна до намотування на хвостовик, що блокує процес.

Перевагами формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь в алюмінієвих сплавах є:

- Висока швидкість обробки

Різальні мітчики дозволяють швидко формувати різьбу за один прохід, особливо в м'яких та в'язких матеріалах, таких як алюмінієві сплави.

- Широка доступність інструменту

Різальні мітчики стандартних типів є широко доступними та дешевшими порівняно з формуючими мітчиками або спеціальними різьбовими фрезами.

Менші зусилля на входження

Завдяки наявності різальних зубців і канавок мітчик легше входить у матеріал, ніж формувальний аналог, що важливо для ручної або малооснащеної обробки.

Краще працюють з матеріалами із домішками кремнію

Алюмінієві сплави з вмістом кремнію $>5\%$ можуть бути оброблені саме різальними мітчиками, оскільки пластична деформація часто утруднена.

Універсальність застосування

Різальні мітчики підходять для обробки як глухих, так і наскрізних отворів, при належному підборі геометрії (пряма, спіральна або коса канавка).

Проста геометрія отвору перед обробкою

Для різання різьби не потрібне особливо точне калібрування отвору під формування, як у випадку формуючих мітчиків.

Зауваження:

Для алюмінієвих сплавів бажано використовувати:

- мала кількість витків фаски (2–3 зубці) для глухих отворів;
- спіральні канавки (35° – 45°) для ефективного виводу стружки;
- спеціальні покриття (наприклад, TiCN або AlTiN) або поліровані канавки — для запобігання залипанню.

Основними недоліками формоутворення внутрішніх різбових поверхонь різальними мітчиками в алюмінієвих сплавах, які варто враховувати при виборі технології є:

- Утворення залипань (прилипання стружки).

Алюміній має високу пластичність і схильність до налипання на ріжучу кромку. Це призводить до утворення задирок, погіршення точності профілю різьби, прискореного зношування мітчика.

- Утворення довгої стружки.

При обробці м'яких алюмінієвих сплавів різальні мітчики можуть формувати довгу, спіральну стружку, яка заклинюється в отворі, ускладнює автоматизацію процесу, може викликати поломку інструмента або пошкодження отвору.

- Вища чутливість до зсуву осі.

При неправильному центруванні або нестабільному затиску мітчик може «повести» вбік, особливо в глухих отворах з малим діаметром.

- Швидке затуплення на високих обертах.

Через низьку твердість алюмінієвих сплавів, на ріжучих кромках швидко накопичується алюмінієвий нагар, що погіршує якість різання та потребує частішого очищення або заміни інструмента.

- Складність при роботі з тонкостінними деталями.

Різальний тиск при роботі мітчика може деформувати тонкі стінки або крайки отвору, особливо при ручному нарізанні або без достатньої жорсткості системи.

- Високі вимоги до змащення.

Без належного змащення та охолодження ризик утворення задирок та поломки інструмента значно зростає.

- Менша міцність сформованої різьби.

На відміну від формуючих мітчиків, які ущільнюють структуру матеріалу, різальні мітчики ріжуть волокна, що знижує механічну міцність і зносостійкість різбового з'єднання.

Тобто різальні мітчики зручні та швидкі в роботі, але для алюмінієвих сплавів потребують ретельного підбору параметрів, високоякісного змащення і правильної геометрії інструменту.

Фрезерування різьби (рис. 1.7) вважається одним із найгнучкіших та найуніверсальніших способів створення різбових з'єднань. Завдяки широкому спектру технологічних можливостей, що відкриваються при поєднанні різних способів обробки за допомогою одного інструменту, цей метод справедливо розглядається як перспективний напрям у виробництві, орієнтований на майбутнє.

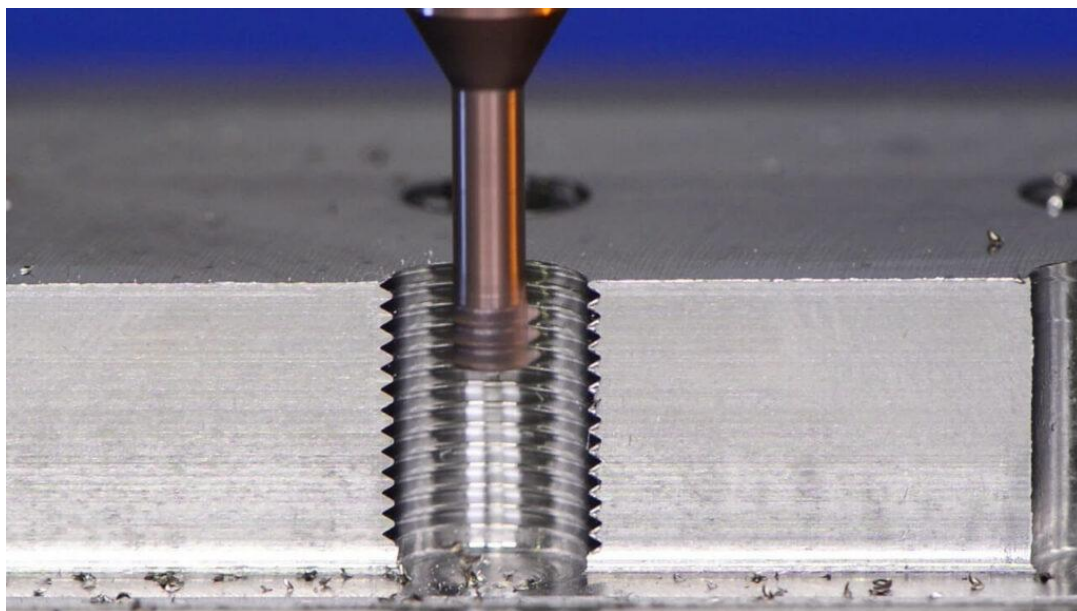


Рис. 1.7 Фрезерування внутрішніх різьбових поверхонь

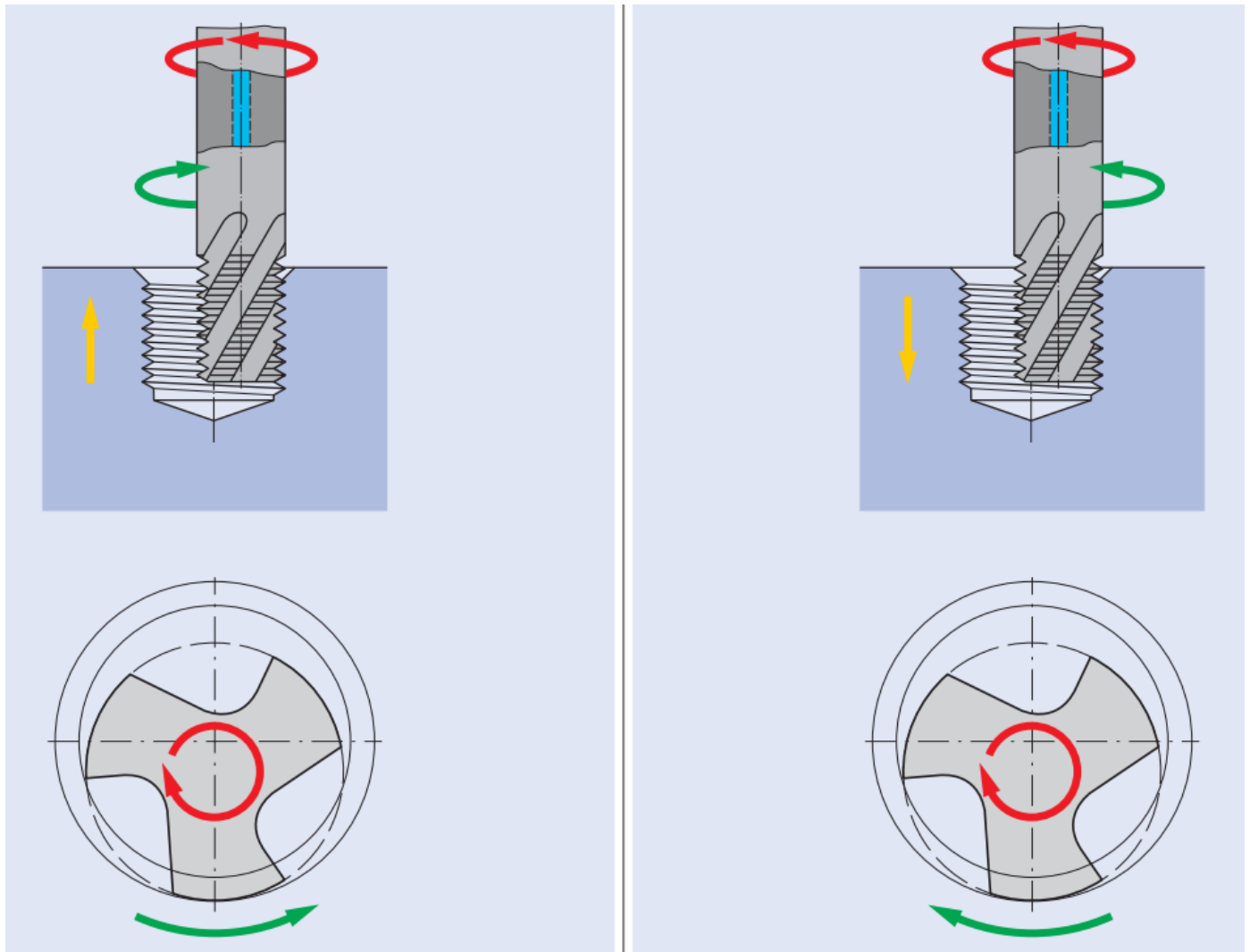
Процес різьбофрезерування на верстатах з ЧПУ базується на принципі гвинтової інтерполяції: обертовий інструмент рухається планетарною траєкторією вздовж осі отвору, формуючи профіль різьби. Ключовою перевагою цього методу є його універсальність: одна й та ж різьбофреза здатна обробляти отвори різних номінальних діаметрів (за умови однакового кроку різьби). Це робить технологію економічно високоефективною, особливо при роботі з отворами великого діаметра. Крім того, переривчастий характер різання сприяє зниженню зносу інструменту та дозволяє досягти виняткової точності розмірів та якості поверхні.

На практиці, фрезерування різьб виявляється високонадійним процесом за умови, що обладнання підтримує 3D-інтерполяцію — одночасне керування по трьох координатах. Важливо також дотримуватись жорстких вимог до станини верстата, інструментального тримача та заготовки, аби уникнути вібрацій. Додатковим плюсом є наявність внутрішньої подачі змащувально-охолоджувальної рідини.

Фрезерування різьби є ефективною альтернативою традиційним методам - нарізанню мітчиками або формоутворенню пластичним деформуванням. Метод має низку переваг:

- Висока продуктивність: короткий цикл обробки, особливо для отворів малого діаметра і глибиною до $2,5 d$.
- Надійність процесу: висока стабільність і безпека при обробці.
- Якісна поверхня: чистий профіль різьби з мінімальною шорсткістю.
- Універсальність: один інструмент може виконувати декілька операцій.
- Можливість обробки до дна отвору: особливо актуально для глухих отворів.
- Відсутність потреби у спеціальних мастилах.
- Немає проблем з відведенням стружки: вона дрібнофрагментована.
- Висока точність: осьові похибки мінімізовані.
- Широкий діапазон матеріалів: підходить для обробки до 60 HRC.
- Можливість різьблення в праву або ліву сторону одним і тим же інструментом.

- Низькі сили різання, що знижує навантаження на інструмент.
- Ідеально для тонкостінних деталей.



Фрезерування на вихід інструмента

Фрезерування на вхід (традиційне)

Рис. 1.8 Процес різьбофрезерування

Проблемними питаннями при різьбофрезеруванні є:

1. Відведення стружки, особливо в глухих отворах. На відміну від спірального мітчика, який "витягує" стружку вгору, фреза створює дрібну стружку, яка під дією гравітації або потоку охолоджувальної рідини може падати на дно отвору або залишатися в зоні різання. При русі фрези по спіралі вона може повторно різати власну стружку. В м'якому алюмінії це призводить до "задирів" на поверхні різьби або навіть поломки зубців фрези. Одним із напрямків вирішення даного питання є якісна подача охолоджувальної рідини (бажано через інструмент) або обдуву повітрям, що ускладнює налаштування.
2. Налипання матеріалу. Алюміній — в'язкий та "липкий" матеріал. Під час фрезерування мікрочастинки алюмінію можуть наварюватися на ріжучу кромку фрези (утворювати нарости). Фреза перестає різати й починає "давити" матеріал. Це миттєво псує якість поверхні (різьба стає шершавою, "рваною") і змінює геометрію профілю різьби.

3. Ризик конусності різьби (відгин інструменту). Різьбові фрези, особливо для малих діаметрів (М3-М6) або глибоких різьб (2xD і більше), мають низьку жорсткість. В алюмінію через високі швидкості подачі, фрезу може відгинати (відхиляти від осі). Це призводить до того, що на дні отвору діаметр різьби буде меншим, ніж на вході (конусність). Жорсткий мітчик базується всім своїм тілом у попередньо просвердленому отворі, тому він краще тримає циліндричність.

4. Повільніше за формування. Для алюмінію існує ідеальний конкурент - безстружкові мітчики. Фрезерування значно повільніше за формування. Безстружковий мітчик робить різьбу за один швидкий прохід (вхід-вихід) без утворення стружки взагалі. Різьба виходить міцнішою (через ущільнення волокон металу). Якщо маємо серійне виробництво та деталі з алюмінієвого сплаву, фрезерування програватиме за часом циклу в 3-5 разів порівняно з формуванням.

5. Ризик "підрізання" профілю. При виході інструменту із зачеплення (в кінці циклу), якщо не налаштовано плавний вихід по дузі (tangential exit), фреза може залишити на різьбі слід або зазубрину, що в м'якому алюмінії дуже помітно.

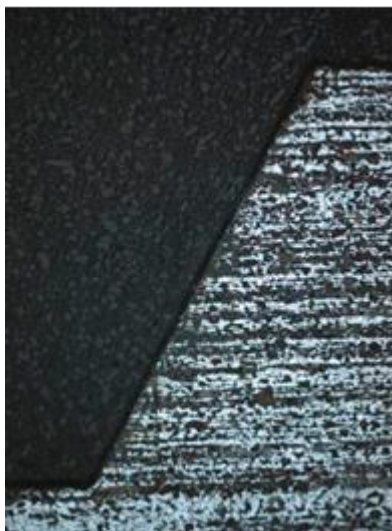
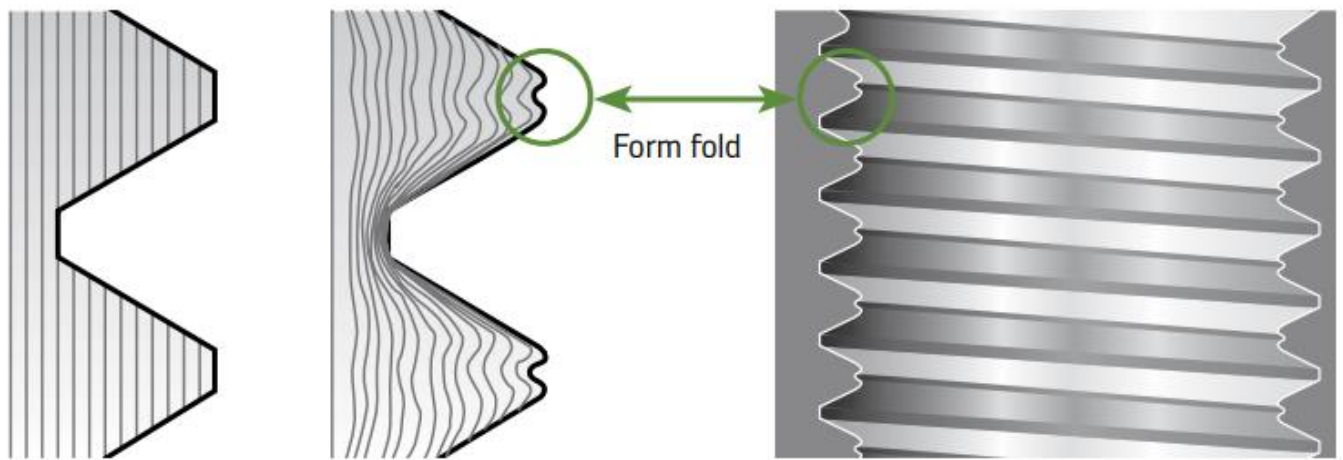
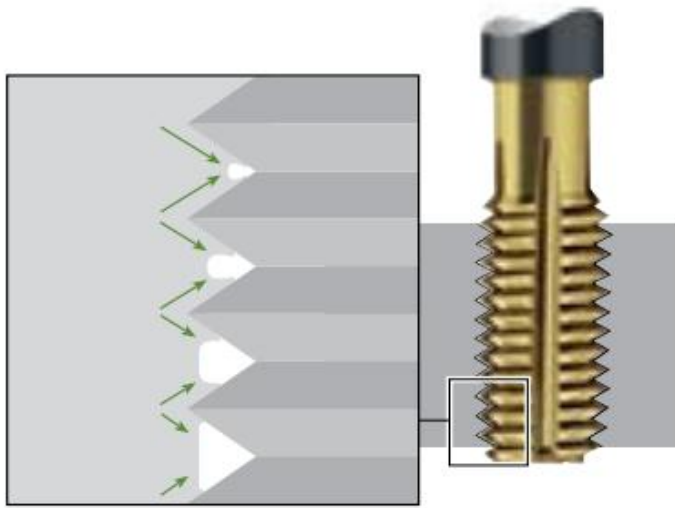
Формування являє собою метод обробки тиском без зняття стружки. Формоутворення профілю відбувається за рахунок холодної пластичної деформації: матеріал заготовки під дією інструменту переходить у плинний стан і переміщується в радіальному напрямку, формуючи витки (рис. 1.9). Оскільки видалення металу не відбувається, інструменти для формування (безстружкові мітчики) не потребують стружкових канавок. Це надає їм полігонального перерізу та значно вищої жорсткості порівняно з традиційними різальними мітчиками.

Ключовою відмінністю сформованої різьби є збереження цілісності мікроструктури матеріалу. На відміну від нарізання або фрезерування, де волокна металу перерізаються, при формуванні вони огинають контур різьби. У поєднанні з ефектом деформаційного зміцнення (наклепу), це забезпечує суттєве підвищення експлуатаційних характеристик: зростає опір різьби на зріз (при статичних навантаженнях) та втомна міцність (при циклічних навантаженнях).

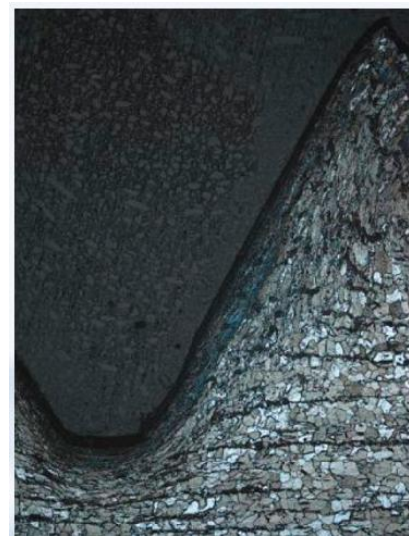
Характерною особливістю процесу є утворення технологічної складки (мікрощілини) на вершині профілю різьби, що виникає при змиканні потоків металу. Наявність цього дефекту накладає суворі обмеження на використання методу в певних галузях:

1. Медицина та харчова промисловість: Заборонено через ризик накопичення патогенних мікроорганізмів у порожнині складки.
2. Авіабудування: Загальна заборона на використання через підвищені вимоги до надійності.
3. Автоматизоване складання: Існує ризик заклинювання кріпильних гвинтів при потраплянні в зону складки.

Метод є оптимальним для середньосерійного та великосерійного виробництва завдяки високій надійності процесу, відсутності проблем зі стружкою та підвищеній стійкості інструменту. Часто формування дозволяє використовувати більш інтенсивні режими обробки.



профіль після різання



профіль після формування

Рис. 1.9 Формування різьби безстружковим мітчиком

Однак впровадження цієї технології вимагає врахування низки факторів:

- Енергоємність: Процес потребує вищого крутного моменту шпинделя порівняно з різанням.
- Точність заготовки: Допуски на діаметр попередньо підготовленого отвору є значно жорсткішими. Відхилення діаметра отвору може призвести до поломки

інструменту або отримання неякісного профілю ("переповнення" або "недоповнення" різьби).

Тому вибір на користь формування має базуватися на детальному техніко-економічному аналізі конкретного виробничого завдання.

При формуванні використовуються інструменти без мастильних канавок (рис. 1.10 а) так і мітчики з мастильними канавками (рис. 1.10 б), що покращує змащення в зоні обробки, і дає можливість формувати різьбу в глибоких отворах..

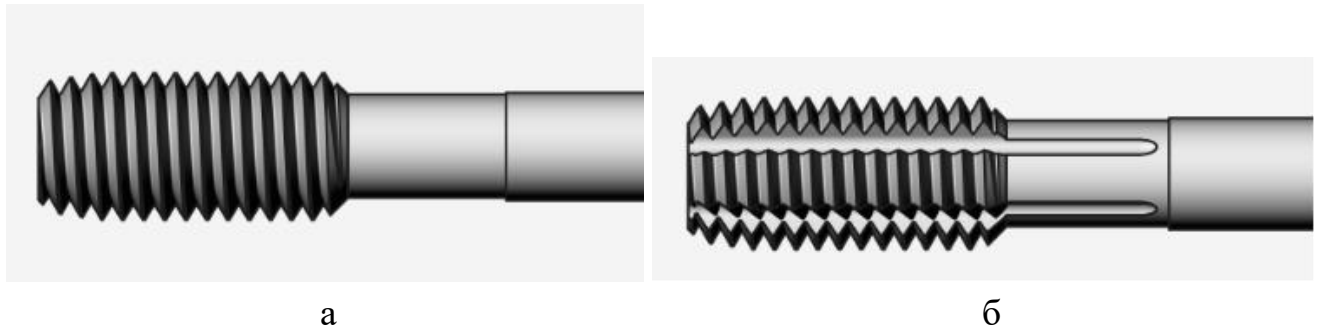


Рис. 1.10 Формувальні мітчики

Перевагами мітчиків із мастильними канавками є зменшення тертя і нагріву у зоні формування різьби, покращення подачі мастильно-охолоджувальної рідини до робочої зони, зниження ризику задирок, особливо у в'язких матеріалах (як-от алюмінієві сплави) та більший термін служби інструменту при складних умовах.

Формоутворення різьби методом пластичної деформації є одним із найбільш надійних способів виготовлення внутрішніх різьб. Його переваги особливо помітні при обробці глухих отворів великої глибини в м'яких або в'язких матеріалах, де традиційне різання часто спричиняє труднощі з евакуацією стружки.

Цей метод є оптимальним саме для таких випадків. Крім того, матеріали, які найчастіше викликають проблеми з виведенням стружки, відмінно піддаються пластичному формуванню різьб.

Ще однією перевагою є висока якість обробленої поверхні — шорсткість сформованої різьби зазвичай значно менша порівняно з різьбою, утвореною шляхом різання.

Разом із тим, для забезпечення стабільності процесу слід врахувати декілька важливих аспектів:

- Діаметр підготовчого отвору має бути зменшеним і точно витриманим (наприклад, для різьби М6 допуск становить приблизно $\pm 0,05$ мм), що є критичнішим, ніж у випадку з різанням.
- Очистка отвору від залишків стружки після свердління є обов'язковою умовою. Це можна забезпечити за допомогою спірального свердла з внутрішнім підведенням охолоджувальної рідини або використанням формувального інструменту з осьовим каналом для подачі охолодження (рис. 1.11). У цьому випадку інструмент слід короткочасно позиціонувати над отвором до початку формування.

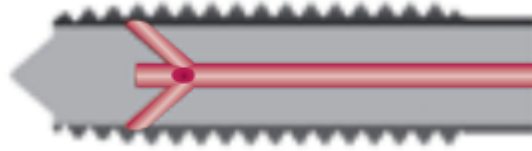


Рис. 1.11 Радіальна подача охолоджувальної рідини

- Крутний момент при формуванні, як правило, вищий, ніж при нарізанні. Це вимагає врахування потужності приводу обробного верстата, особливо при формуванні різьб великого діаметра.

Додаткові особливості та умови процесу формування різьб:

- Необхідний крутний момент при пластичному формуванні різьби зазвичай вищий, ніж при її нарізанні. Це потребує відповідного коригування налаштувань патрона (наприклад, збільшення значення моменту затиску).
- Забезпечення ефективного охолодження під час процесу є критично важливим. Навіть короткочасне пересихання робочої зони може призвести до утворення браку або поломки інструмента. Причина цього — високе контактне навантаження на формувальні кромки та менший переріз змащувальних канавок у формуючих мітчиків порівняно зі спіральними канавками в різальних. Зменшення розміру канавок необхідне для забезпечення механічної міцності, оскільки при великому крутному моменті ширші канавки могли б призвести до руйнування кромки.
- Коефіцієнт тертя зменшується зі зростанням температури, особливо при використанні спеціальних покриттів. Це відкриває можливість збільшення швидкості обробки без шкоди для ресурсу інструмента.
- Вимоги до перекриття профілю різьби (thread overlap), можна задовольнити лише за умов високої точності діаметра підготовчого отвору. Одним із рішень є розточування або зенкерування для досягнення заданого допуску.

Розглянемо технічні обмеження при формуванні різьби. Чітко окреслити межі застосування методу формування різьби досить складно, оскільки існує багато винятків, коли допустимі параметри були перевищені без негативних наслідків - або, навпаки, не досягнуті, але результат виявився незадовільним.

- Межа міцності на розтягування
Для більшості матеріалів верхня межа міцності, за якої можна ефективно застосовувати формування різьби, становить приблизно 1200–1400 Н/мм².
- Відносне подовження
Загальноприйнятими мінімальними значеннями пластичності є 7% подовження.
- Крок і профіль різьби
Для кроків понад 3 мм потрібно зменшувати допустимі значення міцності матеріалу. Різьби з крупним профілем, наприклад трапецієподібні з кутом 30°, оцінюються індивідуально, оскільки вимагають особливого підходу через підвищене навантаження.
- Вміст кремнію (Si)

- Деформаційна складка (form fold)



На рис. 1.13 показано основні геометричні параметри формувального мітчика.

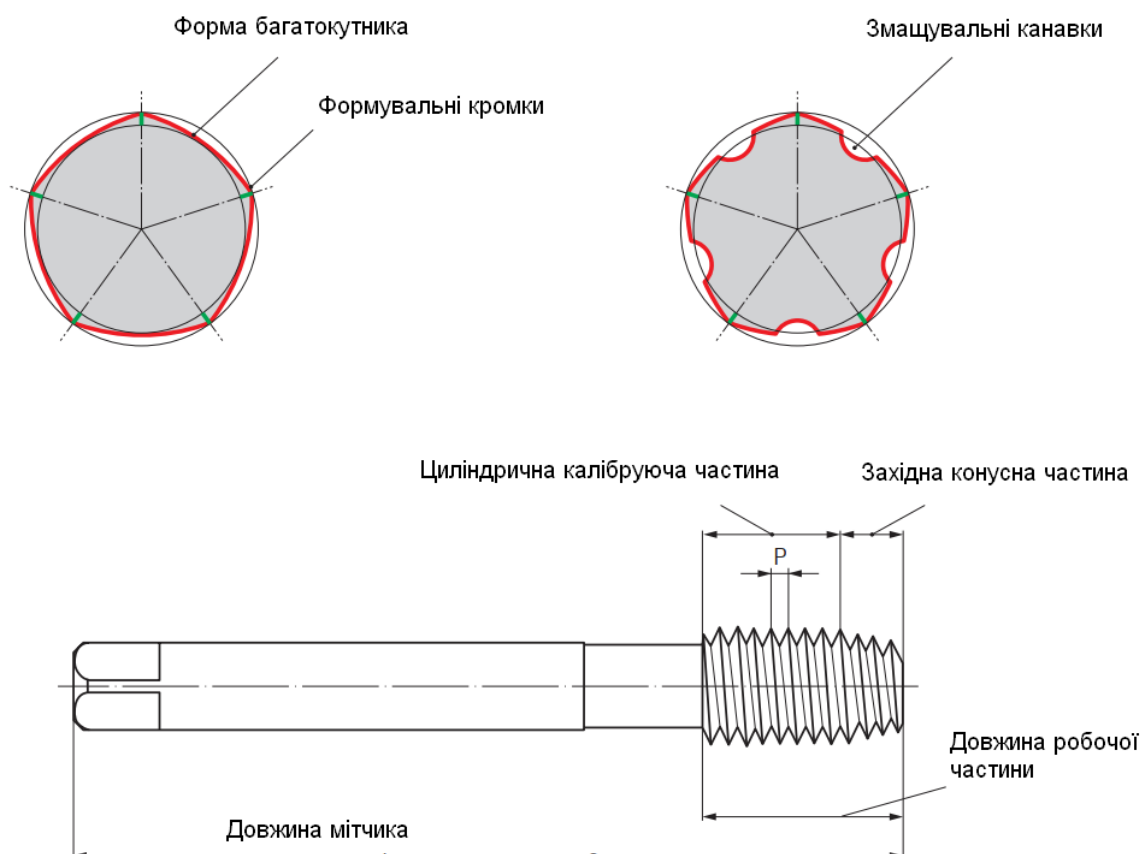


Рис. 1.13 Геометричні параметри формувального мітчика

1.3 Постановка задач дослідження

Внутрішні різьбові поверхні в алюмінієвих сплавах можуть формуватись як традиційним методом різання, так і методом пластичної деформації. Кожен метод має свої переваги та недоліки залежно від вимог до продуктивності, якості поверхні, міцності з'єднання та вартості виробництва.

На графіку (рис. 1.14) представлено оцінювання основних параметрів для двох методів: пластичної деформації та різання. Оцінювання виконане за 10-бальною шкалою, де 10 — найкращий показник.

Пластична деформація забезпечує вищу якість різьби, підвищену міцність та кращу стійкість інструменту, особливо при обробці алюмінієвих сплавів. Натомість метод різання залишається доцільним у випадках одиничного виробництва або при обробці твердих матеріалів. Таким чином, вибір методу повинен базуватись на матеріалі, обсягах виробництва та експлуатаційних вимогах до з'єднання.

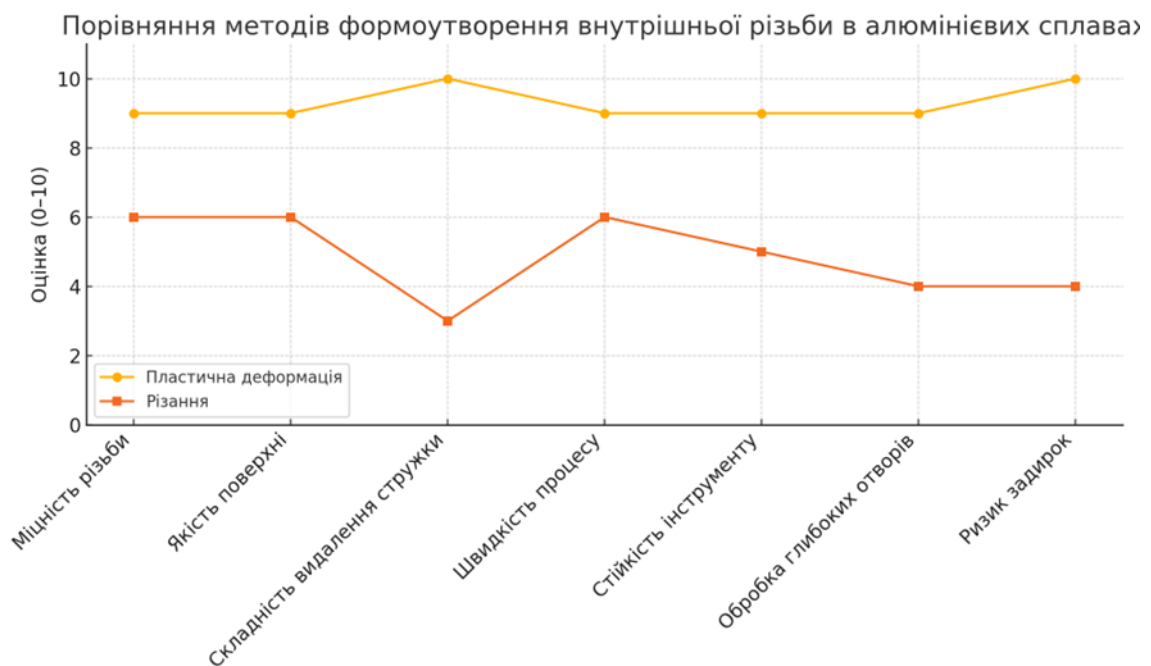


Рис. 1.14 Порівняння способів формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь в деталях із алюмінієвих сплавів

Виходячи із вищесказаного, в подальшому в роботі буде досліджуватись саме спосіб формування різьбових отворів методом пластичної деформації без зняття стружки. Будуть досліджуватись питання пов'язанні із усуненням частковим або повним, недоліків, які притамані даному процесу: прилипання матеріалу до мітчика, високе навантаження на інструмент, проблеми з охолодженням та змащенням, наявність деформаційної складки, яка виникає на гребені різьби, утворення мікротріщин у зоні різьби у сплавах з високим вмістом кремнію та інше.

Загальні висновки способів формоутворення:

1. Нарізання мітчиком:

- Процес: механічне видалення матеріалу (різання).
- Недолік: переривання волокон металу, що послаблює стінку різьби.
- Проблема: утворення стружки, яка може заблокувати отвір або пошкодити різьбу при виході інструменту (особливо в глухих отворах).

2. Різьбофрезерування:

- Процес: Переривчасте різання.
- Перевага: Гнучкість (один інструмент для різних діаметрів), можливість регулювання допуску.
- Недолік: Тривалий час циклу, також утворює стружку.

3. Холодне розкатування:

- Процес: Пластична деформація (переміщення об'єму).
- Перевага: Повна відсутність стружки, зміцнення поверхні, висока швидкість.

При різанні кристалічна решітка руйнується, а при розкатуванні волокна металу стискаються і огинають контур різьби, при цьому утворюється ущільнений поверхневий шар, який має підвищену стійкість до корозії та втоми.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

2.1 Поняття про пластичну деформацію

Пластична деформація — це процес незворотної зміни форми матеріалу під впливом зовнішніх навантажень, після зняття яких залишкова деформація зберігається. У випадку алюмінієвих сплавів цей процес має ряд особливостей через кристалічну будову, низький модуль пружності та хорошу пластичність.

Процес пластичної деформації полягає в переміщенні дислокацій у кристалічній решітці під дією напружень. У алюмінієвих сплавах домінують механізми ковзання та двійникування. Процес активізується при підвищенні температури, що призводить до зменшення опору деформації.

Особливостями пластичної деформації алюмінієвих сплавів є: висока пластичність, навіть при низьких температурах; низький модуль пружності; висока здатність до формування складних геометрій; чутливість до локального перегріву та зростання зерна при гарячій деформації.

Перевагами пластичної деформації є: високі значення допустимих деформацій; можливість отримання високої точності розмірів; висока продуктивність процесів холодної деформації.

Недоліками є: потреба в точному контролі температурного режиму; ймовірність виникнення тріщин при надмірних навантаженнях; вплив залишкових напружень на механічні властивості.

Залежність між напруженням і деформацією для алюмінієвих сплавів описується наступним чином:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n$$

де σ — напруження, ε — деформація, K — коефіцієнт зміцнення, n — показник зміцнення.

На рис. 2.1 показано залежність між напруженням та деформацією для алюмінієвого сплаву.

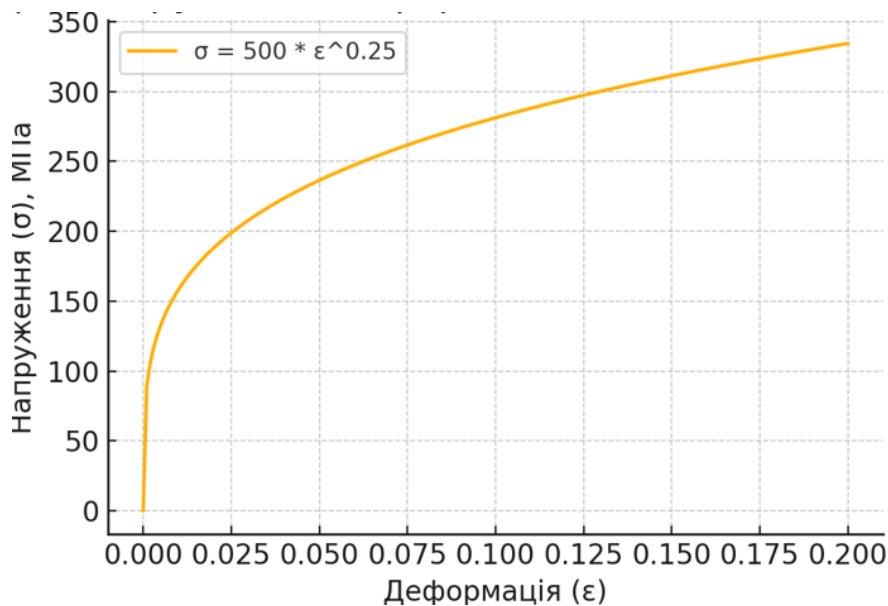


Рис. 2.1 Типова залежність між напруженням та деформацією для алюмінієвого сплаву

Пластична деформація алюмінієвих сплавів - ефективний метод формоутворення, який дозволяє досягати високої точності та продуктивності при мінімальних енергетичних затратах. Однак, процес вимагає контролю умов обробки для запобігання дефектам і забезпечення стабільності механічних властивостей.

2.2 Огляд досліджень в області формоутворення внутрішніх різбових поверхонь формувальними мітчиками

Виконаємо дослідження наукових публікацій та патентів в області формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь в деталях із алюмінієвих сплавів формувальними мітчиками, методом пластичної деформації.

Патент US9802262B2 [1], виданий є 2017 року, присвячений вдосконаленню конструкції формувальних мітчиків для обробки внутрішніх різб методом пластичної деформації. Його автори – інженери з компанії OSG Corporation.

Цей патент пропонує конструкцію формувального мітчика, яка знижує крутний момент, необхідний для формування внутрішньої різби, та покращує евакуацію мастила, що вкрай важливо при роботі з алюмінієвими сплавами та іншими в'язкими матеріалами (рис. 2.2).

Ключові технічні рішення:

1. Спеціальна форма канавок змащування:
 - розташовані радіально, з поступовим зменшенням глибини від хвостовика до робочої частини.
 - забезпечують кращу подачу охолоджувальної рідини в зону деформації.
 - зменшують імовірність перегріву та залипання матеріалу.
2. Конструкція різбової частини з чергуванням виступів і впадин:
 - Формуюча частина має декілька виступів із зубцями, розташованих уздовж спіралі.

- Виступи не мають ріжучих кромek – матеріал деформується без зрізання.
 - Це зміцнює метал у зоні різьби та забезпечує високу якість профілю.
3. Зменшення крутного моменту:
- Завдяки зміненому кроку та профілю зубців, а також ефективному відведенню тепла.
 - Це дозволяє застосовувати інструмент для глибоких різьбових отворів в м'яких або клейких сплавах, таких як алюмінієві (AlSi <12%).

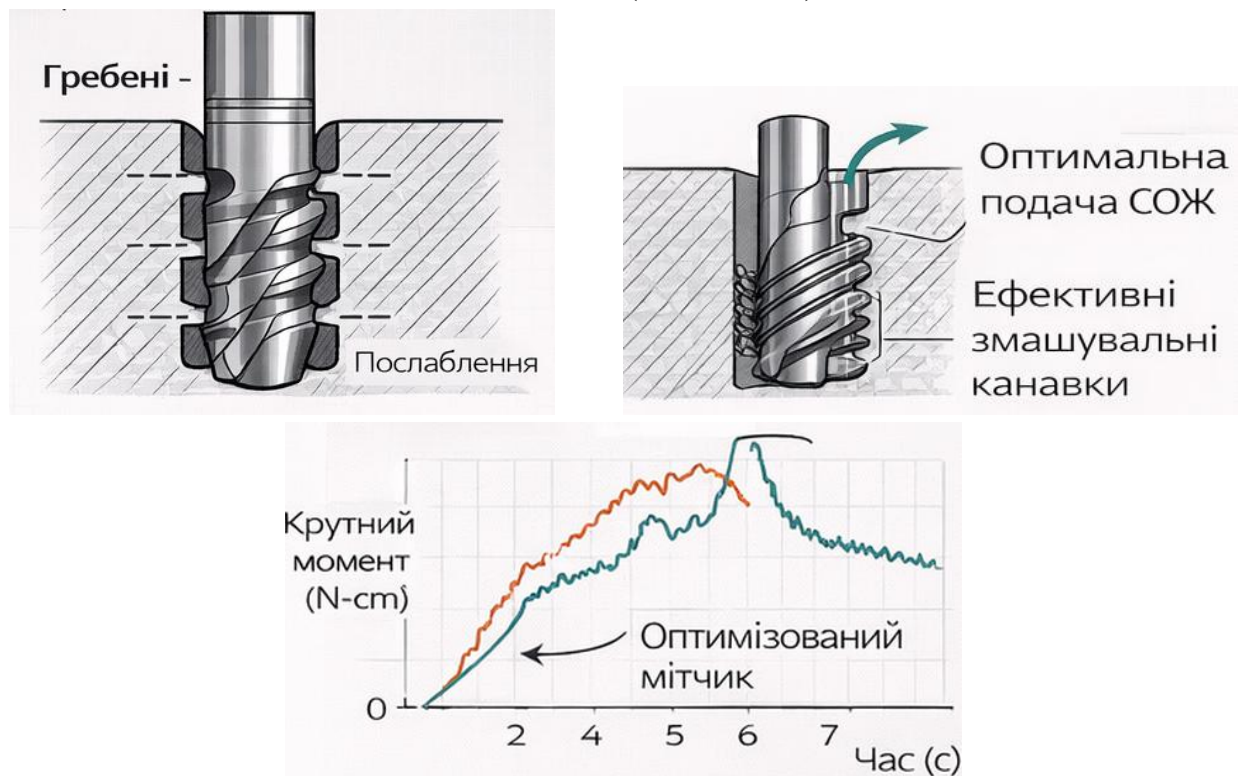


Рис. 2.2 Графічне представлення рішень згідно патента US9802262B2

Задачі, які вирішено в патенті представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Проблема	Рішення, запропоноване в патенті
Низька якість різьби у в'язких сплавах	Застосування деформаційного формування з контролем профілю
Перегрів та знос інструменту	Оптимізовані канавки для мастила
Надмірний крутний момент	Зміна профілю виступів і геометрії робочої частини
Проблеми із глухими отворами	Внутрішнє охолодження і плавне формування

Патент представляє собою інноваційне рішення для обробки внутрішніх різьб у складних матеріалах.

Патент US6685573B1 [2] присвячено вдосконаленню методів і конструкцій мітчиків для формування внутрішньої різьби методом пластичної деформації. Його основна мета - усунути проблеми надмірного зносу інструменту та недостатньої

якості різьби, що часто виникають при обробці складних або в'язких матеріалів, таких як алюмінієві сплави, нержавіюча сталь або титанові сплави.

У традиційних безстружкових мітчиках існує технологічна проблема, пов'язана з їх виготовленням. При шліфуванні різьби на інструменті шліфувальний круг рухається по гвинтовій лінії. Однак, вершини полігонального профілю зазвичай розташовані паралельно осі інструменту. Це призводить до "інтерференції" (перетину траєкторій) шліфувального круга та вершин профілю. Наслідком цього є те, що фактична ширина контакту стає більшою за проєктовану. Це збільшує площу тертя під час роботи інструменту, що призводить до підвищення крутного моменту, зменшення стійкості інструменту, перегріву в зоні обробки.

Патент пропонує зміну геометрії розташування вершин на калібруючій частині мітчика: вершини профілю не паралельні осі інструменту, а закручені по спіралі. Напрямок спіралі вершин є протилежним до напрямку спіралі самої різьби. Це геометричне рішення дозволяє шліфувальному кругу формувати профіль без спотворень ширини вершин.

Конструктивні особливості інструменту:

- Інструмент має полігональну форму з 8 вершинами, хоча принцип діє і для іншої кількості граней (4, 5, 6). Велика кількість граней (більше 4-х) дозволяє: зменшити навантаження на кожен окрему вершину та покращити округлість отриманої різьби.
- Для подачі МОР в зону деформації передбачені масляні канавки, вони можуть бути прямими або спіральними. Важливо, що канавки розташовані на ділянках "затилування", щоб не пошкодити робочі вершини.

Цей патент є ключовим для розуміння еволюції інструменту для розкатування різьби.

Використання геометрії зі "зворотною спіраллю вершин" дозволяє знизити момент на 17% (рис. 2.3). Це критично важливо для обробки в'язких сплавів (АМг6), де тертя є максимальним, а також для сплавів з абразивним наповнювачем (АК5М7), де важлива стійкість.

Задачі, які вирішує патент:

- Усунення зносу ріжучих кромок при різьбонарізанні;
- Зменшення крутного моменту при обробці глухих отворів;
- Покращення подачі МОР до активної зони інструменту;
- Підвищення точності та якості профілю сформованої різьби;
- Збільшення довговічності інструменту.

Технічні рішення, що досягнуті в патенті представлено в таблиці 2.2.

Опис технічних рішень патенту US6685573B1

№	Технічне рішення	Призначення / Ефект
1	Комбінований профіль формувального зубця	Зниження зусиль деформації
2	Перемінна висота елементів зубця	Зменшення навантаження в зонах входу
3	Оновлена геометрія радіальних виступів	Краще формування профілю різьби
4	Поглиблені змазувальні канали	Покращене охолодження і зниження тертя
5	Поступовий вхід мітчика у матеріал	Зменшення обривів різьби та стартового моменту

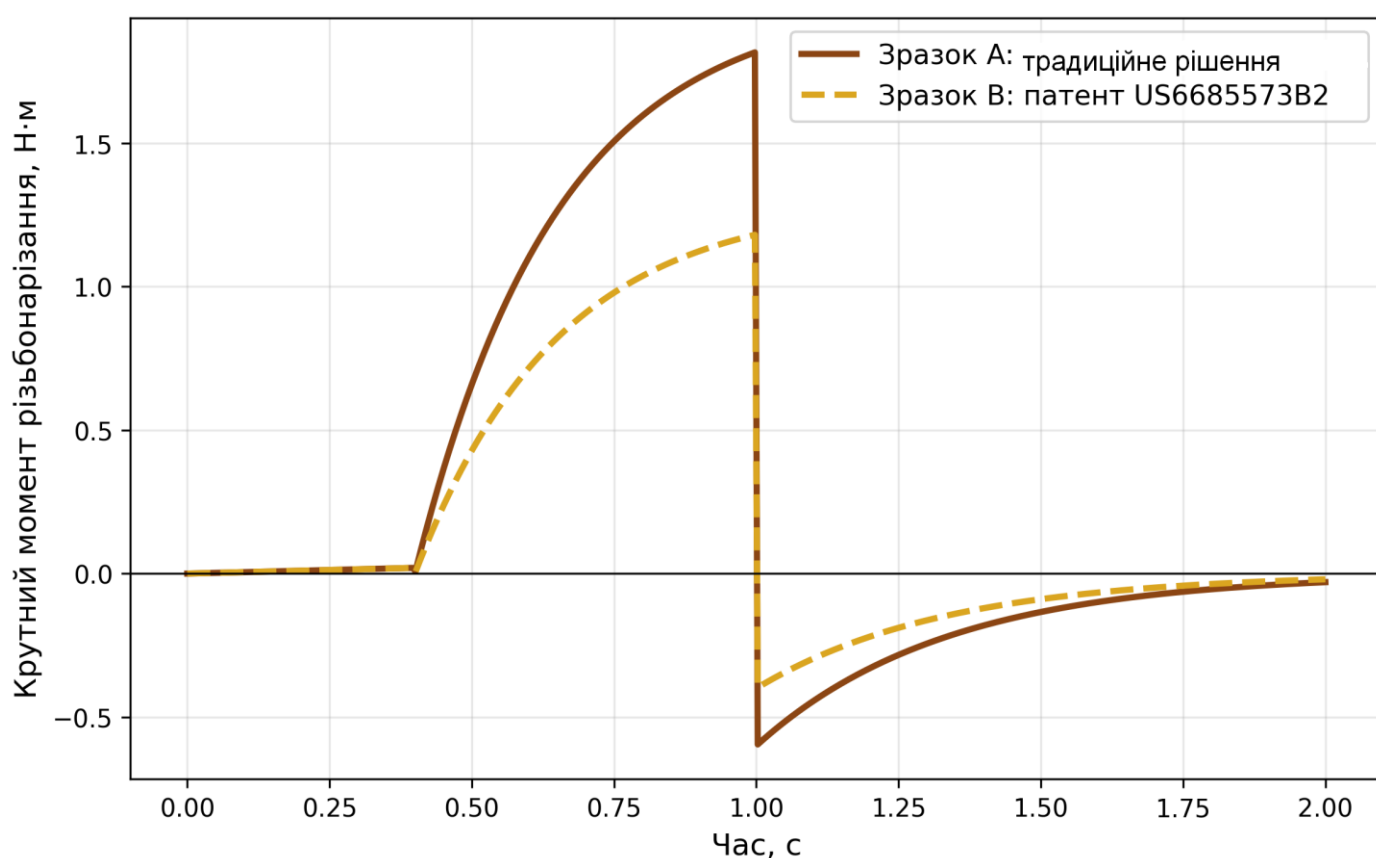


Рис. 2.3 Зменшення крутного моменту при формуванні різьби

У патенті US011007590B2 [3] OSG Corporation (Японія) 2021 року, описано, що при розкатуванні різьби найбільш критичною зоною є "забірна частина", а саме її передній торець. Розглядається проблема «неповного витка»: на самому кінчику мітчика завжди існує так званий «неповний виток», це частина різьби, яка ще не має повної висоти профілю.

Для часткового вирішення даної проблеми зазвичай цей торець просто шліфують під кутом (роблять фаску), щоб прибрати гострі кромки. Недоліком є те, що при традиційному шліфуванні фаски часто «зрізаються» вершини полігонального профілю. В результаті торець інструменту стає круглим, а не полігональним.

Наслідком є те, що коли круглий торець торкається стінок отвору, він створює суцільний контакт (тертя по всій площині), замість точкового контакту (як у вершин полігона). Це призводить до перегріву, викришування неповного витка та виникнення дефектів на вході в різьбу.

Патент пропонує новий метод формування торцевої фаски на неповному витку, який полягає в тому, що при заточуванні переднього торця зберігається полігональна форма. Тобто фаска не є ідеальним конусом, а повторює хвилеподібну форму перерізу інструменту.

Ключова ідея полягає в тому, що неповна різьба містить: радіальні виступи, розвантажувальні ділянки, та похилі фасетні поверхні.

Ці елементи забезпечують: контакт через виступи, а не через гребінь, зменшення тертя та rubbing-ефекту, запобігання викришуванню неповної різьби.

Проблема, яку вирішує патент полягає у тому, що у традиційних формувальних мітчиках гребінь неповної різьби може притискатися до внутрішньої поверхні отвору, створювати локальне тертя, викликати мікровикришування та дефекти різьби та приводити до можливого заклинювання частинок матеріалу між інструментом і отвором.

Наслідками може бути: нестабільна геометрія різьби, зниження ресурсу мітчика, підвищений крутний момент і ризик поломки.

На рис. 2.4 показано величину крутного моменту при використанні традиційних мітчиків та пропонуємого.

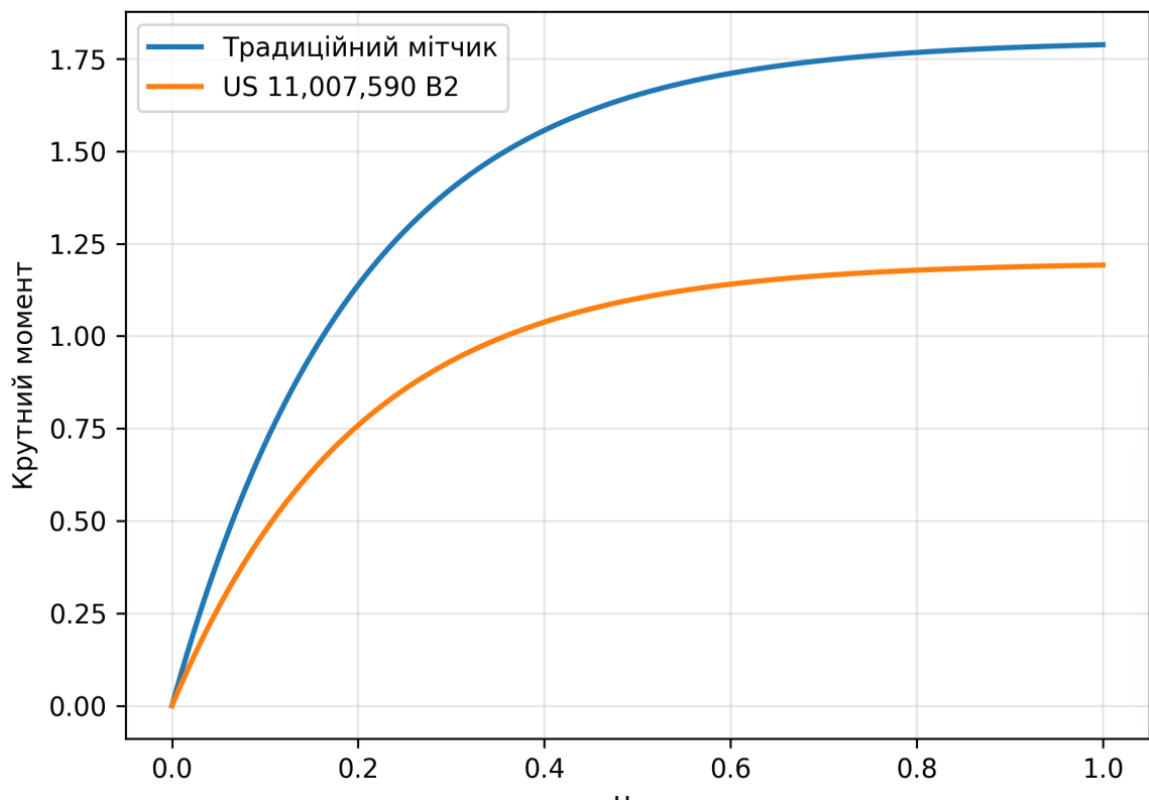


Рис. 2.4 Зменшення крутного моменту при формуванні різьби

Цей патент є критично важливим саме для обробки алюмінієвих сплавів (АМг6 та АК5М7). Для матеріалу АМг6 відбувається зменшення площі контакту на вході, що запобігає розігріву і «приварюванню» алюмінію до торця мітчика в перші секунди

обробки, а для матеріалу АК5М7 має місце збереження вершин на вході, що дозволяє інструменту легше «врізатися» в тверду кірку литва, не викришуючись.

У європейському патенті патенті EP 4 549 069 A1, 2025 року, заявник: OSG Corporation (Японія) описано, що у сучасних різьбоутворюючих розкатниках часто застосовується додатковий елемент - лезо для калібрування внутрішнього діаметра. Воно зрізає верхівки сформованої різьби, щоб забезпечити точний внутрішній діаметр.

Однак виникає проблема «явища тертя» при зворотному ході інструменту (викручуванні) - коли мітчик завершує роботу і починає викручуватися, лезо на забірній частині може тертися об уже сформовані витки різьби.

Наслідком є те, щоо у м'яких матеріалах (таких як алюміній АМг6) це викликає налипання та псує чистоту поверхні. У твердих сплавах (як АК5М7) це призводить до абразивного зносу леза.

Патент пропонує геометричну модифікацію калібруючого леза, щоб усунути контакт при реверсі. Ключовою ідеєю є те, що інструмент має спеціальну поздовжню канавку, на краю якої сформовано калібруюче лезо. Висота цього леза не є однаковою по всій довжині: на забірній частині - висота леза навмисно занижена, а на калібруючій частині - висота леза є повною (номінальною).

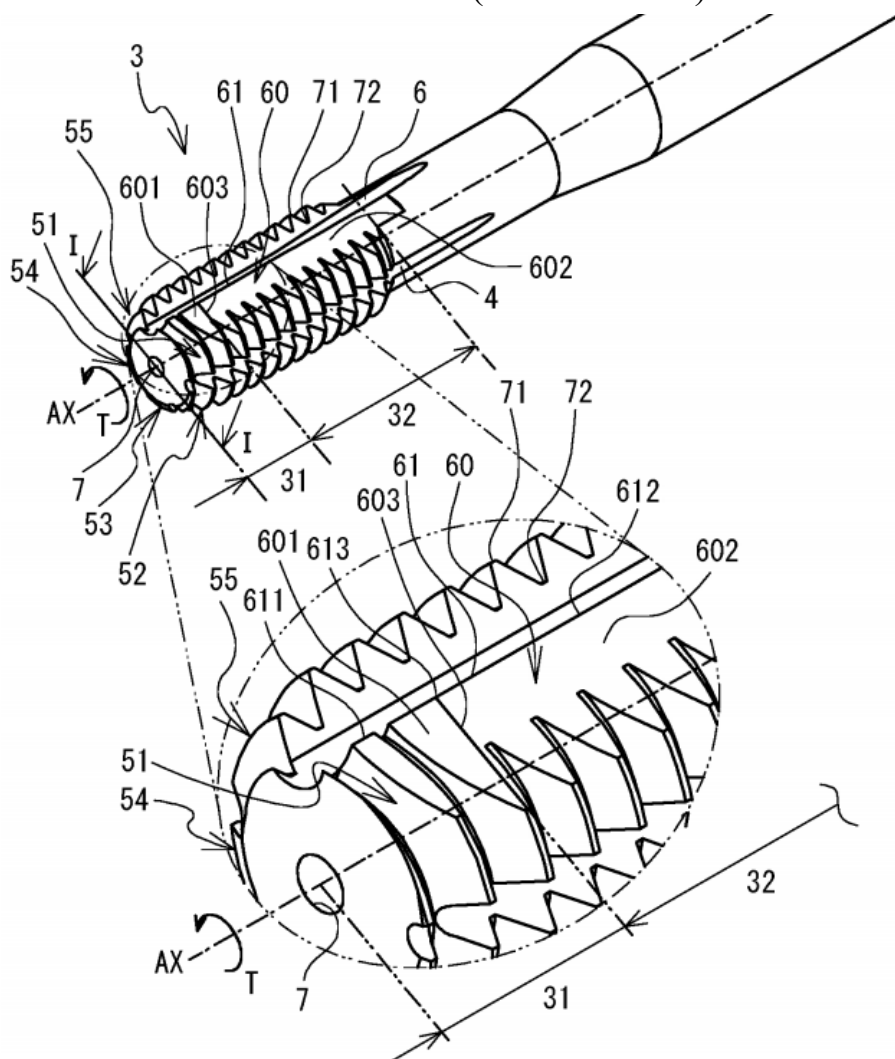


Рис. 2.5 Конструкція деформуючо-зрізаючого мітчика

Така умова створює "сходинку" або похилий перехід. Завдяки цьому, при зворотному ході та розширенні входу в отвір, занижене лезо на забірній частині фізично не дістає до верхівок сформованої різьби і не пошкоджує їх.

Використання зазначеного інструмента при обробці пластичних алюмінієвих сплавів (АМг6) усуває "задири" на вершинах різьби при викручуванні. Для в'язкого АМг6 це критично, бо будь-яке зайве тертя миттєво викликає налипання, а при обробці крихких алюмінієвих сплавів - знижує навантаження на інструмент, так як лезо на забірній частині "виключено" з роботи, при цьому зменшується сумарний крутний момент.

Новітній патент EP4549069A1 демонструє, що розвиток інструменту для розкатування різьби йде шляхом гібридизації: поєднання пластичної деформації (основна робота) та мікро-різання (калібрування вершини).

У роботі [5] досліджено процес формування різьби з використанням ультразвуку. Процес розкатування супроводжується значними силами тертя та високим крутним моментом, особливо у в'язких матеріалах (АМг6). Накладання ультразвукових коливань на інструмент змінює характер контакту з "суцільного" на "імпульсний", що має радикально знизити опір деформації.

Мітчик здійснює обертальний рух та одночасно коливається. Розглядаються поздовжні та крутильні коливання. При цьому має місце ефект "розмикання", інструмент періодично відривається від поверхні деталі, а також акустичне пом'якшення (зниження границі плинності металу під дією вібрацій).

На рис. 2.6 показано вплив ультразвуку на силові параметри, а на рис. 2.7 – зменшення часу контактної взаємодії.

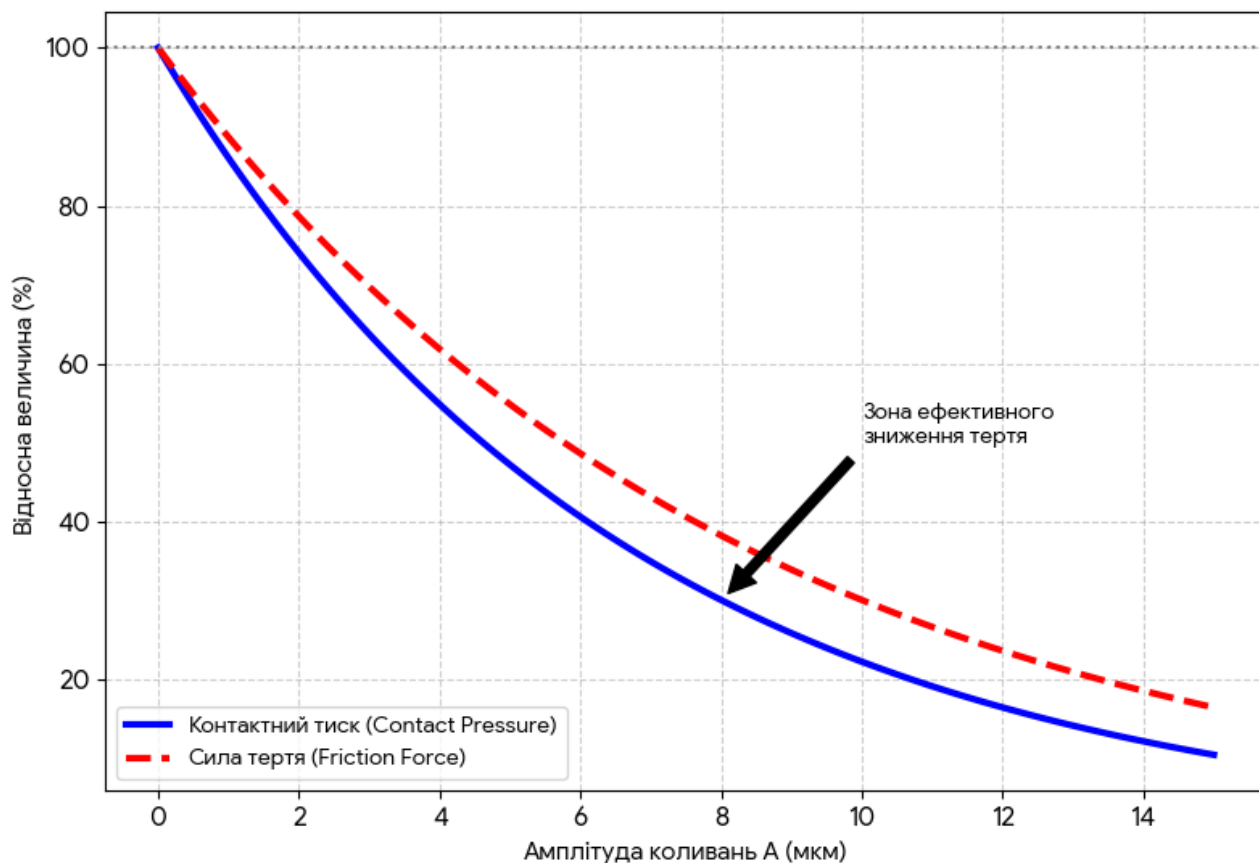


Рис. 2.6 Вплив ультразвуку на силові параметри

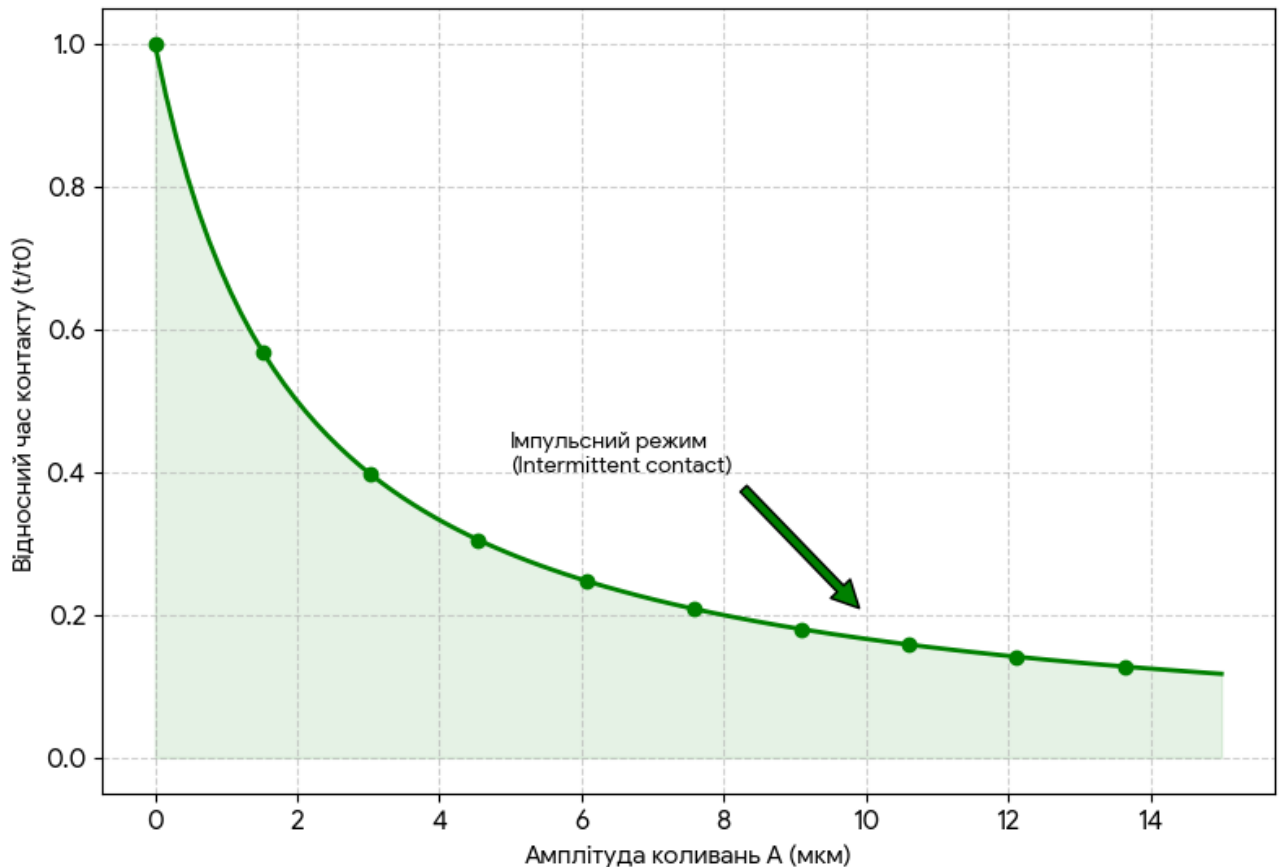


Рис. 2.7 Зменшення часу контактної взаємодії

У роботі [6] розглядається конструкція комбінованого мітчика для підвищення точності формоутворення внутрішніх різьб в алюмінієвих сплавах. При обробці алюмінієвих сплавів (типу Д16, АМг6) мають місце дві проблеми:

- при нарізанні утворюється наріст, м'який алюміній налипає на ріжучу кромку, що "розбиває" отвір (збільшує середній діаметр). Отримати точність вище 7Н дуже важко.
- при розкатуванні виникає явище "пружного відновлення", після проходження інструменту метал "відіграє" назад, змінюючи розмір, також розкатування вимагає високих моментів.

Автори пропонують принципово нову конструкцію деформуючо-ріжучого мітчика. Кожен зуб мітчика розділений на дві функціональні зони: деформуюча частина (передня) працює як клин, здійснюючи пластичну деформацію поверхневого шару металу, а ріжуча частина (задня) - зрізає припуск.

Алюміній схильний до налипання тільки в м'якому стані, деформуюча частина зуба "накочує" метал, викликаючи наклеп. Твердість поверхні зростає, а пластичність падає. Ріжуча частина, яка йде слідом, зрізає вже зміцнений (крихкий) метал.

В результаті стружка стає ламкою, наріст не утворюється, а чистота поверхні наближається до розкатування (рис. 2.8).

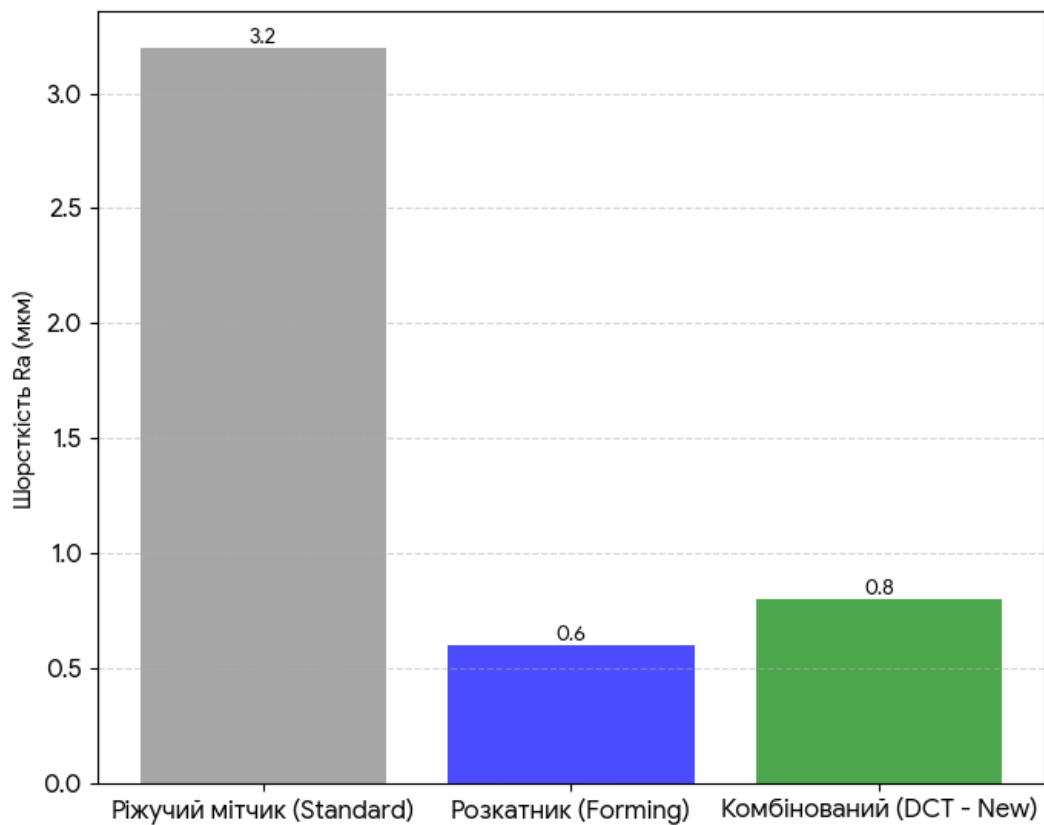


Рис. 2.8 Порівняння шорсткості поверхні різьби

У роботі [7] автор детально описує специфічний недолік розкатування - формування "кратера" (або "вушок") на вершині внутрішньої різьби (рис. 2.9).

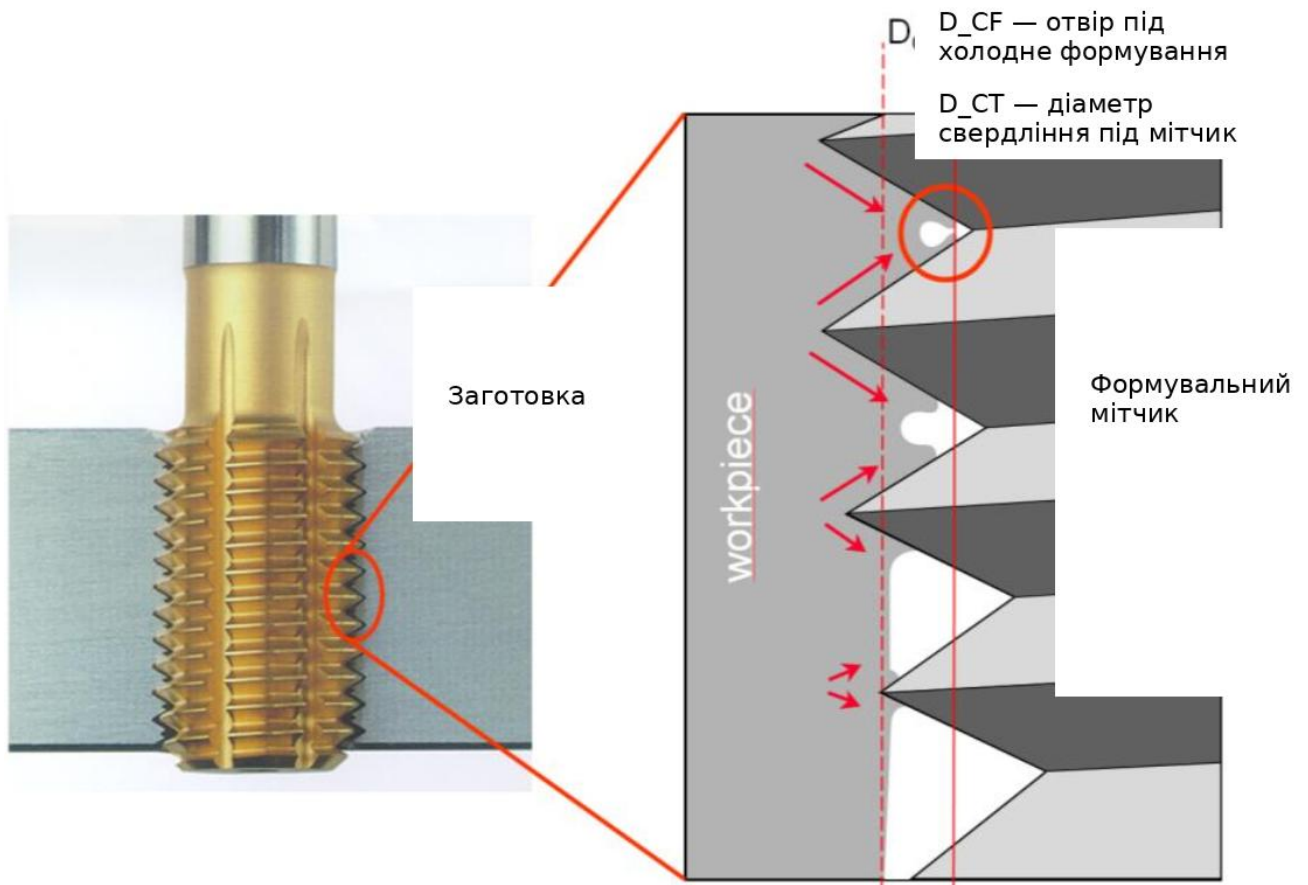


Рис. 2.9 Процес холодного формування

Оскільки метал тече з двох боків (від западин до вершини), потоки зустрічаються посередині.

Якщо діаметр отвору занадто великий, потоки не зникають повністю, утворюючи канавку.

Наявність цього кратера є нормальним явищем для технології розкатування і не вважається браком, якщо його глибина контрольована.

Розкатник не є круглим у перерізі. Він має полігональну форму із радіусними вершинами. Це зменшує площу контакту. Замість тертя всією поверхнею (як у болта), інструмент контактує лише вершинами полігона, що знижує крутний момент і тепловиділення.

Існує обмеження по матеріалам, для яких доцільно використовувати розкатування:

- Пластичність: Мінімальне відносне видовження має бути $> 5\%$.
- Міцність: Максимальна межа міцності $< 1200 \text{ Н/мм}^2$.

На основі проведених досліджень можна зробити практичні висновки та рекомендації для формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації:

- Використання інструменту у відповідності до патенту [1] надає певні переваги: зменшення навантаження на інструмент; підвищення якості різьбового з'єднання; оптимізацію мастилоподачі.

Підходить для обробки глибоких отворів і складних умов.

- Рішення, представлені в патенті [2], дозволяють формувати внутрішню різьбу без стружки, з меншим навантаженням на інструмент і верстат (шпиндель верстата), що особливо актуально для алюмінієвих сплавів, які мають схильність до залипання і налипання на інструмент.
- Використання інструменту у відповідності до патенту [3] дає можливість підвищити надійність процесу розкатування різьби в алюмінієвих. Інструмент має модифіковану геометрію забірної частини. Збереження полігонального профілю на неповному витку дозволяє знизити осьове зусилля в момент врізання та уникнути раннього руйнування інструменту від втомних напружень.

Використання інструменту у відповідності до патенту [4] дає можливість усунення основних дефектів формування внутрішньої різьби. Введення радіальних виступів і похилих фасетних поверхонь у зоні неповної різьби змінює характер контакту, мінімізує тертя, підвищує надійність процесу.

Рішення є особливо актуальним для алюмінієвих сплавів, де ризик налипання та викришування є критичним.

Запропонована геометрична диференціація висоти леза дозволяє значно підвищити якість різьби в кольорових металах, усуваючи дефекти, що виникають при реверсивному русі інструменту.

Накладання ультразвукових коливань дозволяє знизити крутний момент на 30-50%. Це компенсує високі навантаження, які мають місце при обробці крихких алюмінієвих сплавів. Дає можливість підвищити якість поверхні: імпульсна деформація згладжує мікронерівності, покращуючи шорсткість різьби на 1-2 класи. Також, дає можливість збільшити швидкість обробки без ризику поломки інструменту.

Використання інструменту у відповідності до роботи [6], підтверджує ефективність використання гібридних процесів. Застосування попереднього пластичного деформування припуску перед його зрізанням дозволяє штучно змінити властивості оброблюваного алюмінієвого сплаву (ефект наклепу), що усуває головну проблему - утворення наросту.

При формуванні методом пластичної деформації маємо підвищені вимоги до попередньо обробленого отвору у порівнянні з різанням мітчиком: відхилення на 0,05-0,1 мм може призвести або до поломки інструменту (замалий отвір), або до недопустимо глибокого "кратера" на вершині (завеликий отвір).

Незважаючи на те, що інструмент для розкатування дорожчий за мітчики, його стійкість у 3-20 разів вища завдяки відсутності зносу ріжучих кромek (яких у нього просто немає).

Метод рекомендований для відповідальних вузлів з алюмінію, де критична чистота (відсутність стружки) та вібростійкість з'єднання.

2.3 Дослідження впливу швидкості обробки та діаметра отвору на величину крутного моменту при формування внутрішньої різьбової поверхні

Розглянемо основні характеристики матеріалу деталі – алюмінієвого сплаву марки АК5М7 (Al-Si-Cu). АК5М7 – це ливарний сплав (силумін з міддю). Хімічний склад: Si (кремній): 4.5 – 5.5% (це головний ворог інструменту — абразив); Cu (мідь): 1.0 – 1.5% (додає твердості, але знижує корозійну стійкість).

Механічні властивості (після зміцнення Т5/Т6):

- Межа міцності $\sigma_B=225\div250$ МПа (низька, тому зусилля деформації буде невеликим).
- Твердість (НВ): 70–80 (м'який).
- Відносне видовження $\delta=2\div4\%$ (критичний параметр).

При формуванні різьби у сплаві АК5М7 акценти зміщуються на такі виклики:

Проблема низької пластичності: для стабільного розкатування різьби рекомендоване видовження матеріалу $> 5\%$. У АК5М7 воно часто нижче (2-3%). Маємо ризики розриву вершини різьби "рвана" різьба або лущення витків.

Для вирішення даної проблеми потрібно виконати оптимізацію діаметра отвору (робити його більшим, зменшуючи % заповнення профілю до 65%) та накладати на інструмент ультразвукові коливання.

Абразивний знос інструменту: наявність 5% кремнію діє як наждак на робочі грані розкатника. Тому вибір покриття інструменту (DLC, CrN) стає важливішим за міцність інструменту.

Оптимальним є покриття: DLC (Diamond-Like Carbon алмазоподібний вуглець) - це клас аморфних вуглецевих матеріалів, які поєднують у собі властивості графіту (низьке тертя) та алмазу (висока твердість).

Вуглець, який входить до складу покриття DLC є хімічно інертним до алюмінію. Алюміній не "липне" до вуглецю. А "алмазна" структура забезпечує твердість, вищу за твердість кремнію.

Низький коефіцієнт тертя ($\mu < 0,1$) мінімізує тепловиділення та крутний момент, а надвисока твердість (> 3000 HV) забезпечує ресурс стійкості інструменту в умовах абразивного впливу евтектичного кремнію. Використання DLC дозволяє підвищити швидкість обробки на 20–30% порівняно з покриттям TiN.

Пористість литва: АК5М7 схильний до утворення газової пористості, але розкатування ущільнює поверхню різьби, закриваючи пори, що робить з'єднання герметичним (на відміну від різання, яке відкриває пори).

Для процесу розкатування у ливарному сплаві АК5М7 вибір мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) є навіть важливішим, ніж при різанні. Оскільки стружка відсутня, функція «вимивання» відходить на другий план, а критичною стає функція змащування для запобігання адгезії (налипання) та зниження тертя.

Оптимальним вибором є високопродуктивна олива для розкатування. Це безхлорне мастило на основі ефірів (синтетичне або напівсинтетичне) з пакетом EP-присадок.

При розкатуванні тиск у точках контакту (на вершинах «кулачків» інструменту) настільки високий, що звичайна масляна плівка розривається. Потрібні EP-присадки - хімічно активні речовини (сполуки фосфору або пасивованої сірки), які при нагріванні вступають у реакцію з алюмінієм, утворюючи тонку захисну плівку, що запобігає зварюванню поверхонь. Синтетичні ефіри мають полярні молекули, які «магнітяться» до поверхні металу, створюючи стійкий змащувальний шар, який важко здерти навіть абразивним кремнієм, що міститься в АК5М7.

Для розкатування АК5М7 інструмент повинен мати полігональну форму перерізу, тобто не круглий переріз, а форму "кулачків" із скругленим профілем з кількістю вершин 6-8. Це зменшує навантаження на кожен точку контакту і запобігає розриву крихкої структури литва.

При розкатуванні маємо перевагу - ущільнення пір: розкатник «запросовує» газові раковини та пори, характерні для АК5М7. Поверхня різьби стає дзеркальною і твердою.

Але при цьому маємо ризики появи «рваної вершини»: оскільки пластичність АК5М7 низька, метал може не встигнути заповнити вершину профілю інструменту, або почати тріскатися.

Для нівелювання цього явища, потрібно розрахувати діаметр отвору так, щоб коефіцієнт заповнення різьби був не 75%, а 60-65%. Це зменшить ризик руйнування гребеня різьби.

Розглянемо параметри дюймової уніфікованої різьби з дрібним кроком 1/4-28 UNF. Стандарт UNF часто використовується в авіації та гідравліці, де застосовується і АК5М7 (корпуси pomp, насосів, фітинги).

Різьба 1/4-28 має крок приблизно 0,9 мм, що менше, ніж у стандартної М6 (1.0 мм). Для крихкого АК5М7 це плюс — менша глибина деформації, менший ризик тріщин.

Номинальний діаметр $d_{\text{ном}}$:

$$d_{\text{ном}} = 0,25 \text{ дюйма} \cdot 25,4 = 6,35 \text{ мм}$$

Кількість ниток на дюйм TPI: 28

Крок різьби P:

$$P = 25,4 / 28 = 0,907 \text{ мм}$$

Розрахунок діаметра попереднього отвору d_o , при умові зниженого навантаження (65% профілю), що забезпечить достатню міцність, але радикально знизить навантаження:

$$d_o = d_{\text{ном}} - ((0,0068 \cdot \% \text{Thread} / \text{TPI}) \cdot 25,4)$$

$$d_o = 5,945 \text{ мм}$$

Рекомендовано обрати свердло $\varnothing 5,95 \text{ мм}$.

Розраховуємо крутний момент M_t , використовуємо адаптовану формулу для АК5М7 ($\sigma_B = 240 \text{ МПа}$):

$$M_t = P \cdot d_{\text{ном}}^2 \cdot \sigma_B \cdot K_{\text{safety}} / 400$$

де $K_{\text{safety}} = 1,2$ (враховує тертя через абразивний кремній).

$$M_t = 2,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент дуже малий ($\sim 2,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$). Це дозволяє використовувати високошвидкісні шпинделі.

Для АК5М7 головним обмежувачем є абразивний знос.

- Швидкість різання (v_c): некомендовано 25 м/хв (для інструменту з покриттям DLC).
- Частота обертання n:

$$n = 1000 \cdot v_c / \pi \cdot d_{\text{ном}}$$

$$n = 1254 \text{ об/хв}$$

Робоча подача F при розкатуванні жорстко прив'язана до кроку:

$$F = n \cdot \pi$$

$$F=1137 \text{ мм/хв}$$

В табл. 2.3 зазначені рекомендації для формування різьбової поверхні.

Таблиця 2.3

Рекомендації для формування різьбової поверхні

Параметр	Значення/Рекомендація	Пояснення для АК5М7
Розмір	1/4-28 UNF	Дрібний крок зменшує глибину деформації
Тип	Розкатник	Безстружкова обробка закриває пори литва
Кількість вершин	6 або більше	Стандартні 3-4 вершини можуть "розколоти" крихкий сплав. 6-8 вершин забезпечують "м'якшу" деформацію
Покриття	DLC	TiN зітреться об кремній за 500 отворів. DLC витримає 5000+
Канали МОР	Обов'язкові (Radial/Axial)	Потрібно вимивати дрібний шлам і змащувати зону контакту

Виконаємо математичне моделювання впливу двох ключових факторів — швидкості різання (v_c) та діаметра попереднього отвору (d_o) — на величину крутного моменту при формуванні різьби: 1/4-28 UNF у сплаві АК5М7.

Для дослідження використовуємо повний факторний експеримент типу 3^2 (2 фактори на 3 рівнях варіювання). Це дозволяє побудувати нелінійну модель процесу.

Фактори та їх рівні:

Фактор А: діаметр отвору (d_o), це найважливіший параметр. Відхилення на 0,05 мм радикально змінює ступінь заповнення профілю різьби.

- Рівень -1 (Тісний): 5,90 мм (Високе навантаження, ~75% заповнення).
- Рівень 0 (Базовий): 5,95 мм (Рекомендований для АК5М7, ~65% заповнення).
- Рівень +1 (Вільний): 6,00 мм (Низьке навантаження, ~55% заповнення).

Фактор В: Швидкість різання (v_c), впливає на теплові процеси в зоні контакту.

- Рівень -1 (Низька): 15 м/хв (Мінімальний нагрів).
- Рівень 0 (Середня): 30 м/хв (Робоча зона).
- Рівень +1 (Висока): 45 м/хв (Максимальна продуктивність).

Матриця планування експерименту представлена в табл. 2.4.

Матриця планування експерименту

№ досліджу	d_0 (мм)	V_c (м/хв)	Прогноз Моменту M_t (Н·м)	Очікуваний результат процесу
1	5.90	15	Max (~4.0)	Ризик поломки. Метал "холодний" і щільний.
2	5.90	30	High (~3.6)	Важкий режим, але можливий.
3	5.90	45	High (~3.4)	Тертя розігріває метал, момент трохи падає.
4	5.95	15	Medium (~2.8)	Стабільний процес.
5	5.95	30	Optimum (~2.6)	Ідеальний баланс (Базовий розрахунок).
6	5.95	45	Medium (~2.5)	Висока продуктивність.
7	6.00	15	Low (~1.8)	Легкий режим, але можливий неповний профіль.
8	6.00	30	Low (~1.7)	Неповна різьба.
9	6.00	45	Min (~1.6)	Мінімальне навантаження.

Аналіз графіків:

- Вплив діаметра отвору на момент ($v_c=25$ м/хв) (рис. 2.10):

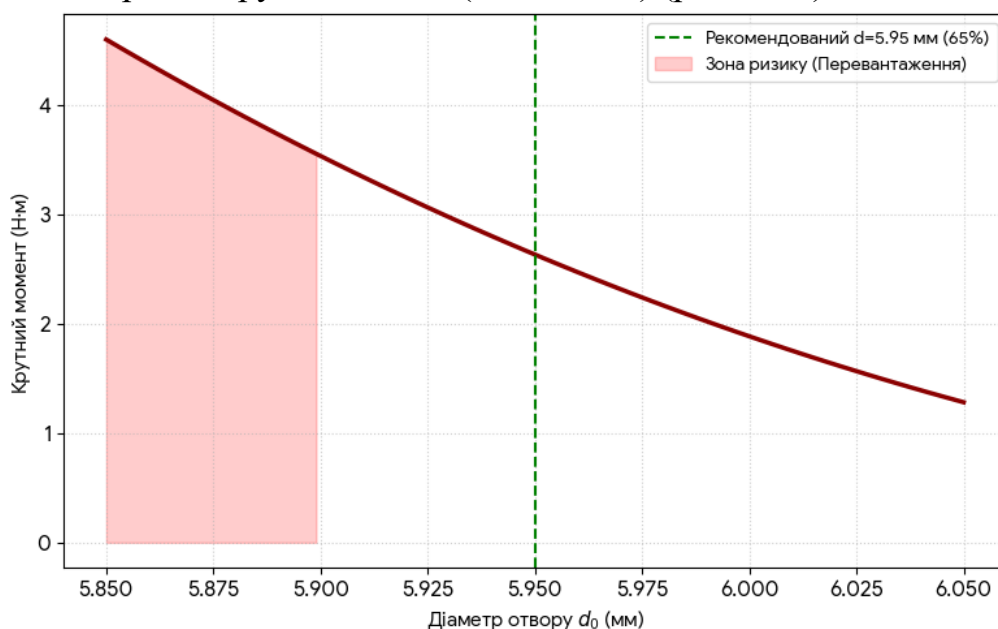


Рис. 2.10 Вплив діаметра отвору на момент ($v_c=25$ м/хв)

Крива показує експоненційне зростання моменту при зменшенні діаметра. Червона зона ($d < 5,90$ мм): Крутний момент різко злітає вгору. Для крихкого сплаву АК5М7 це зона гарантованого браку (викришування різьби або поломка мітчика).

Висновок: Точність свердління є критичною. Необхідно використовувати розгортку або твердосплавне свердло високої точності (H7), щоб утримати розмір в межах $5,95 \pm 0,02$ мм.

- Вплив швидкості різання на крутний момент $d_0=5,95$ мм (рис. 2.11).

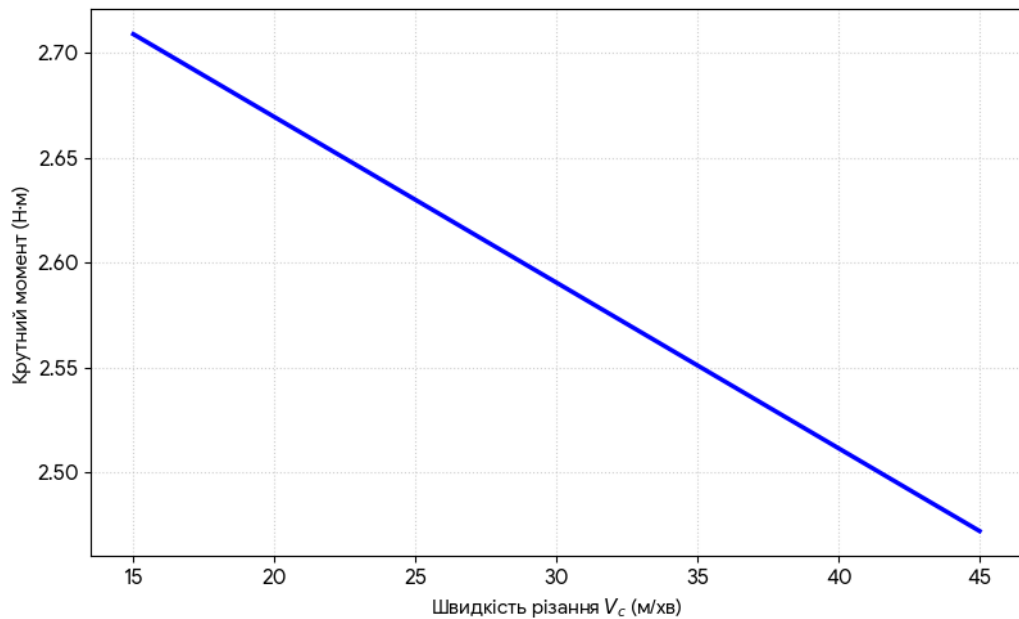


Рис. 2.11 Вплив швидкості різання на крутний момент ($d_0=5,95$ мм)

Залежність спадна, але плавна. Зі збільшенням швидкості з 15 до 45 м/хв момент зменшується приблизно на 10-15%. Це пояснюється "термічним пом'якшенням" матриці алюмінієвого сплаву під дією тертя.

Для АК5М7 вигідніше працювати на підвищених швидкостях (30-40 м/хв), оскільки це знижує силове навантаження на інструмент.

- 3D-модель поверхні відгуку $M_t = f(v_c, d_0)$ є комплексною картою процесу (рис. 2.12).

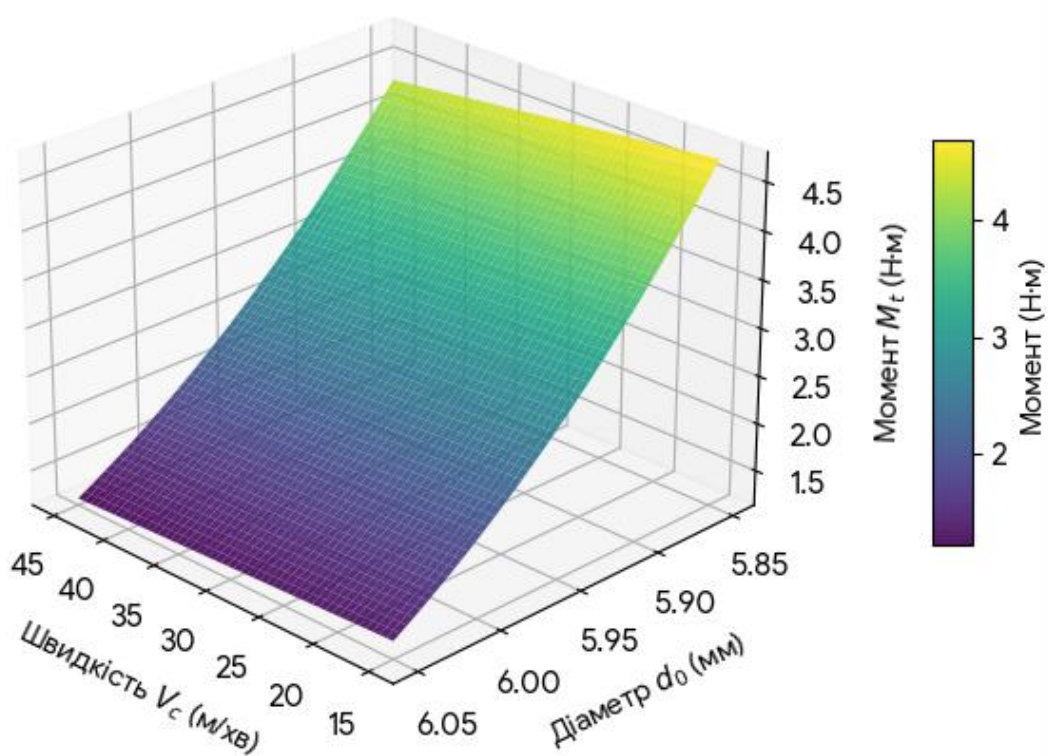


Рис. 2.12 3D – модель поверхні відгуку $M_t = f(v_c, d_0)$

Виконаємо опис поверхні відгуку: "Вершина" (Жовтий колір): Комбінація малого отвору та низької швидкості — заборонена зона. "Низина" (Фіолетовий колір): Великий отвір та висока швидкість. Тут найменший опір, але треба слідкувати за висотою профілю різьби (щоб не вийшла "лиса" різьба).

2.4 Висновки

На основі проведеного факторного аналізу для різьби 1/4-28 UNF у сплаві АК5М7 встановлено, що домінуючим фактором впливу на енергосилові параметри є діаметр попереднього отвору. Зміна діаметра на 0,1 мм (з 6,00 до 5,90 мм) призводить до зростання крутного моменту у 2,5 рази. Вплив швидкості є вторинним, але позитивним — підвищення швидкості сприяє зниженню моменту тертя.

Оптимальним режимом визначено: Діаметр отвору 5,95...5,97 мм, швидкість різання 30...40 м/хв. Це забезпечує момент в межах 2,5–2,8 Н·м, що є безпечним для інструменту.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КРИШКИ НИЖНЬОЇ

3.1 Службове призначення кришки нижньої та її характеристика

Деталь кришка нижня є складовою частиною насоса підживлення, який входить до складу аксіально-поршневого регульованого насоса типу НП90. У свою чергу, аксіально-поршковий гідронасос НП90 є елементом об'ємного гідроприводу (рис. 3.1).

Об'ємний гідропривід призначений для передавання потужності від силового агрегату до ходової частини самохідних сільськогосподарських машин із забезпеченням безступінчастого регулювання швидкості руху та тягового зусилля в умовах ручного керування. У складі гідроприводу застосовується аксіально-поршковий регульований гідронасос з нахиленою шайбою (поз. 1, рис. 3.1), який функціонує за замкненою гідравлічною схемою.

Продуктивність насоса визначається частотою обертання ротора та величиною робочого об'єму, що регулюється шляхом зміни кута нахилу шайби. Зміна напрямку подачі робочої рідини забезпечується поворотом нахиленої шайби у протилежні сторони відносно її нейтрального положення. Схему складання насоса наведено на рис. 3.2.

Насос підживлення (поз. 3, рис. 3.2) під час роботи об'ємного гідроприводу в усталеному режимі здійснює безперервну подачу робочої рідини в трубопровід низького тиску, забезпечуючи компенсацію витоків. Надлишкова кількість робочої рідини через переливний клапан відводиться в корпус гідромотора. Конструктивне виконання насоса (рис. 3.3) зумовлює підвищені вимоги до точності виготовлення його складових елементів та якості застосовуваних матеріалів.

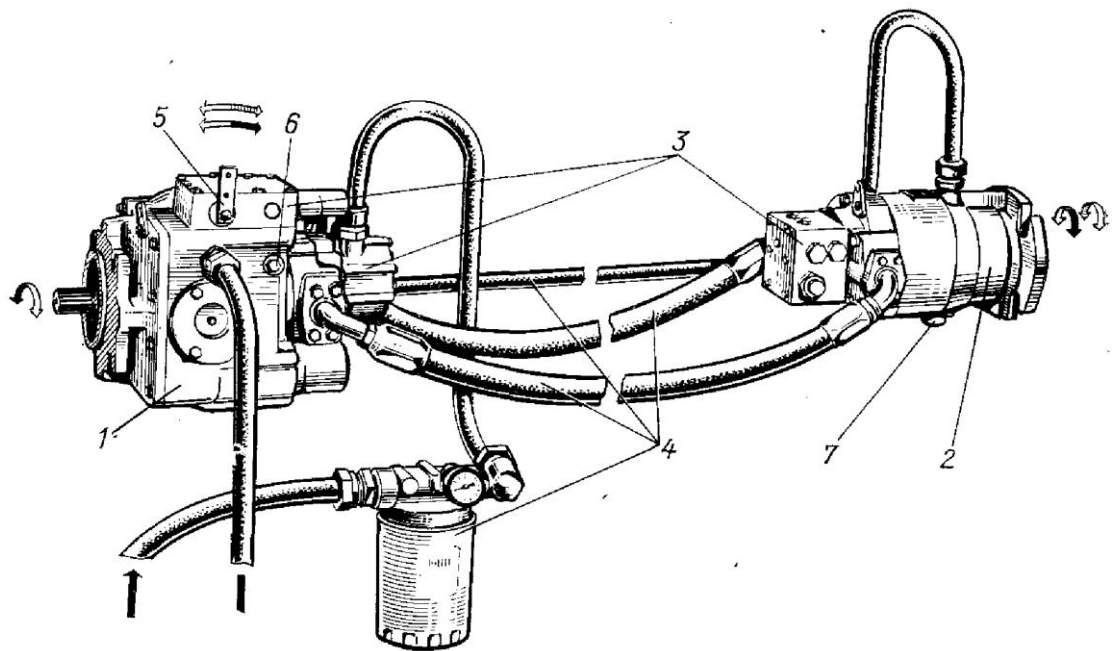


Рис. 3.1 Гідропривід об'ємний:

1- регулюємий насос високого тиску; 2- нерегулюємий гідромотор; 3- гідроапаратура керування (клапанна коробка, гідророзподільник, насос підживлення); 4- допоміжні пристрої.

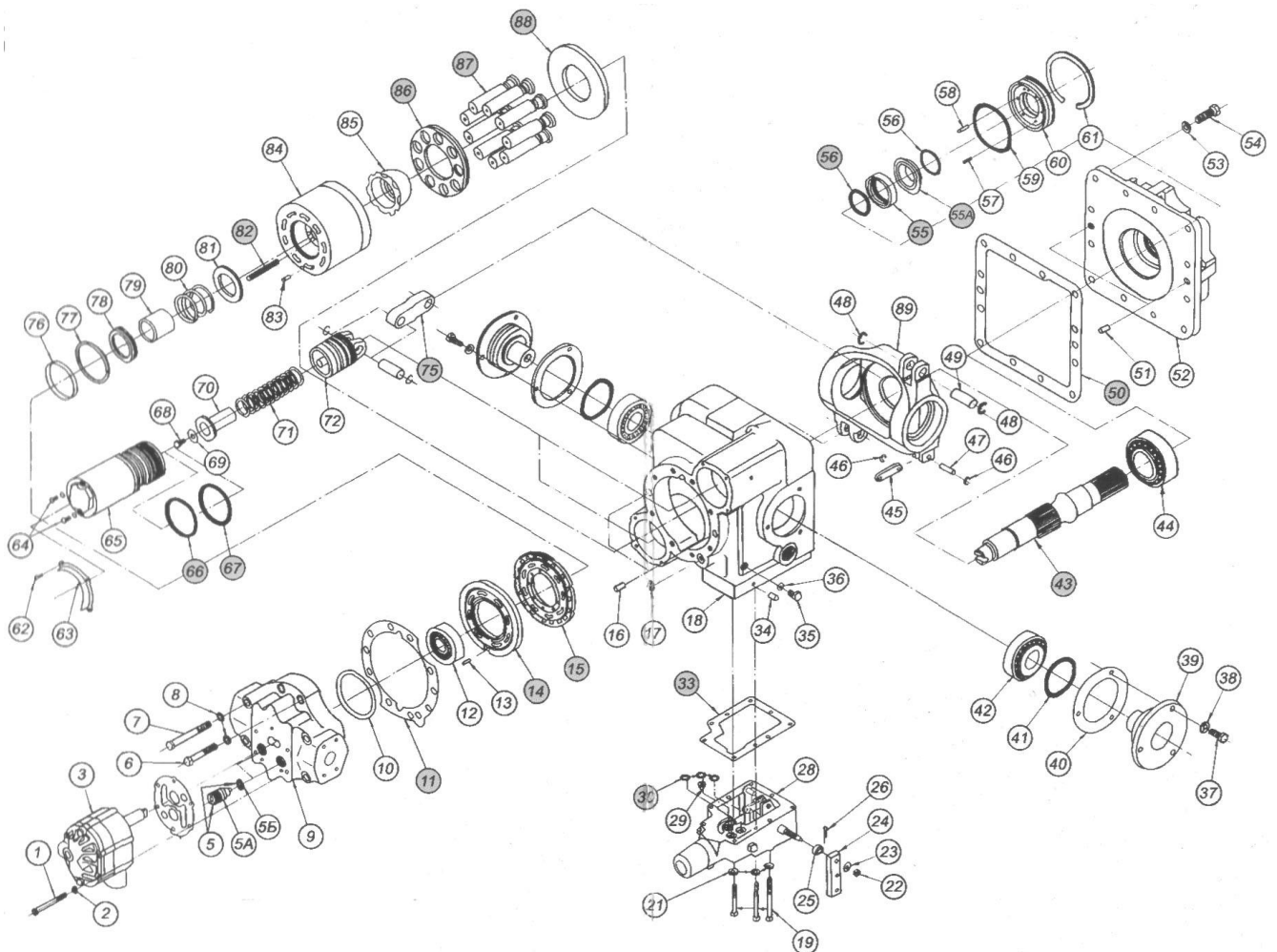


Рис. 3.2 Гідромотор аксіально-плунжерний регулюємий

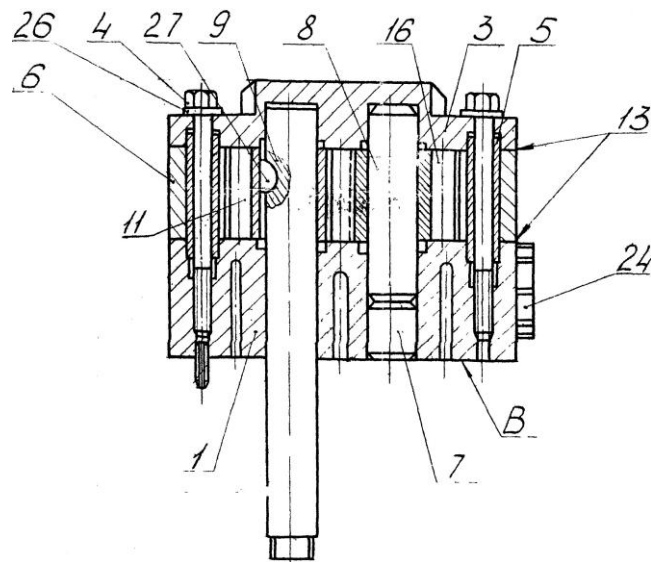


Рис. 3.3 Конструкція насоса підживлення:

1- кришка нижня; 3- кришка верхня; 4- болт; 5- втулка; 6- корпус насоса; 7- пробка; 8- вісь; 9- вал; 10- штифт; 11- шестерня ведуча; 12- клапан; 13- прокладка; 14- пружина; 15- пробка; 16- шестерня ведена; 17- шайба регулюєма; 19- шайба регулюєма; 20- шайба регулюєма; 21- шайба регулюєма; 22- табличка; 23- кільце ущільнююче; 24- пробка гумова; 25- заклепка; 26- шайба; 27- шпонка; 28- штифт.

Деталь кришка нижня (поз. 1, рис. 3.3) призначена для забезпечення герметичності робочої камери насоса підживлення, у якій здійснюється нагнітання робочої рідини під тиском. У конструкції кришки передбачені канали для підведення та відведення робочої рідини. Крім того, в кришці встановлюється запобіжний клапан, у зв'язку з чим під час лиття заготовки передбачається встановлення сталевий втулки, в якій надалі обробляється посадкова поверхня під сідло запобіжного клапана.

У кришці виконані отвори, що працюють у режимі ковзання, про що свідчать підвищені вимоги до їх шорсткості. Зазначені отвори слугують опорою для вала 9 та осі 8 насоса підживлення. Також у деталі передбачено отвір для кріплення насоса підживлення до аксіально-поршневого гідронасоса НП90, а також різьбові отвори для з'єднання нижньої кришки з корпусом 6 насоса підживлення.

Тип виробництва — середньосерійний. Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженої номенклатури виробів партіями, які періодично повторюються, та достатньо високим рівнем спеціалізації робочих місць. Для середньосерійного виробництва є характерною часткова спеціалізація обладнання, а також застосування універсальних верстатів із можливістю швидкого переналагодження. Водночас широко використовуються верстати з числовим програмним керуванням. Раціональною для даного типу виробництва є предметна форма організації технологічного процесу, за якої верстати розташовуються відповідно до послідовності виконання технологічних операцій, а обробка деталей здійснюється партіями.

3.2 Розробка технології виготовлення кришки нижньої

Деталь кришка нижня виготовляється з алюмінієвого сплаву АК5М7 (АЛ10В), який характеризується добрими ливарними властивостями та задовільною оброблюваністю різанням, а також достатньою корозійною стійкістю для умов експлуатації деталі.

За конструктивними ознаками кришка нижня належить до призматичних деталей з елементами тіл обертання. Як заготовку для виготовлення деталі застосовано виливок, отриманий методом лиття в кокіль, що дає змогу підвищити точність геометричних параметрів і зменшити шорсткість поверхонь. Це має особливе значення для формування поверхонь, які в подальшому не підлягають механічній обробці.

Деталь є конструктивно складною, що зумовлено наявністю в її внутрішній порожнині іншої деталі, яка встановлюється безпосередньо в процесі лиття заготовки. Кришка нижня має складну просторову форму та практично не містить осей симетрії, за винятком окремих оброблюваних поверхонь, що ускладнює її базування та орієнтацію в затискних пристроях. Крім того, у деталі передбачено свердління отвору діаметром $\varnothing 1,8 \pm 0,4$, розташованого під кутом 15° , який є важкодоступним для механічної обробки та контролю. Зазначена особливість знижує технологічність конструкції, однак її наявність обумовлена функціональним призначенням деталі.

З урахуванням значної кількості отворів, розташованих в одній площині, доцільним є застосування верстатів з числовим програмним керуванням, що дозволяє зменшити кількість переустановлень деталі під час виконання операцій і, відповідно, підвищити точність обробки. Загалом кришка нижня є технологічною деталлю, а її механічна обробка може виконуватися стандартними ріжучими інструментами. Винятком є змашувальна канавка, для обробки якої застосовується спеціальна фреза, що також є проявом обмеженої технологічності конструкції. Разом з тим забезпечення заданих параметрів точності, шорсткості та технічних вимог є технологічно досяжним і не пов'язане зі значними труднощами.

Аналіз технічних вимог свідчить, що виливок відповідає 2-й групі за ДСТУ 3015-95, а точність відливки визначається як 7т-0-0-7 за ГОСТ 26645-85. Загальна пористість не повинна перевищувати еталон №2, а зональна — еталон №3 шкали пористості відповідно до ДСТУ 3015-95. Невказані ливарні нахили становлять 2° , ливарні радіуси — 2...4 мм. На необроблюваних поверхнях допускається наявність

раковин діаметром до 2 мм і глибиною до 1 мм у кількості не більше п'яти на одну поверхню. У місцях стику стрижнів допускаються заливи товщиною не більше 1 мм. Зміщення кріпильних отворів відносно зовнішнього контуру не повинно перевищувати 1,5 мм. Твердість матеріалу — не менше 85 НВ. Допускається зміщення деталі поз. 20 (рис. 2.2) на 0,5 мм у вертикальному та горизонтальному напрямках.

Установлені технічні вимоги є обґрунтованими, доцільними та коректними і повною мірою враховують службове призначення кришки нижньої.

На підставі аналізу робочого креслення деталі можна зробити висновок, що простановка розмірів виконана комбінованим методом, допуски відповідають чинним стандартам, а вимоги до виготовлення деталі задані правильно, однозначно та в повному обсязі.

Точність деталі визначається ступенем відповідності реальних геометричних параметрів номінальним значенням, указаним на кресленні. Аналіз точності проводиться з метою оцінки технологічної можливості забезпечення всіх вимог робочого креслення та технічних умов виготовлення. При цьому розглядаються допуски на розміри, форму та взаємне розташування поверхонь, а також параметри шорсткості. Для цього виконано ескізи деталі з нумерацією оброблюваних поверхонь, результати аналізу наведено в таблиці 3.1, а позначення поверхонь — на рис. 3.4.

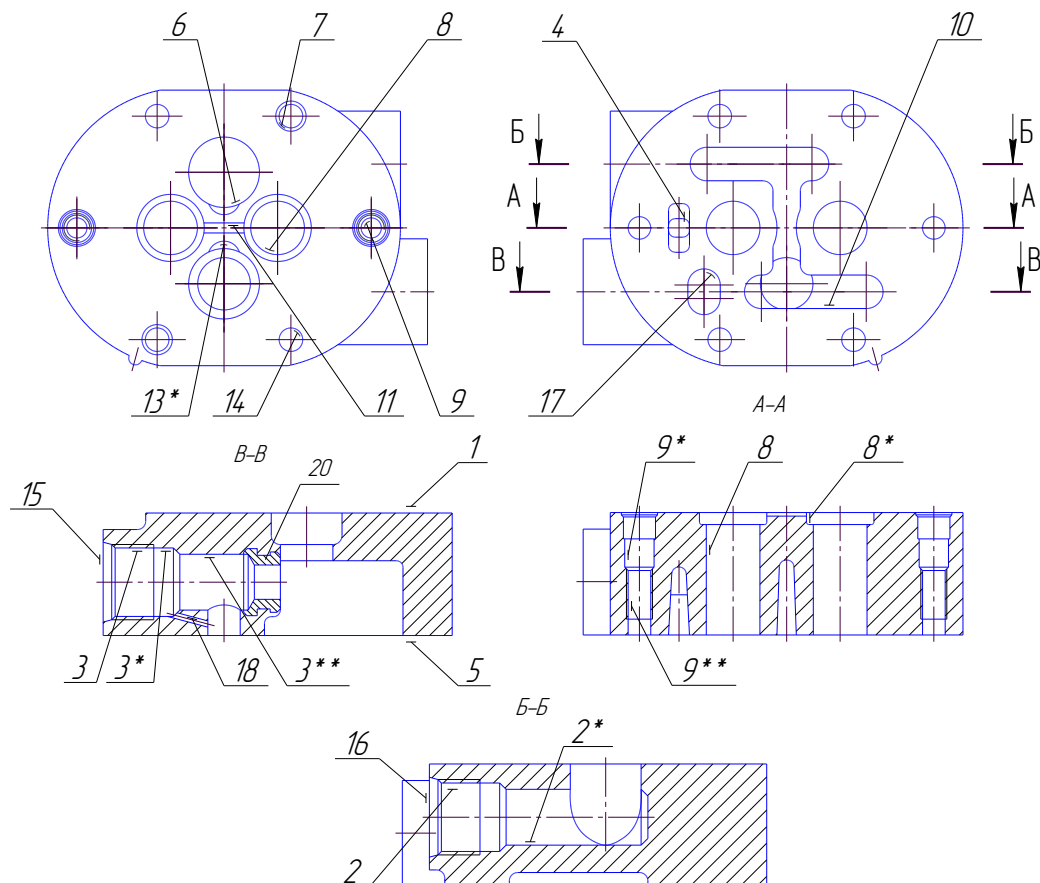


Рис. 3.4 Кришка нижня

Таблиця 2.1

Показники точності деталі «Кришка нижня»

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхні	Точність форми	Шорсткість поверхні R_a , мкм	Вагомість поверхні як конструкторської базис
1,5	Площина	$36,53 \pm 0,11$	-			$R_{max} 1$	
2	Різьбовий отвір	7/8-14UNF-2B	-	-	-	12,5	
2*	Отвір	$\varnothing 16,66$	-	-	-	12,5	
3	Різьбовий отвір	7/8-14UNF-2B	-	-	-	12,5	
3*	Отвір	$\varnothing 31,6 \pm 1,0$	-	-	-	12,5	
3**	Отвір	$\varnothing 16,64^{+0,05}$	-	-	-	2,5	
4	Канавка	14,5	-	-	-	12,5	
6	Отвір глухий	$\varnothing 21 \pm 0,3$	-		-	12,5	
7	Отвір	$\varnothing 7^{+0,58}$	H15		-	25	
8	Отвір	$\varnothing 15,926^{+0,012}$	6	 	-	2,5	
8*	Отвір глухий	$\varnothing 20$	14	-	-	12,5	
9	Отвір	$\varnothing 9,525^{+0,012}$	6	-	-	2,5	
9*	Отвір	$\varnothing 8,7^{+0,2}$	12	 	-	25	
9**	Різьбовий отвір	1/4-28UNF-2B	-	-	-	12,5	
10	Паз	$8,1 \pm 0,4$	14	-	-	12,5	
11	Отвір сталевий втулки	$\varnothing 10,24^{+0,14}$	11	-	-	12,5	
12	Лунка	$0,51 \pm 0,11$	12		-	3,2	
13	Отвір	$\varnothing 15,6^{+0,65}$	14		-	25	
13*	Виїмка	$R 4,8^{+0,2}$	14	-	-	12,5	
14	Отвір	$\varnothing 7^{+0,58}$	H15	-	-	25	
15	Торець	$112,7 \pm 1,75$	Js1		-	12,5	
16	Торець	$96 \pm 0,4$	7	-	-	12,5	
17	Канавка	$R 4,8^{+0,2}$	14	-	-	25	
18	Отвір нахилений	$\varnothing 1,8^{+0,4}$	12	-	-	12,5	
			15	-	-		

Аналіз параметрів точності поверхонь деталі кришка нижня свідчить, що до найбільш відповідальних і високоточних належать отвори 8 діаметром $15,926^{+0,012}$, у яких встановлюються вал і вісь, а також площини роз'єму 1 і 5, для яких задано допуск площинності 0,0024 мм та шорсткість поверхні $R_{\max}$ 1. Крім того, до базових поверхонь відносяться отвори 9 діаметром $9,525^{+0,012}$ із шорсткістю R_a 2,5 та встановленими допусками взаємного розташування, у яких під час складання виробу розміщуються втулки 5 (рис. 3.3). Решта оброблюваних поверхонь деталі мають порівняно невисокі вимоги до точності та шорсткості, що не створює суттєвих труднощів під час їх технологічного забезпечення.

Аналіз робочого креслення деталі кришка нижня показує, що воно містить повний комплекс необхідних розмірів, допусків точності та вимог до шорсткості поверхонь. Разом з тим встановлено, що не в усіх випадках розміри та вимоги до точності поверхонь задані відповідно до нормалізованих рядів.

Дослідження чинного на базовому підприємстві технологічного процесу механічної обробки деталі підтверджує можливість виготовлення кришки нижньої з дотриманням заданих параметрів точності. Водночас у більшості операцій використовуються застарілі моделі технологічного обладнання, зокрема металообробні автомати, напівавтомати та агрегатні верстати.

Одним із основних недоліків базового технологічного процесу є його орієнтація на умови великосерійного виробництва, тоді як фактичний обсяг річної виробничої програми випуску насосів відповідає середньосерійному типу виробництва. Застосовувані верстати та структура технологічного процесу не забезпечують необхідного рівня гнучкості, що є особливо важливим в умовах сучасного ринку. Використання сучасних обробних центрів і верстатів з числовим програмним керуванням дає змогу істотно скоротити кількість технологічного обладнання та виробничих площ, зменшити споживання електроенергії й чисельність обслуговуючого персоналу, що в підсумку сприяє зниженню собівартості виготовлення деталі.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі кришка нижня наведено в таблиці 3.2.

Характеристика базового технологічного процесу обробки деталі

Номер і назва операції	Назва і модель верстату	Штучний час $t_{шт.}$, хв.
010 Карусельно-фрезерна	Карусельно-фрезерний ЛГ22	2,69
015 Торцешліфувальна	Торцешліфувальний н/авт. 3344АД	0,75
020 Торцешліфувальна	Торцешліфувальний н/авт. 3344АД	0,75
025 Агрегатно-свердлильна	Агрегатно-свердлильний АМ13136	2,66
030 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н135	2,6
035 Горизонтально-фрезерна	Горизонтально-фрезерний 6Р81Г	0,59
040 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125	0,49
045 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125	0,38
050 Свердлильна	Настільно-свердлильний 2М112	1,27
055 Торцешліфувальна	Торцешліфувальний н/авт. 3344АД	0,66
075 Доводочна	Вертикально-доводочний н/авт. АВ2L	0,97
090 Токарна	Токарний з ЧПУ “Петра 160”	1,63
095 Стругальна	Прист. стругальне(спец.)	0,41
100 Свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н125	0,65
125 Доводочна	Вертикально-доводочний н/авт. FL12	0,68

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі кришка нижня включає 15 механічних операцій. Відповідно до прийнятого технологічного процесу заготовка деталі отримується методом лиття в кокіль, що забезпечує мінімальні припуски на механічну обробку, підвищену точність геометричних параметрів та покращену якість поверхонь. Крім того, застосування цього способу лиття сприяє отриманню високої щільності металу, що є суттєвим фактором для деталі, яка працює в умовах підвищеного тиску.

Згідно з базовим технологічним процесом механічна обробка деталі виконується на спеціалізованих верстатах, зокрема торцешліфувальних (операції 015, 020, 055 — верстат 3344АД), агрегатному свердлильному верстаті (операція 025 — АМ13136), а також на універсальних верстатах. До останніх належать вертикально-свердлильні верстати 2Н135, 2Н125, 2М112 (операції 030, 040, 045, 050, 100), горизонтально-фрезерний верстат 6Р81Г (операція 035) та карусельно-фрезерний верстат ЛГ22 (операція 010). Для виконання доводочних операцій 075, 125, а також токарної операції 080 використовуються верстати імпортного виробництва.

Таким чином, базовий технологічний процес орієнтований на умови багатосерійного виробництва. У процесі застосовуються швидкодіючі затискні

пристрої, універсальний і спеціальний різальний інструмент з твердосплавними пластинами, що дозволяє використовувати підвищені режими різання з метою зростання продуктивності. Крім того, широко використовується спеціальний та комбінований різальний інструмент.

Разом із тим аналіз базового технологічного процесу показує, що з урахуванням середньосерійного типу виробництва доцільним є впровадження у технологічний процес багатофункціонального верстата з числовим програмним керуванням — оброблювального центру. Це дасть змогу підвищити точність обробки, зменшити кількість технологічного обладнання в цеху та знизити собівартість виготовлення деталі.

Виходячи зі службового призначення деталі, яка працює в умовах значного тиску та впливу агресивних середовищ, до матеріалу висуваються підвищені вимоги щодо міцності та корозійної стійкості. У зв'язку з цим для виготовлення деталі кришка нижня запропоновано використовувати ливарний алюмінієвий сплав (силумін) АК5М7. Застосування алюміній-кремнієвого сплаву АК5М7 обумовлено його високою корозійною стійкістю, доброю рідиннотекучістю та незначною усадкою, що забезпечує стабільність розмірів заготовки і, відповідно, високу точність деталі. Крім того, даний матеріал характеризується низькою схильністю до утворення гарячих тріщин і пухкості, що є важливим при роботі в умовах підвищеного тиску, а також задовільною оброблюваністю різанням.

Хімічний склад і фізико-хімічні властивості матеріалу наведено в таблиці 3.3.1.

Таблиця 3.3.1

Хімічний склад використовуваного матеріалу

Марка матеріалу	Вміст елементів, %							
	C	Mn	Si	S, P	Mg	Cu	Cr	Ti
AK5M7	-	0,1-0,5	4,5-6,0	-	0,1-0,5	2-3,5	-	0,15

Таблиця 3.3.2

Показники механічних властивостей матеріалу

Марка матеріалу	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	HB
	МПа		%		
AK5M7	160	-	-	-	100...125

Для алюмінієвого сплаву АК5М7 проведення термічної обробки не передбачається, що зумовлено його хімічним складом та експлуатаційними властивостями.

Під час вибору способу отримання заготовки враховуються конструктивні особливості деталі, властивості матеріалу, а також тип виробництва. З урахуванням зазначених факторів для виготовлення заготовки деталі кришка нижня доцільно застосувати метод лиття в кокіль. Даний спосіб є ефективним як для масового, так і для серійного виробництва. Крім того, висока теплопровідність металевої форми зумовлює інтенсивний відвід теплоти та підвищену швидкість кристалізації розплаву, що сприяє формуванню дрібнозернистої структури виливки та, відповідно, покращенню її механічних властивостей.

Формування маршрутів механічної обробки здійснюється з урахуванням закону копіювання похибок, а також на основі типових маршрутів обробки поверхонь і даних таблиць економічної точності різних методів обробки.

Розрахунок параметрів технологічного процесу виконується для внутрішньої циліндричної поверхні 8 деталі кришка нижня $\varnothing 15,926^{+0,012}$.

Допуск на деталь становить $\delta_d = 0,012$ мм, шорсткість 1,25 мкм, а допуск на заготовку $\delta_z = 1$ мм.

Здійснюємо визначення загального уточнення:

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

де:

δ_z – допустиме відхилення розмірів заготовки;

δ_d – допустиме відхилення розміру деталі.

$$\varepsilon_z = \frac{1,0}{0,012} = 83,3$$

Для обробки поверхні прийнято два можливі маршрути механічної обробки. Перший маршрут передбачає послідовне виконання операцій розсвердлювання, зенкерування та тонкого розточування. Другий маршрут включає операції зенкерування та тонкого розточування.

Для кожного проміжного методу обробки на підставі таблиць економічної точності визначаються відповідні допуски на обробку, після чого виконують розрахунок частинних коефіцієнтів уточнення за такою формулою:

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

де: δ_{i-1} , δ_i – допуск на розмір визначається відповідно до попереднього та поточного методів механічної обробки. Фактичні уточнення обчислюються за такою формулою:

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdots \varepsilon_n$$

Із можливих варіантів маршрутів механічної обробки перевагу доцільно надавати тим, які за умови виконання відповідної нерівності $\varepsilon_z \leq \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$ мають значення, найближчі до рівності:

$$\varepsilon_z = \varepsilon_\phi$$

Економічні допуски для проміжних методів механічної обробки та відповідні частинні коефіцієнти уточнення мають такі значення.

Перший варіант маршруту обробки:

1. Розсвердлювання — допуск 0,18; частинний коефіцієнт уточнення 5,56.
2. Зенкерування — допуск 0,070; частинний коефіцієнт уточнення 2,57.
3. Тонке розточування — допуск 0,011; частинний коефіцієнт уточнення 6,36.

Другий варіант маршруту обробки:

1. Зенкерування — допуск 0,027; частинний коефіцієнт уточнення 37,04.
2. Тонке розточування — допуск 0,011; частинний коефіцієнт уточнення 2,45.

Фактичні значення уточнення для розглянутих варіантів маршрутів обробки становлять: для першого варіанту - $\varepsilon_{\phi 1} = 90,88$, для другого - $\varepsilon_{\phi 2} = 90,78$.

Для обох варіантів виконується умова $\varepsilon_\phi \geq \varepsilon_z$, однак для другого варіанта значення $\varepsilon_{\phi 2}$ є найближчим до заданого уточнення ε_z . З огляду на це остаточно приймається другий варіант маршруту механічної обробки.

Для решти поверхонь деталі маршрути механічної обробки визначаються за аналогічною методикою. Узагальнені результати вибору маршрутів обробки наведено в таблиці 3.4.

Перелік технологічних маршрутів обробки поверхонь

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням, мм	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск на заготовку поверхні, мм	Потрібне уточнення	Пропонуємі технологічний маршрут обробки	Економічні допуски на методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	Загальний коефіцієнт уточнення
1,5	0,220	R _{max} 1	1,1	5	1.Фрезер. попер. 2.Фрезерув.остат. 3.Шліфування	0,62 0,35 0,1	1,77 1,77 3,5	10,9
2	0,200	12,5	1	5,03	1.Зенкерування 2.Зенкерування 3.Різенарізна	0,3 0,2 0,2	3,33 1,5 1	5
2*	0,480	12,5	1	2,1	1. Зенкерування	0,48	2,1	2,1
3	0,200	12,5	1	5	1.Зенкерування 2.Зенкерування 3.Різенарізна	0,3 0,2 0,2	3,33 1,5 1	5
3*	1	12,5	1	1	1. Зенкерування	1	1	1
3*	0,050	2,5	1	20	1.Зенкерування 2.Зенкерування 3.Розвертання	0,21 0,11 0,05	4,76 1,91 2,2	20
6	0,600	12,5	0,6	1,67	Не обробляється			
7	0,580	0,5	0	0	1.Свердління	0,58	1	1
8	0,012	1,25	1	83,3	1.Зенкерув. поп. 2.Зенкерув. <u>кінц.</u> 3.Розточування	0,110 0,027 0,011	9,1 4,1 2,5	93,3
8*	0,300	12,5	1	3,33	1.Зенкерування	0,3	10 3,33	3,33
11	0,140	12,5	1	7,14	1.Зенкерування 2.Зенкерування	0,13 0,11	7,69 1,18	10,5
13	0,650	25	1	1,54	1.Зенкерування	0,65	1,54	

Інші поверхні деталі формуються безпосередньо в суцільному матеріалі заготовки.

Оскільки поверхні 1 і 5 кришки нижньої мають підвищені вимоги до площинності та параметрів шорсткості, для забезпечення цих показників у розроблюваному технологічному процесі передбачається виконання доводочних операцій на зазначених поверхнях.

Маршрут механічної обробки деталі формується з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних

можливостей застосовуваного металорізального обладнання, технічних вимог і розмірних зв'язків, визначених робочим кресленням деталі. Структура маршруту подається у вигляді послідовності технологічних операцій із зазначенням основного змісту технологічних переходів та типів використовуваних верстатів.

Розроблений маршрут механічної обробки деталі кришка нижня наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Розроблення маршруту механічної обробки деталі

№ оп.	Найменування операції	Зміст операції	Технологічне обладнання
005	Транспортна	Транспортувати заготовки	Електро-навантажувач ЕВ-678
010	Карусельно-фрезерна	Фрезерувати торці	Карусельно-фрезерний ЛГ22
015	Торцешліфувальна	Шліфувати дві площини	Торцешліфувальний напівавтомат 3344АД
020	Торцешліфувальна	Шліфувати дві площини	Торцешліфувальний напівавтомат 3344АД
025	Комплексна на ОЦ	Обробити отвори зі сторони двох площин і зі сторони горловини, зенкерувати канавки, фрезерувати паз	Оброблювальний центр з ЧПУ 2204ВМ1Ф4
030	Свердлильна	Свердлити нахилений отвір	Настільно-свердлильний 2М112
035	Торцешліфувальна	Шліфувати дві площини	Торцешліфувальний напівавтомат 3344АД

040	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Верстак слюсарний ГМ2781
045	Промивочна	Промити деталі	Машина для миття ГМ752
046	Контрольна	Перевірити розміри	Стіл контролера ГМ3112
050	Доводочна	Довести площини	Вертикально- доводочний AL2L
055	Промивочна	Промити деталі	Машина для миття ГМ752
060	Промивочна	Промити, очистити, просушити деталі	Машина для миття KLN
065	Токарна з ЧПУ	Розточити чотири отвори	Токарний з ЧПУ Петра 160
070	Стругальна	Стругати канавку	Стіл слюсарний ГМ2781
075	Вертикально- свердлильна	Розвернути два отвори	Вертикально- свердлильний 2Н135
080	Слюсарна	Притупити гострі кромки	Верстак слюсарний ГМ2781
085	Промивочна	Промити деталі	Машина для миття ГМ752
090	Випробуваль- на	Випробувати деталь на герметичність	Установка випробувальна 012-28
092	Контрольна	Перевірити розміри	Стіл контролера ГМ3112
100	Доводочна	Довести площини з переустановкою	Вертикально- доводочний FL12
105	Промивочна	Промити деталі	Машина для миття ГМ752
110	Промивочна	Промити, очистити, просушити деталі	Машина для миття KLN
115	Контрольна	Перевірити якість промивки, розміри, допуск, шорсткість	Стіл контролера ГМ3112
120	Транспортна	Транспортувати деталі	Електро- навантажувач ЕВ- 678

Забезпечення технічних вимог, що висуваються до деталі, досягається шляхом вибору раціональної схеми її базування під час механічної обробки. Схема

базування заготовок на металорізальних верстатах повинна гарантувати достатню жорсткість закріплення деталі, а також необхідну точність її орієнтації в пристрої.

Вибір технологічних баз розпочинають із чорнової бази, яка використовується на першій операції технологічного процесу. Її основне призначення полягає у забезпеченні формування чистових технологічних баз для наступних операцій. При виборі чорнової технологічної бази необхідно забезпечити максимально рівномірне зняття припуску з найбільш відповідальних і точних поверхонь деталі.

Під час вибору технологічних баз доцільно керуватися принципами суміщення та сталості баз. У разі вимушеної зміни баз рекомендовано здійснювати перехід від менш точної базової поверхні до більш точної, що сприяє підвищенню загальної точності обробки.

Для деталі кришка нижня діаметральні та габаритні розміри, а також розташування отворів задані відносно осі деталі, у зв'язку з чим доцільно прийняти цю вісь як основну технологічну базу. Крім того, з боку торцевої поверхні деталі передбачені два патрубкі 15 і 16 (рис. 3.4), відносно яких нормується положення їх центральних отворів. З метою реалізації принципу суміщення конструкторських і технологічних баз на початкових операціях необхідно виконати підготовку технологічних баз шляхом обробки торцевих поверхонь 1 і 5. Це дозволяє в подальшому дотримуватися принципу сталості баз у процесі механічної обробки.

Для лінійних розмірів отворів деталі конструкторською базою переважно є торці патрубків 15 і 16. Проте базування деталі по зазначених торцевих поверхнях є недоцільним, оскільки ускладнює підведення різального інструмента. У даному випадку має місце порушення принципу суміщення баз. За таких умов чорною базою приймається зовнішня вилита поверхня деталі та один із торців 1 або 5, при цьому зовнішня поверхня залишається необроблюваною.

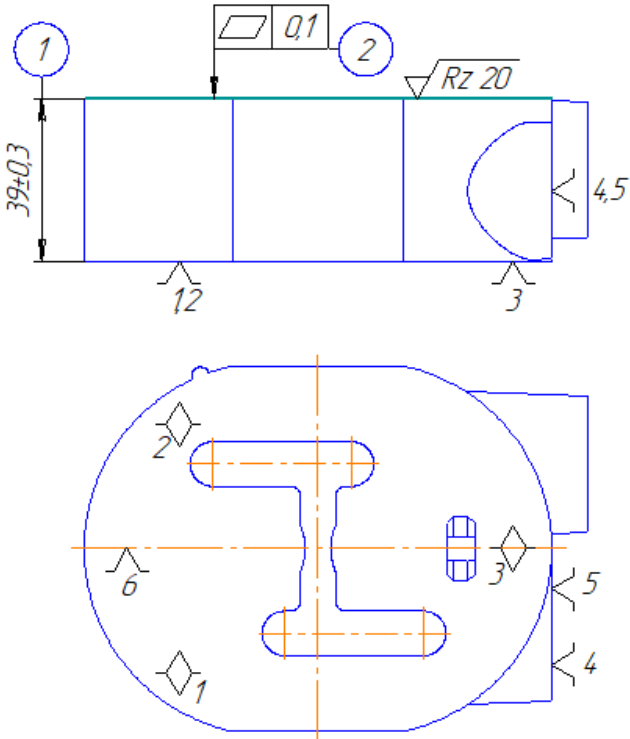
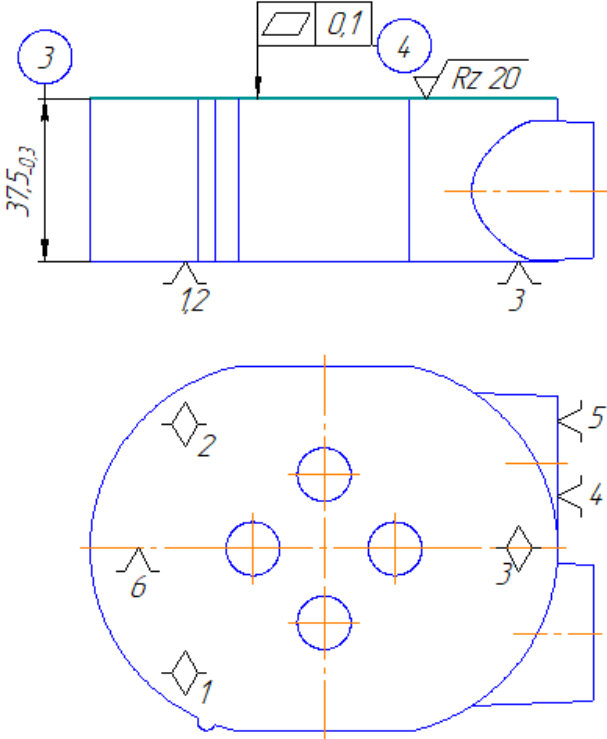
Схеми базування заготовки за окремими операціями механічної обробки наведено в таблиці 3.6.

На основі розробленого технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки окремих поверхонь, а також аналізу простановки розмірів з урахуванням технічних вимог до відповідальних поверхонь формується структура та зміст кожної технологічної операції із зазначенням її номера та найменування.

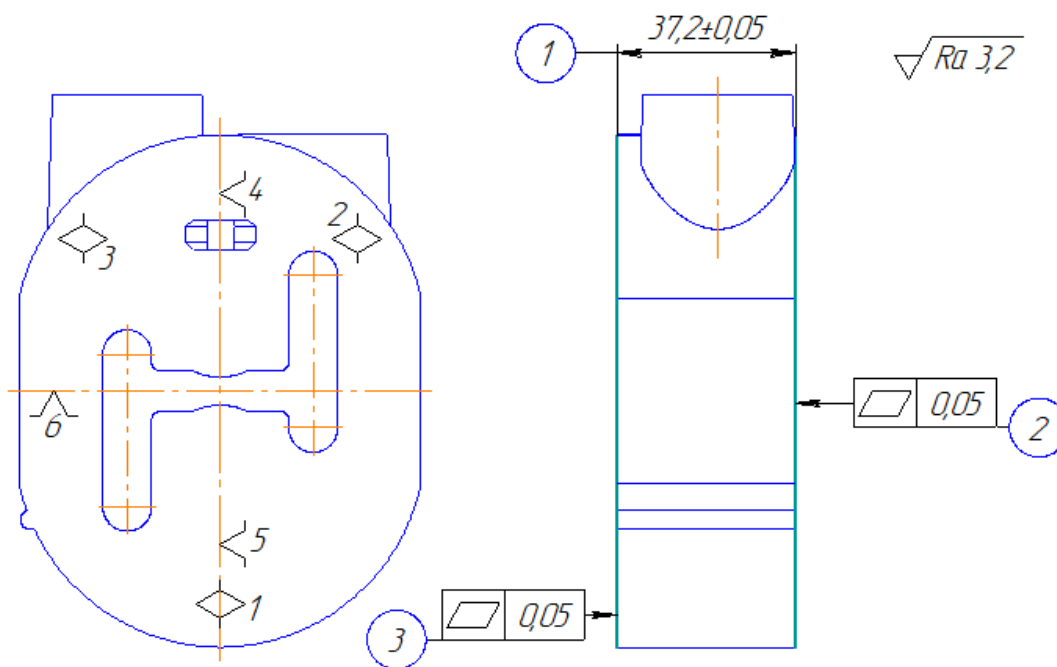
З огляду на середньосерійний тип виробництва деталі, при розробленні технологічного процесу передбачається використання універсального та спеціального обладнання, а також верстатів з числовим програмним керуванням, що забезпечує можливість оперативного переналагодження виробництва під обробку інших партій деталей.

Структура і зміст технологічних операцій наведені в таблиці 3.6.

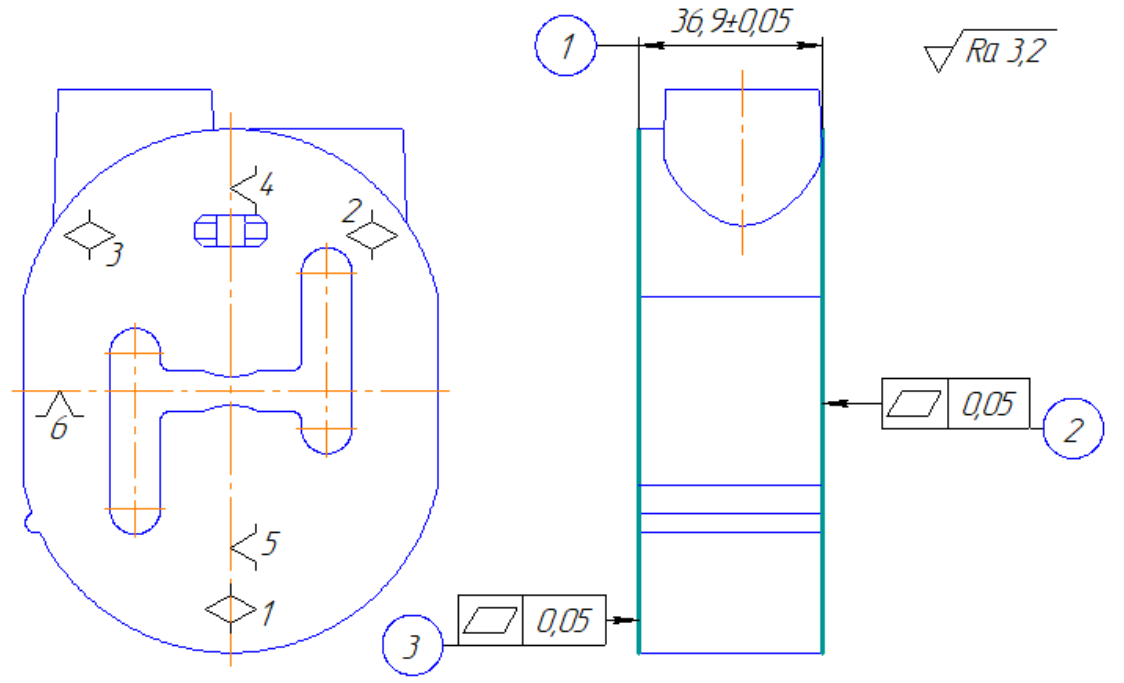
Таблиця 3.6 Послідовність і зміст технологічних операцій обробки деталі

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
010 Карусельно-фрезерна	ЛП 22 Карусельно-фрезерний	<i>Установ А, перехід 02</i>  <i>Установ Б, перехід 04</i> 	1. Перевстановити деталь з установка А на установку Б. 2. Встановити заготовку на установку А, закріпити. 3. Фрезерувати площини торців, витримуючи розміри 1, 3 та допуски 2, 4. 4. Відкріпити та зняти деталь з установка Б.

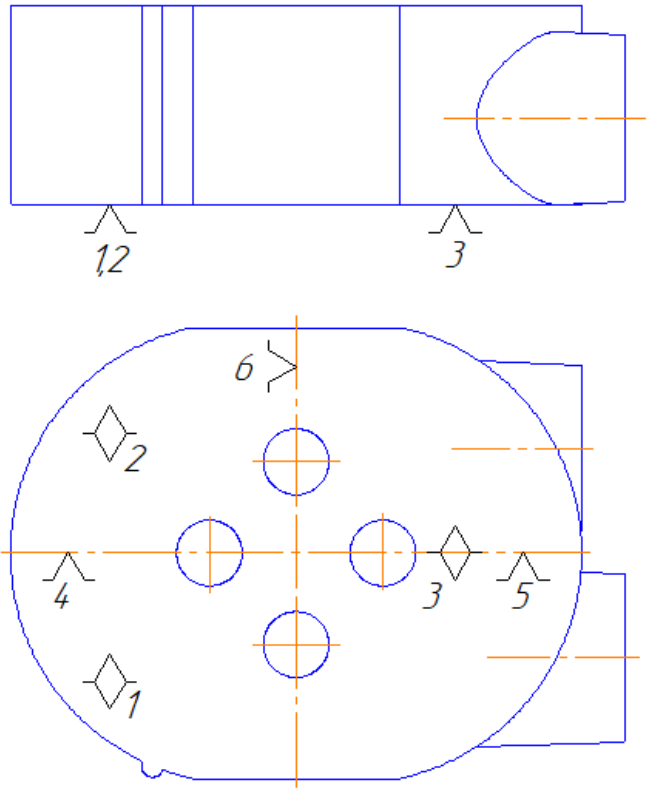
Продовження таблиці 3.6

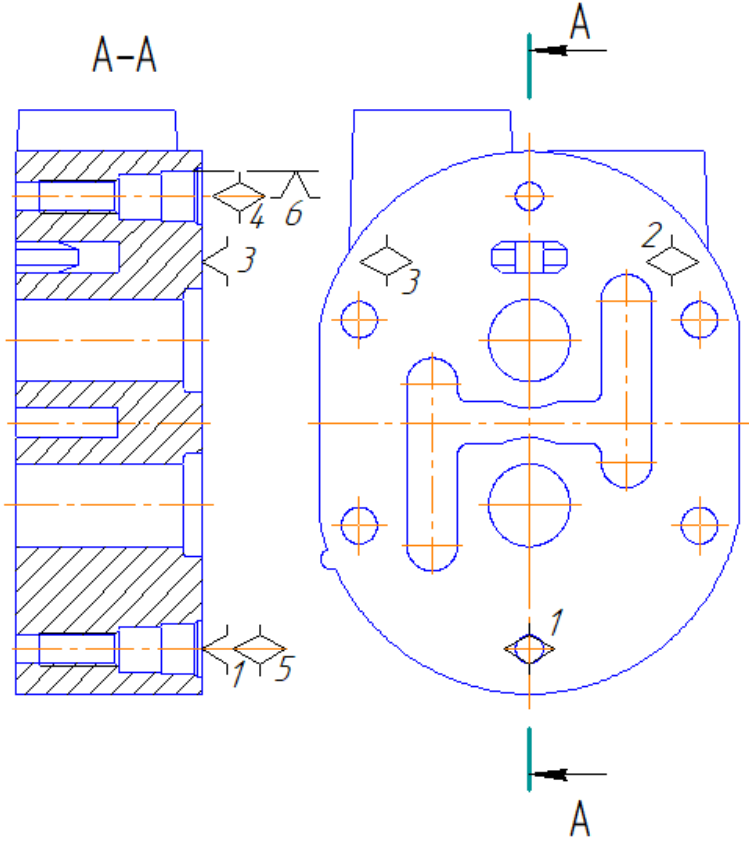
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
015 Торцешліфувальна	3344АД Торцешліфувальний напівавтомат		1. Встановити деталі в сепаратор. 2. Шліфувати дві площини витримуючи розмір 1 та допуски 2, 3. 3. Зняти деталі з сепаратора.

Продовження таблиці 3.6

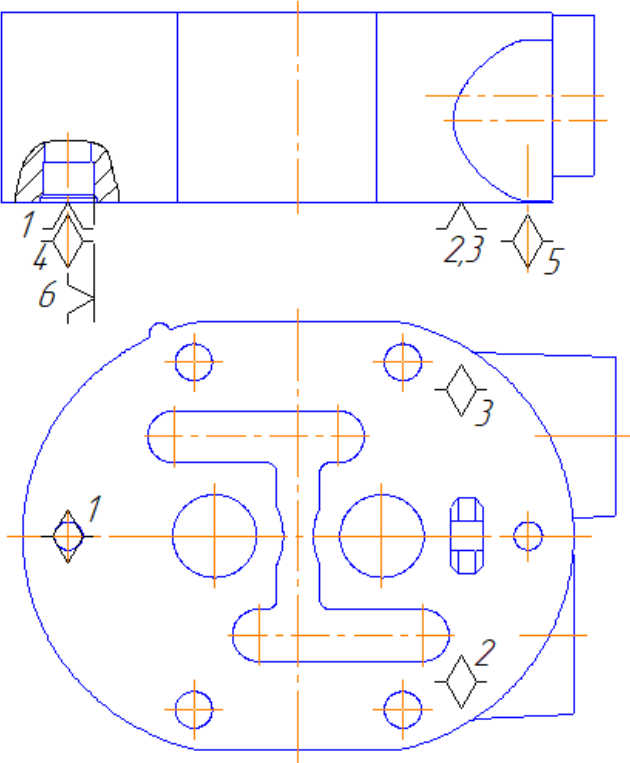
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
020 Торцешліфувальна	3344АД Торцешліфувальний напівавтомат	 Technical drawing of a grinding wheel. The top view shows a circular wheel with a central slot and various chamfers labeled 1 through 6. The side view shows the wheel's profile with a width dimension of $36,9 \pm 0,05$ and surface texture symbols. Callouts 1, 2, and 3 point to specific features on the side view.	1. Встановити деталі в сепаратор. 2. Шліфувати дві площини витримуючи розмір 1 та допуски 2, 3. 3. Зняти деталі з сепаратора.

Продовження таблиці 3.6

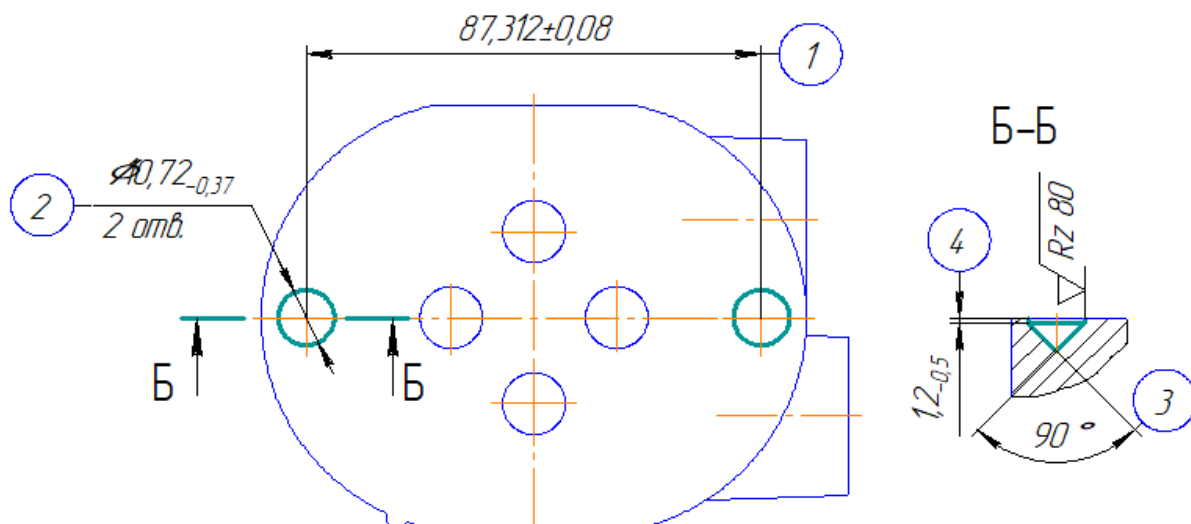
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
025 Комплексна на ОЦ	2204ВМ1Ф4 Оброблювальний центр з ЧПУ (фрезерно-свердильно-розточувальний)	Установ А 	1. Встановити деталь на установ А.

№ та назва опе- рації	Модель верст- ату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ Б</i> 	2. Перевстановити деталь з установка А на установ Б.

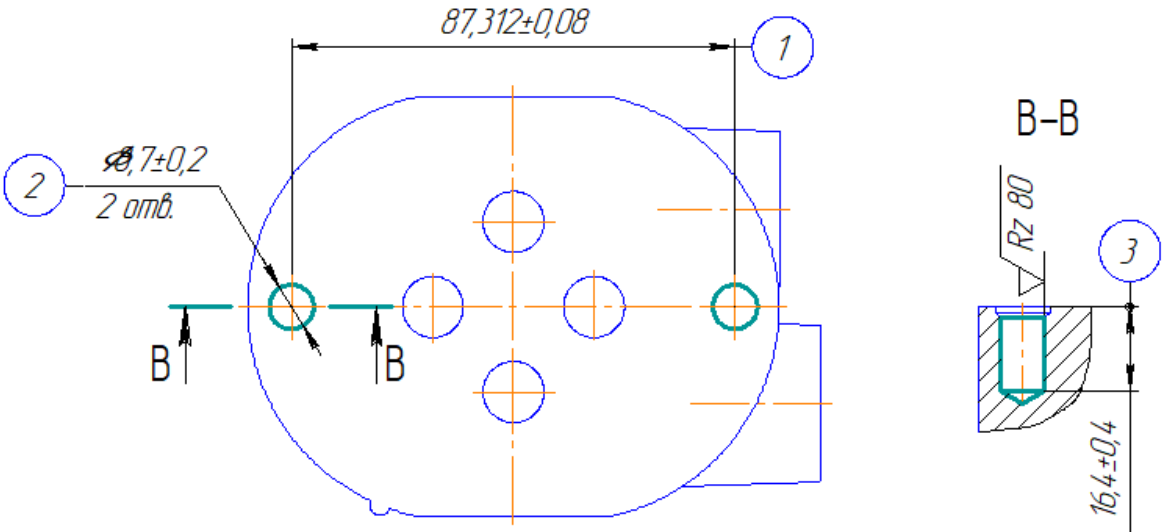
Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ В</i> 	3. Перевстановити деталь з установа Б на установ В.

Продовження таблиці 3.6

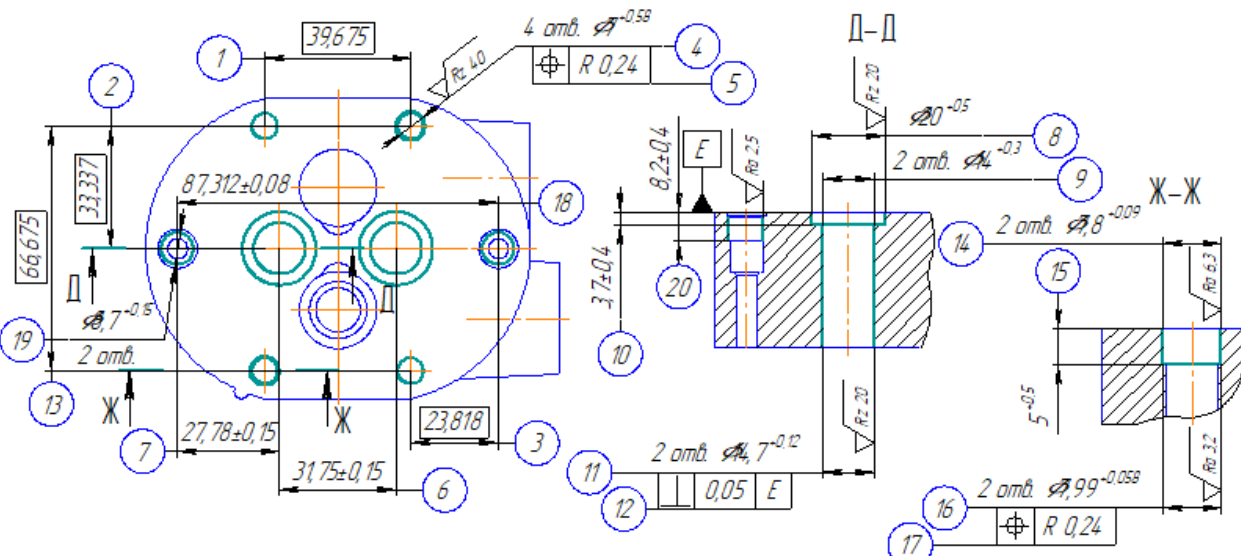
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ А, перехід 04</i> 	4. Засвердлити два отвори витримуючи розміри 1, 2, 3, 4.

Продовження таблиці 3.6

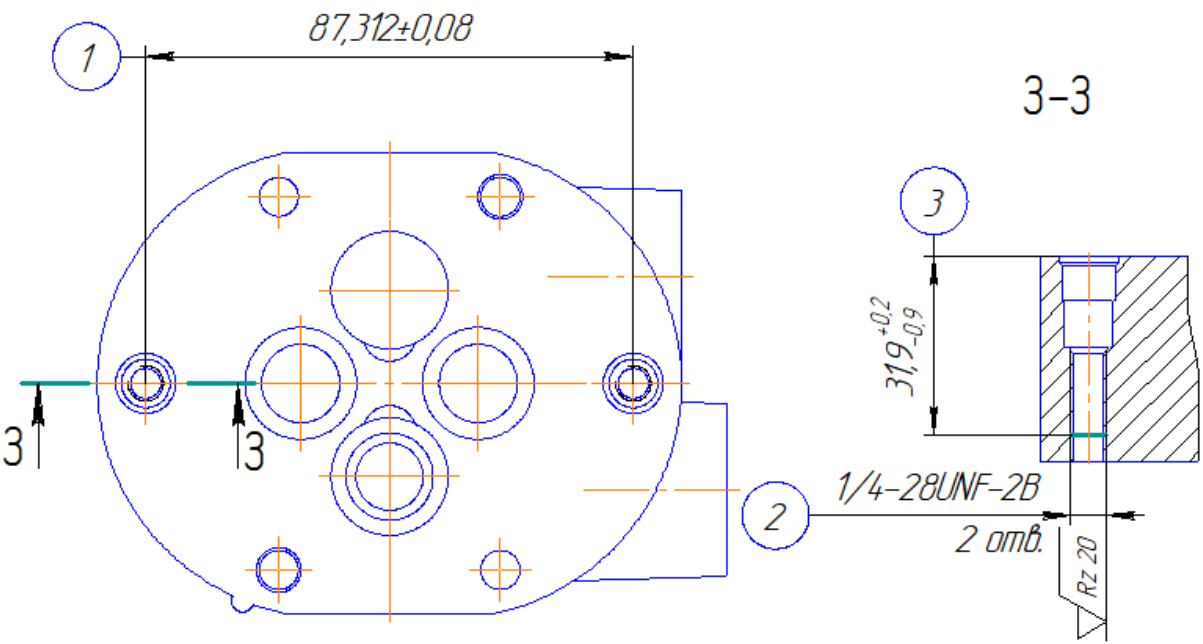
№ та назва опе- рації	Модель верст- ату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ А, перехід 05</i> 	5. Свердлити два отвори витримуючи розміри 1, 2, 3.

Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ А, переходи 06, 07, 08</i>	6. Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 1, 2, 4, 5 та допуск 3. 7. Зенкерувати дві радіусні канавки, витримуючи розміри 6, 7, 8, 9. 8. Свердлити два отвори, витримуючи розміри 10, 11.

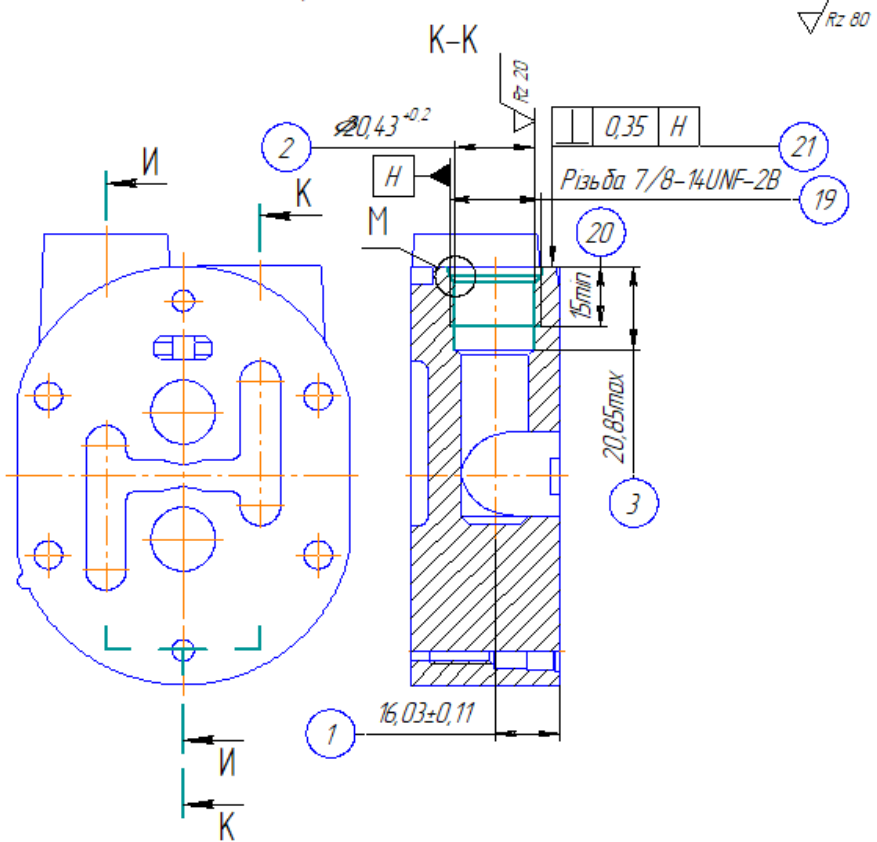
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		Установ А, переходи 09, 10, 11, 12, 13, 14 	9. Свердлити чотири отвори, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4 та допуск 5. 10. Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 6, 7, 8, 9, 10. 11. Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 6, 7, 11 та допуск 12. 12. Розвернути два отвори, витримуючи розміри 18, 19, 20. 13. Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 1, 3, 13, 14, 15. 14. Розвернути два отвори, витримуючи розміри 1, 3, 13, 16, 15 та допуск 17.

Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ А, перехід 15</i> 	15. Нарізати різьбу в двох отворах, витримуючи розміри 1, 2, 3.

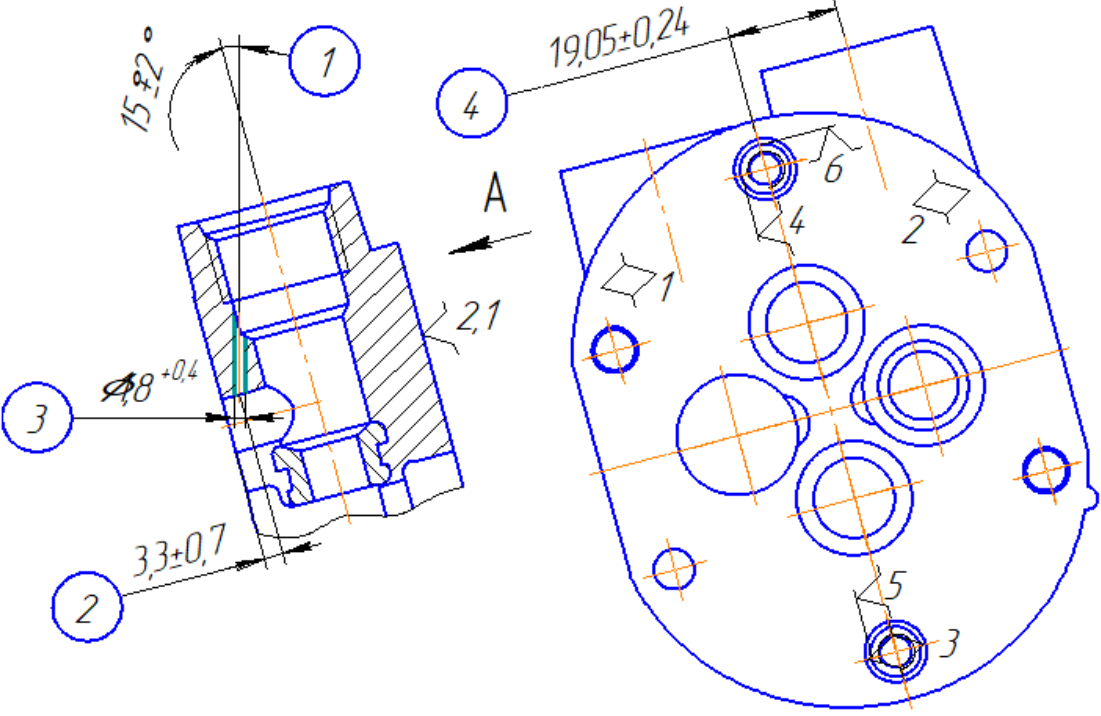
Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		Установ Б, переходи 16, 17, 18, 19, 20	16.Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6. 17.Цекувати два торця, витримуючи розміри 7, 8. 18.Розсвердлити отвір, витримуючи розміри 9, 10. 19.Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 4, 11, 12. 20.Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 1, 13.

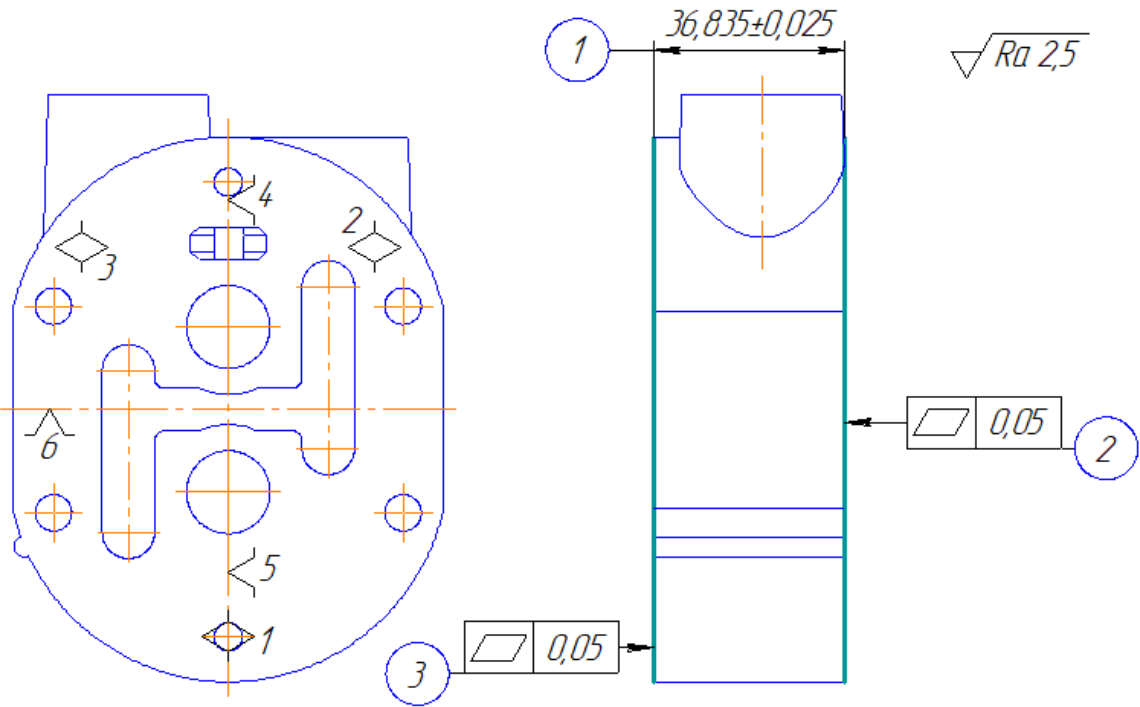
№ та назва опе- рації	Модель верст- ату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		<i>Установ Б, переходи 21, 22, 23, 24, 25, 26</i> 	21.Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 1, 2, 3. 22.Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 4, 5, 6, 7, 8. 23.Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 1, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14. 24.Нарізати різьбу в двох отворах, витримуючи розміри 1, 4, 16, 17, 19, 20 та допуски 18, 21.

Продовження таблиці 3.6

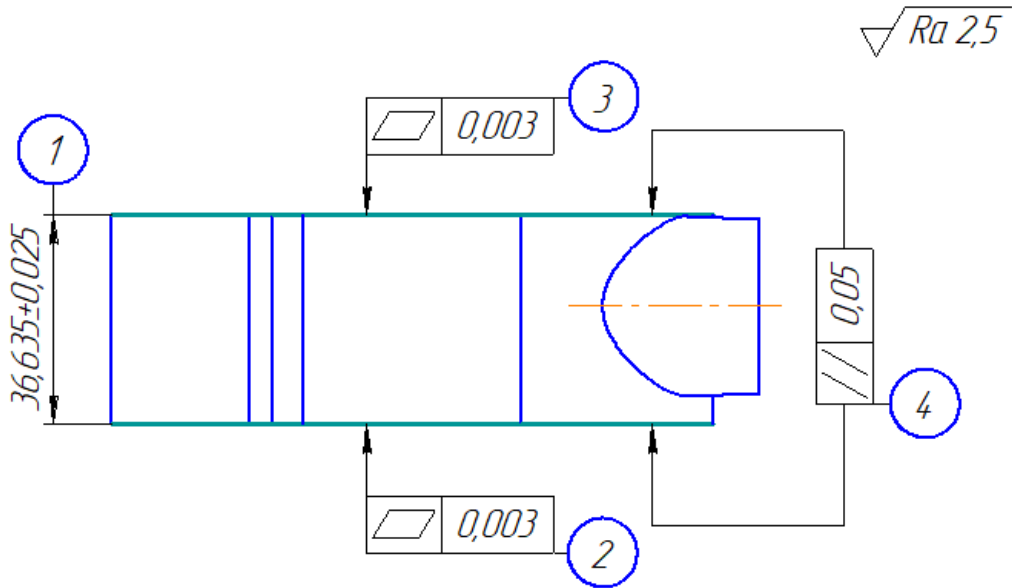
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
		Установ В, перехід 27 The drawing shows a circular mechanical part with several features. Dimensions include a horizontal distance of $24,5 \pm 0,4$ from the center to a feature, a vertical distance of $13,65$ from the top edge to the same feature, and a vertical distance of $19,05 \pm 0,24$ from the bottom edge to a horizontal centerline. A radius of $R4,8^{+0,2}$ is indicated for a fillet. A cross-section C-C is shown to the right, revealing a U-shaped slot. Surface texture symbols $\sqrt{Rz\ 80}$ are present on the top and side surfaces of the part.	27.Фрезерувати паз, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4. 28.Зняти деталь з установка В.

№ та назва опе- рації	Модель верст- ату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
030 Свердильна	2М112 Настільно-свердильний	Вид А $\sqrt{Rz\ 20}$ 	1. Встановити деталь, закріпити. 2. Свердлити отвір, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 3.6

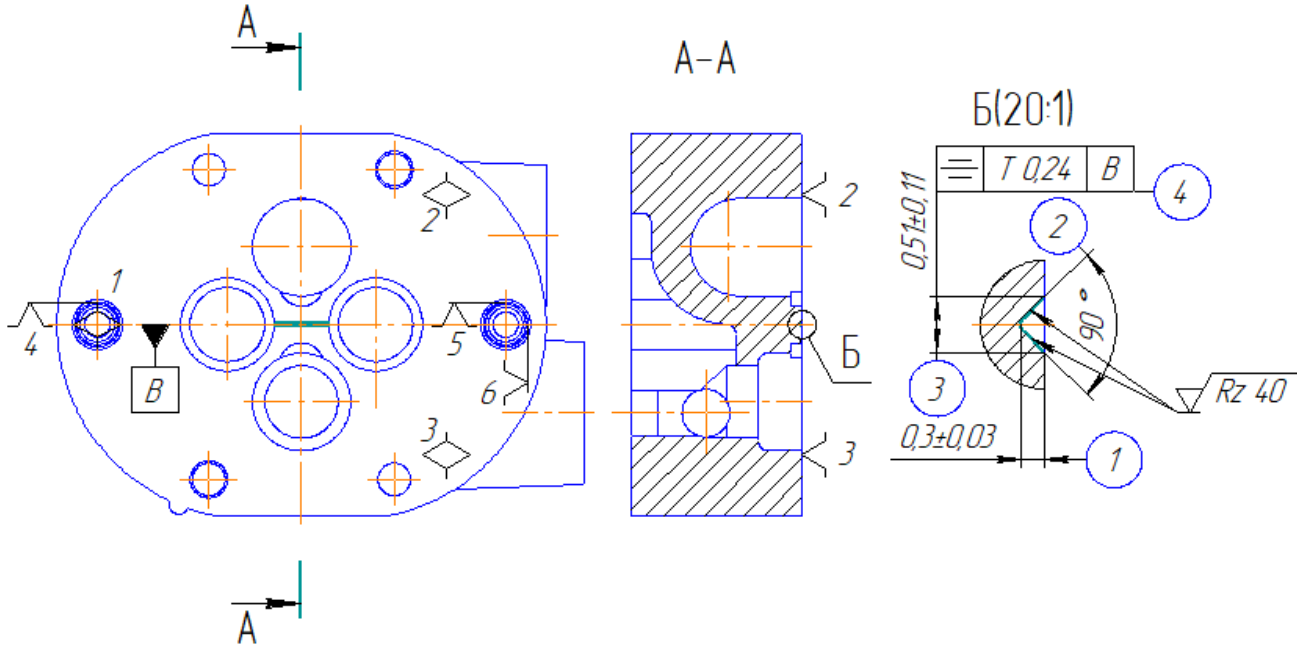
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
035 Торцешліфувальна	3344АД Торцешліфувальний напівавтомат		1. Встановити деталі в сепаратор. 2. Шліфувати дві площини витримуючи розмір 1 та допуски 2, 3. 3. Зняти деталі з сепаратора.

Продовження таблиці 3.6

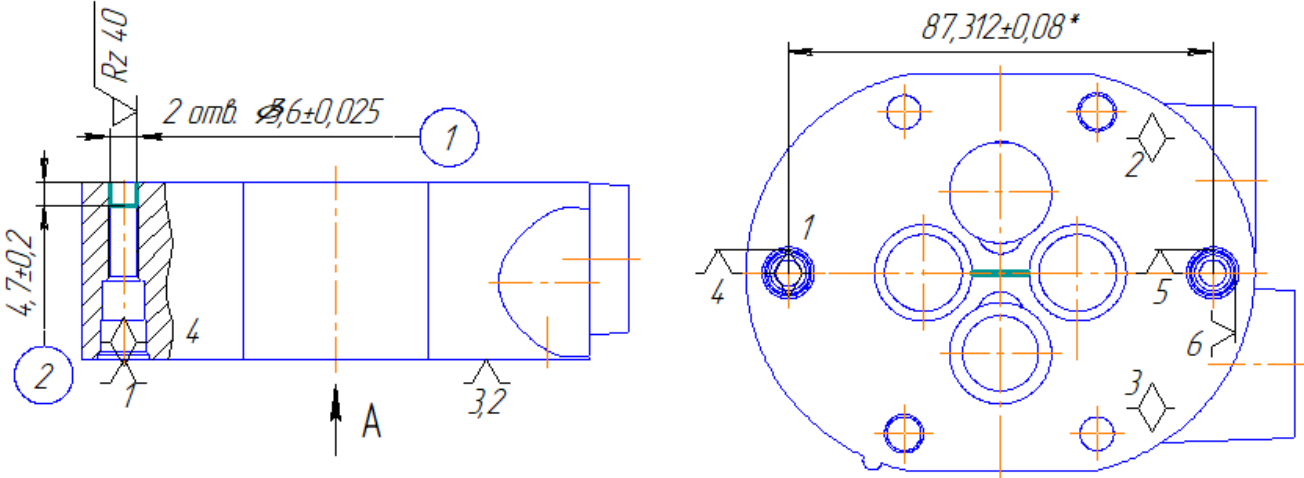
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
050 Доводочна	AL2L Вертикально-доводочний		1. Встановити деталі. 2. Довести поверхні, витримуючи розмір 1 та допуски 2, 3, 4. 3. Зняти деталі.

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
065 Токарна з ЧПУ	Петра 160 Токарний з ЧПУ	Technical drawing showing a cross-section A-A and a front view of a mechanical part. The cross-section A-A shows a cylindrical part with a central hole and a flange. Dimensions include 7.87±0.24 for the flange thickness, 31.75 for the total height, and 27.78 for the distance from the base to the center of the flange. Surface roughness values are Ra 2.5 and Ra 12.5. The front view shows a circular part with four holes and a central hole. Dimensions include 87.312 for the total diameter and 27.78 for the distance from the base to the center of the flange. Circled numbers 1 through 10 indicate specific features and dimensions.	1. Встановити деталь, закріпити. 2. Розточити чотири отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 2, 5, 8, 9, 10 та допуски 3, 4, 6, 7. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
070 Стругальна	ГМ2781 Стіл слюсарний		1. Встановити деталь в пристосування, закріпити. 2. Стругати канавку, витримуючи розміри 1, 2, 3 та допуск 4. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 3.6

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
075 Вертикально-свердильна	2Н125 Вертикально-свердильний		1. Встановити деталь в пристосування, закріпити. 2. Розвернути два отвори, витримуючи розміри 1, 2. 3. Відкрити та зняти деталь.

№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
095 Доводочна	FL12 Вертикально-доводочний	Technical drawing of a part with dimensions and operation markers. The part is a long cylinder with a semi-circular end. Dimensions: 36,53±0,11 and 36,58±0,025. Operation markers: 1 (top left), 2 (top right), 3 (bottom left), 4 (bottom right), 5 (end view). Surface texture symbols: 0,0024 (top and bottom), 0,05 (end view). A note $R_{max} 1,00$ is present.	1. Встановити деталі. 2. Довести поверхню, витримуючи розмір 1 та допуск 2. 3. Перевстановити деталі. 4. Довести поверхню, витримуючи розмір 3 та допуски 4, 5. 3. Зняти деталі.

Тип і модель застосовуваних металорізальних верстатів визначаються відповідно до обраного методу обробки поверхонь, вимог до їх точності та типу виробництва з урахуванням габаритних розмірів заготовки. При цьому враховуються критерії мінімізації часу обробки, максимально повного використання верстатів за часом роботи, а також мінімальної вартості обладнання. Вибір моделей верстатів і їх технічних характеристик здійснюється на підставі даних каталогів і довідникової літератури. Характеристика обраного обладнання наведена в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Застосовувані металорізальні верстати для обробки деталі

№ операції	Найменування та модель верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
015	Токарний з ЧПУ 16K20Ф3	400	12,5-2000	3-1200	10	3360x1710x1750
020	Токарний з ЧПУ 16K20Ф3	400	12,5-2000	3-1200	10	3360x1710x1750
025	Зубофрезерний авт. АВС-12-1948	50	400-4000	0,063-1,0	1,1	810x750x1335
030	Зубодовбальний н/а 5122	200	200-850	0,16-1,6	2,1	2000x1450x1965
035	Вертикально-протяжний 7Б64	320	-	1,5-11,5	11	2875x1350x3640
070	Внутрішньо-шліфувальний 3К225Б	200	20000-100000	1-7	0,76	2225x1775x1750

075	Плоскошліфувальний 3Д722	1250x320	1460	3-35	15	4450x2190x2360
080	Круглошліфувальний 3М153	140	1900	0,05-5	7,5	2700x2540x1950
085	Зубошліфувальний н/а NZA	200	1500	3,78-165*	3	2110x2450x1985
110	Вертикально-доводочний AL2L	630x1250	1,5-200	0,01-2,8	3,5	2000x1700x1345
120	Вертикально-доводочний FL12	630x1250	1,5-200	0,01-2,8	3,2	2000x1700x1420

Відповідно до прийнятої схеми базування здійснюється вибір затискних пристроїв для кожної операції механічної обробки. З урахуванням середньосерійного типу виробництва для закріплення заготовок доцільно застосовувати спеціальні затискні пристрої з механічним та пневматичним приводом, перелік яких наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Характеристика затискних пристроїв

Номер операції	Найменування операції	Стандарт	Вид приводу
010	Пристрій спец.	7271-7011	Пневматичний
015	Сепаратор	7652-7580	-
020	Сепаратор	7652-7580	-
025	Пристрій спец.	7321-7022	Пневматичний
030	Пристрій спец.	7376-4060	Пневматичний
035	Сепаратор	7652-7580	-
050	Сепаратор	7660-4029	-
065	Пристрій спец.	7463-4017	Пневматичний
075	Пристрій спец.	7376-4062	Пневматичний
095	Сепаратор	7660-4031-01	-

З урахуванням методу та стадії механічної обробки, типу виробництва, фізико-хімічних властивостей матеріалу вихідної заготовки й ріжучого інструменту, а також його міцності, зносостійкості та характеру обробки для кожного технологічного переходу здійснюється вибір ріжучого інструменту. Відомості щодо обраного інструментального оснащення наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Ріжуче оснащення технологічного процесу

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту	Різальна частина	
Операції	Переходу			Матеріал	Стандарт
010	3	Фреза2214-0157	ГОСТ9473-82	ВК6	ГОСТ3882-74
015	2	Круг шліфувальний ПН750х50х350 53С25НСМ2Б	СПТУ2-010-077	-	-
020	2	Круг шліфувальний ПН750х50х350 53С25НСМ2Б	СПТУ2-010-077	-	-
025	5	Свердло 2301-4071	ГОСТ10903-77	Р6М5	ГОСТ19265-73
	6	Зенкер 2330-4069		ВК6	ГОСТ3882-74
	7	Зенкер 2323-4068		ВК6	ГОСТ3882-74
	8	Свердло 2300-7166	ГОСТ886-77	Р6М5	ГОСТ19265-73
	9	Свердло 2300-7185	ГОСТ12121-77	Р6М5	ГОСТ19265-73
	10	Зенкер 2330-4070		ВК6	ГОСТ3882-74
	11	Зенкер 2322-4003		ВК6	ГОСТ3882-74
	12	Розвертка 2365-4011		Р6М5	ГОСТ19265-73
	13	Зенкер 2323-4093		Р6М5	ГОСТ19265-73
	14	Розвертка 2363-4017-01		Р6М5	ГОСТ19265-73
	15	Мітчик 2620-4136		Р6М5	ГОСТ19265-73
	16	Зенкер 2322-4002		ВК6	ГОСТ3882-74
	17	Зенкер 2350-4082		ВК6	ГОСТ3882-74
	18	Свердло 2301-0054	ГОСТ10903-77	Р6М5	ГОСТ19265-73
	19	Зенкер 2322-4006		ВК6	ГОСТ3882-74
	20	Зенкер 2322-4005		Р6М5	ГОСТ19265-73
	21	Зенкер 2322-4007		ВК6	ГОСТ3882-74
	22	Зенкер комбінований 2337-4053		ВК6	ГОСТ3882-74
	23	Зенкер 2337-4036		ВК6	ГОСТ3882-74
	24	Мітчик машинний 2620-4094		Р6М5	ГОСТ19265-73
	25	Розвертка 2384-4008		ВК6	ГОСТ3882-74
	26	Зенківка 2353-4053		Р6М5	ГОСТ19265-73
	27	Фреза 2223-4045		Р6М5	ГОСТ19265-73
030	2	Свердло 2300-0001	ГОСТ886-77	Р6М5	ГОСТ19265-73
035	2	Круг шліфувальний ПН750х50х350 53С25НСМ2Б	СПТУ2-010-077	-	-
050	2	Мікропорошок 54СМ28Н	ГОСТ26327-84	-	-
		Шкурка шліфувальна 280х230Л25С50	ГОСТ10054-82	-	-
065	2	Різець ф3,5 2142-4136 Різець ф5 2142-4021		ВК6 ВК6	ГОСТ3882-74 ГОСТ3882-74
070	2	Різець2170-4004		ВК6	ГОСТ3882-74
075	2	Розвертка 2363-4255		Р6М5	ГОСТ19265-73
095	2,4	Мікропорошок 54СМ10 Шкурка шліфувальна 280х230Л25С50	ГОСТ26327-84 ГОСТ1054-82	- -	- -

Вибір вимірювального інструменту здійснюється з урахуванням середньосерійного типу виробництва, необхідної точності вимірювань, а також габаритних розмірів і характеристик поверхонь, що підлягають контролю. Перелік обраних засобів технічного контролю наведено в таблиці 3.10.

Вимірювально-контрольне оснащення

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Переходу			
010		0,1	Пристосування для контролю допуску площинності 8533-4006 Індикатор ІЧ10 кл. 1	- ГОСТ577-68
015		0,05	Пристосування для контролю допуску площинності 8533-4006 Індикатор ІЧ10 кл. 1	- ГОСТ577-68
020		0,05	Пристосування для контролю допуску площинності 8533-4006 Індикатор ІЧ10 кл. 1	- ГОСТ577-68
	14	$\varnothing 7,99^{+0,058}$	Пробка 8133-0902	СТП23.113.01.073-78
	15	$\frac{1}{4}$ -28UNF-2B $31,9 \begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,9 \end{smallmatrix}$	Пробка різьбова 8221-4020 Калібр 8151-4246	- -
	17	$104 \pm 0,4$ $96 \pm 0,4$	Калібр 8150-4552 Калібр 8150-4552-01	- -
	18	$\varnothing 16^{+0,21}$	Калібр-пробка 8534-4516	-
	19	$\varnothing 16,66 \begin{smallmatrix} +0,37 \\ -0,11 \end{smallmatrix}$	Пробка-пробка 8133-0904	-
	24	$\frac{7}{8}$ -14UNF-2B 15 min 0,35	Пробка різьбова 8221-4010 Калібр 8151-4218 Калібр для контролю допуску перпендикулярності	- - -
	25	$\varnothing 10,24^{+0,14}$ $\varnothing 16,64^{+0,05}$	Пробка 8133-0903 Пробка 8133-0903	СТП23.113.01.073-78
		$19,05 \pm 0,24$ $25 \pm 0,4$	Калібр 8364-4306	
035		$36,835 \pm 0,025$ 0,05	Пристосування для контролю розміру та допусків площинності 8338-4003 Індикатор 1 МИГ Контрольний зразок 8431-4101	- ГОСТ9696-82 -

050	2	Ra2,5 // 0,05 0,003	Профілометр-профілограф системи "М" Стійка 160x100 С-IV-8 Індикатор 1 МИГ Контрольний зразок 8431-4101-01 Пластина скляна ПИ-120	ГОСТ19300-86 ГОСТ10197-70 ГОСТ9696-82 ГОСТ2923-75
065	2	$\varnothing 9,525^{+0,012}$ $\varnothing 15,926^{+0,012}$ 0,007	6...10 Нутромір індикаторний Кільце 8124-0301 10...18 Нутромір індикаторний Кільце 8124-0301 Пристосування для контролю допуску перпендикулярності 8338-4080 2МИГ Індикатор	ГОСТ9244-75 СТП113.411-74 ГОСТ9244-75 СТП113.411-74 - ГОСТ9696-82
070	2	0,3±0,03 0,24	Калібр 8151-4264 Калібр для контролю допуску симетричності 8534-4228	- -
075	2	5,6±0,025	Калібр-пробка 8133-0901	СТП23.113.01.073 -78
095		Rmax 1 // 0,05 0,0024	Профілометр-профілограф системи "М" Стійка 160x100 С-IV-8 Індикатор 1 МИГ Контрольний зразок 8431-4101-01 Пластина скляна ПИ-120	ГОСТ19300-86 ГОСТ10197-70 ГОСТ9696-82 ГОСТ2923-75

Після визначення плану обробки поверхонь та розроблення маршрутної технології виконується розрахунок припусків на механічну обробку. Розрахунок припусків здійснюється аналітичним методом для поверхні 8 ($\varnothing 15,926^{+0,012}$) кришки нижньої.

Маршрут механічної обробки поверхні включає такі послідовні операції:

1. чорнове зенкерування;
2. чистове зенкерування;
3. тонке розточування.

Мінімальний припуск при послідовному виконанні операцій обробки поверхні визначається за такою формулою:

$$2z_i \left[(Rz + T)_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]_{min}$$

де Rz_{i-1} - висота нерівностей профілю на попередньому переході; T_{i-1} - глибина дефектного шару на попередньому переході; ρ_{i-1} - сумарне відхилення просторових відхилень (відхилення від паралельності, перпендикулярності,

Виконуємо перевірку:

$$2z_{\phi} \min_{\max}$$

$$2000 - 12 = 1826 - 838$$

$$988 = 988$$

Розрахунок припусків виконано коректно. Для інших поверхонь припуски на механічну обробку визначаються за довідниковими таблицями, після чого отримані значення систематизуються та подаються в таблиці 3.12.

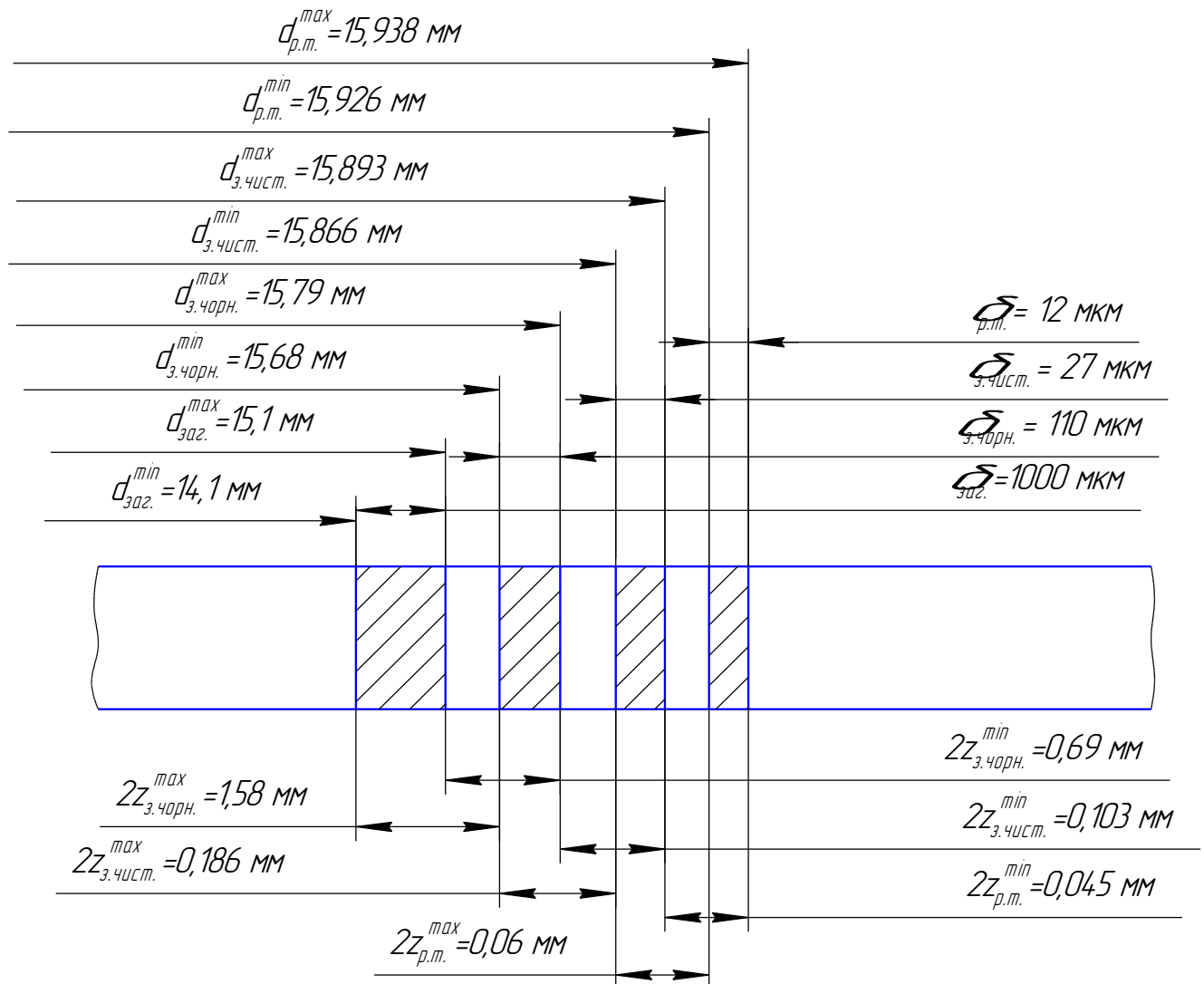


Рис. 3.12 Графічне представлення припусків на обробку

Припуски на механічну обробку кришки нижньої

Номер поверхні	Найменування поверхні	Маршрут обробки	Припуск по переходам, мм	Міжопераційний розмір
1,5	Торці	Заготовка 1.Фрезерування попереднє 2.Фрезерування остаточне 3.Шліфування	1x2 0,6x2 0,3x2	41±0,55 39±0,31 37,5±0,17 36,53±0,11
2,3	Різьбовий отвір	Заготовка 1.Зенкерування 2.Зенкерування 3.Різенарізація	0,5x2 0,46x2 -	18,5+1,0 19,5+0,3 20,43+0,2 7/8-UNF-2B
2*,3**	Отвір	Заготовка 1. Зенкерування	0,92x2	18,5+1,0 16,66± ^{0,37} _{0,11}
8	Отвір	Заготовка 1.Зенкерування 2.Зенкерування 3.Розточування	2,7x2 0,35x2 1,2x2	8,6+1,0 14+0,3 14,7+0,12 15,926+0,012
8*	Отвір	Заготовка 1.Зенкерування	2,7x2	14,6+1,0 20+0,5
11	Отвір	Заготовка 1.Зенкерування 2.Зенкерування 3. Зенкерування	1x2 0,55x2 0,07x2	7+1,0 9+0,13 10,1±0,11 10,24+0,14

Інші розміри деталі контролюються з використанням електронного штангенциркуля.

Розрахунок режимів різання виконується для операції 010 — карусельно-фрезерної. Вихідні дані для проведення розрахунку наведено нижче:
 верстат — карусельно-фрезерний ЛГ22;
 ріжучий інструмент — торцева фреза з ріжучою частиною з твердого сплаву ВК6;
 діаметр фрези — 160 мм;
 кількість зубців — 16.

Маршрут механічної обробки деталі на даній операції включає такі переходи:

1. попереднє та остаточне фрезерування першого торця;
2. попереднє та остаточне фрезерування другого торця.

З метою виключення додаткових переходів, пов'язаних із переналагодженням режимів різання, при обробці першого та другого торців приймаються однакові режими різання для обох переходів.

Визначення глибини різання:

- попереднє фрезерування $t_1=1$ мм
- остаточне $t_2=0,6$ мм

Подача на зуб $S_z=0,14$ мм/зуб.

Значення подачі приймається однаковим для попереднього і остаточного фрезерування в зв'язку з тим, що подачу здійснює стіл верстату.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v$$

Коефіцієнти і показники в формулі: $C_v=155$; $y=0,2$; $m=0,2$; $Q=0,25$; $u=0,15$; $x=0,1$; $p=0,1$.

Ширина фрезерування $B=115$ мм.

Стійкість фрези $T=180$ хв. за табл. 40.

Кількість зубців $Z=10$

Поправочний коефіцієнт $K_v = K_{MV} \cdot K_{NV} \cdot K_{UV}$, який враховує:

- матеріал деталі, що обробляється, за табл.4 стор263 $K_{MV}=1$;
- стан поверхні заготовки за табл. 5 стор263 $K_{NV1}=0,9$ $K_{NV2}=1$
- вплив інструментального матеріалу за табл.6:

$K_{UV}=2,7$

Загальний поправочний коефіцієнт $K_{v1}=1 \cdot 0,9 \cdot 2,7=2,43$

$K_{v2}=2,7$

$$V_1 = \frac{155 \cdot 160^{0.25}}{180^{0.2} \cdot 1^{0.1} \cdot 0.14^{0.2} \cdot 115^{0.15} \cdot 16^{0.1}} \cdot 2.43 = 261 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = \frac{155 \cdot 160^{0.25}}{180^{0.2} \cdot 0.6^{0.1} \cdot 0.14^{0.2} \cdot 115^{0.15} \cdot 16^{0.1}} \cdot 2.7 = 306$$

Частота обертання шпинделя: $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\phi p}} \text{ хв}^{-1}$

$$n = \frac{1000 \cdot 261}{3.14 \cdot 160} = 510 \text{ хв}^{-1};$$

$$n = \frac{1000 \cdot 306}{3.14 \cdot 160} = 609 \text{ хв}^{-1}.$$

За паспортними даними верстату приймаємо $n_{д1}=510 \text{ хв}^{-1}$, $n_{д2}=630 \text{ хв}^{-1}$.

Колова подача стола верстату $S_{кр}=S_z \cdot Z \cdot n=0.14 \cdot 16 \cdot 510=1336,4$ мм/хв.

Але найбільша колова подача верстату $S_{кр}=400$ мм/хв. Тоді дійсна подача на зуб становить: $S_z=S_{кр}/Zn_1=400/16 \cdot 510=0,05$ мм/зуб.

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot m^w} \cdot K_{MP}$$

Коефіцієнти і показники степеню:

$$C_p=54,5 \quad Y=0,74 \quad q=1,0$$

$$X=0,9 \quad u=1,0 \quad w=0$$

Поправочний коефіцієнт на матеріал деталі:

$$K_{MP} = 1,0$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,05^{0,74} \cdot 115^1 \cdot 10}{160^1 \cdot 510^0} \cdot 1 = 426,8 \text{ Н}$$

Складові сили різання:

- горизонтальна $P_h=0,3P_z=0,3 \cdot 426,8=128 \text{ Н}$
- вертикальна $P_v=0,9P_z=0,9 \cdot 426,8=384,1 \text{ Н}$
- радіальна $P_y=0,35P_z=0,35 \cdot 426,8=149,4 \text{ Н}$
- осьова $P_x=0,55P_z=0,55 \cdot 426,8=234,7 \text{ Н}$

Крутний момент:

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{426,8 \cdot 160}{2 \cdot 1000} = 34,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{426,8 \cdot 306}{1020 \cdot 60} = 2,1 \text{ кВт}$$

Враховуючи, що дві фрези працюють водночас, загальна потужність фрезерування $N_{\Sigma} = 2 \cdot 2,1 = 4,2 \text{ кВт}$

Перевірка за потужністю верстату показує, що при потужності двигуна верстату 9,2 кВт умова $N_p < 1,2 \cdot N_d \cdot \eta$ виконується. Таким чином, розраховані режими різання можна реалізувати на даному верстаті.

Основний час механічної обробки визначається діленням одного обороту стола на кількість заготовок, що встановлені на ньому.

Один оборот стола верстату здійснюється за $t_{об}=8,635 \text{ хв.}$

Враховуючи, що водночас встановлюється 10 деталей $t_o = 0,86 \text{ хв.}$

Для всіх інших технологічних переходів режими різання визначаються за довідниковими даними та каталогами інструментального оснащення, після чого отримані значення систематизуються і заносяться до таблиці 3.13. При цьому у випадку обробки кількох поверхонь одним і тим самим ріжучим інструментом до складу машинного часу включається час на переміщення інструмента, який визначається за такою залежністю:

$$t_{03} = \frac{l}{S_{x.p.}}$$

Таблиця 3.13

Режими різання в технологічному процесі механічної обробки

Номер		t, мм	S _o , мм/об S _{хв} , мм/хв	V, м/хв	n, хв ⁻¹	t _o , хв.
операції	переходу					
010	2	1	400	261	510	0,86
	3	0,6	400	306	630	
015	2	0,3	2600	280	710	0,7
020	2	0,3	2600	276	710	0,7
025	4	5,36	0,1	40,4	1200	0,02
	5	4,35	0,1	32,8	1200	0,27
	6	2,7	0,2	34	2000	0,31
	7	9,6	0,2	30,1	1000	0,02
	8	2,7	0,1	33,9	2000	0,37
	9	3,55	0,1	44	2000	1,48
	10	2,7	0,2	46,2	1000	0,35
	11	0,6	0,2	55,4	1200	0,31
	12	0,15	0,33	8,2	300	0,17
	13	0,4	0,1	24,5	1000	0,1
	14	0,1	0,1	12,6	500	0,2
	15	0,5	0,805	6,7	530	0,22
	16	4	0,2	49	800	0,26
	17	6,25	0,26	56,5	500	0,1
	18	2,5	0,2	40,2	800	0,28
	19	3	0,2	41,8	800	0,39
	20	1	0,2	28,3	1000	0,07
	21	0,5	0,2	38,5	600	0,17
	22	2,5	0,2	41,2	800	0,28
	23	0,5	0,2	45,1	600	0,33
	24	1,5	1,814	10,4	160	0,1
	25	0,2	0,6	8,4	160	0,1
	26	3,2	0,08	25	500	0,2
	27	6	0,05	23,8	800	0,2
						Σ6,3
030	2	1,0	РУЧН.	25	4000	0,98
035	2	0,17	2600	280	710	0,62
050	2					0,73
065	2	0,25	0,04	108	3500	1,27
		0,25	0,04	175	3500	
075	2	0,1	0,13	7,03	400	0,26
095	2,4					0,5

Для умов середньосерійного виробництва визначається норма штучно-калькуляційного часу..

$$t_{шт-к} = t_{шт} + T_{п-з} / n_3$$

Для операції 025 кришки нижньої основний машинний час обробки деталі становить:

$$t_{ом} = \sum t_{oi} = 3,88 \text{ хв.}$$

При обробці партії деталей слід врахувати час на поворот стола на 2 позицію з тим, щоб поставити його у вихідне положення для обробки наступної деталі (час повороту столу 1 об. за сек. $t_{дз}=0,025 \text{ хв.}$), це становить

$$0,025 \cdot 2 = 0,05 \text{ хв.}$$

На основі цього час циклу автоматичної роботи верстата за програмою для обробки даної деталі визначається за формулою:

$$t_{ц.а.} = \sum t_{oi} + t_{дз} = 6,72 + 0,05 = 6,77 \text{ хв.}$$

Норму штучного часу визначаємо за формулою:

$$t_{шт} = (t_{ц.а.} + t_{д}) \left(1 + \frac{\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{відп.}}{100} \right)$$

Допоміжний час включає такі елементи:

$t_{вст}=0,053 \text{ хв.}$ - час на встановлення і зняття деталі вручну в спеціальному пристрої.

$t_{д.оп.}=2,3+0,04+0,4+0,12+0,4+0,4+0,04=2,5 \text{ хв.}$ - час, пов'язаний з операцією, визначається за [9, ч. 1] карта 14, поз. 1...6, цей час витрачається на:

- встановлення заданого взаємного положення деталі і інструмента по координатам X, Y, Z випадок здійснення підналадки;
- перевірку проходу деталі або інструмента в задану точку після обробки.

Час на контрольні вимірювання:

$$t_{вим.}=0,26+0,04+0,22+0,11+0,11+0,08+0,08+0,2+0,02+0,11+0,045+0,13=1,405 \text{ хв.}$$

$$\text{Загальний допоміжний час } t_{д}=2,5+1,405=3,905 \text{ хв.}$$

Час на організаційне і технічне обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби наведений в % від оперативного часу:

$$\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{відп.} = 14\%$$

$$t_{шт} = (3,93 + 3,905) (1 + 14/100) = 8,93 \text{ хв.}$$

Підготовчо заключний час становить:

$$t_{п-з} = 4 + 5 + 1,2 + 2,2 + 0,6 + 0,2 + 0,4 \cdot 24 + 1,0 + 1,2 + 1,6 \cdot 24 + 1,1 \cdot 18 + 0,4 = 83,6 \text{ хв.}$$

Розмір партії деталей визначаємо за формулою:

$$n_3 = \frac{N_3}{S_n} = \frac{11719}{8} = 1465 \text{ шт.}$$

де $N_3=11719$ – річна програма запуску деталей;

$S_n=8$ – періодичність запусків у виробництво деталей.

Штучно-калькуляційний час становить:

$$t_{\text{шт-к}} = 8,932 + 83,6/1465 = 8,99 \text{ хв.}$$

На інші операції розрахунок норми часу проводимо аналогічно з урахуванням особливостей і структури кожної операції, результати заносимо в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

Визначення норми часу на механічну обробку деталі

Номер операції	t_o , хв.	t_d , хв.	$t_{\text{обсл.}}$, хв.	$t_{\text{шт}}$, хв.	$t_{\text{п-з}}$, хв.	$t_{\text{шт-к}}$, хв.
010	0,86	0,397	0,043	1,3	35	0,901
015	0,7	0,018	0,032	0,75	9	0,795
020	0,7	0,018	0,032	0,75	9	0,795
025	6,3	1,46	1,17	8,93	83,6	8,99
030	0,98	0,08	0,21	1,27	13	1,335
035	0,62	0,01	0,032	0,66	12	0,72
050	0,73	0,22	0,02	0,97	12	1,03
065	1,27	0,306	0,054	1,63	43	1,845
075	0,26	0,373	0,017	0,65	12	0,71
095	0,5	0,16	0,02	0,68	12	0,74

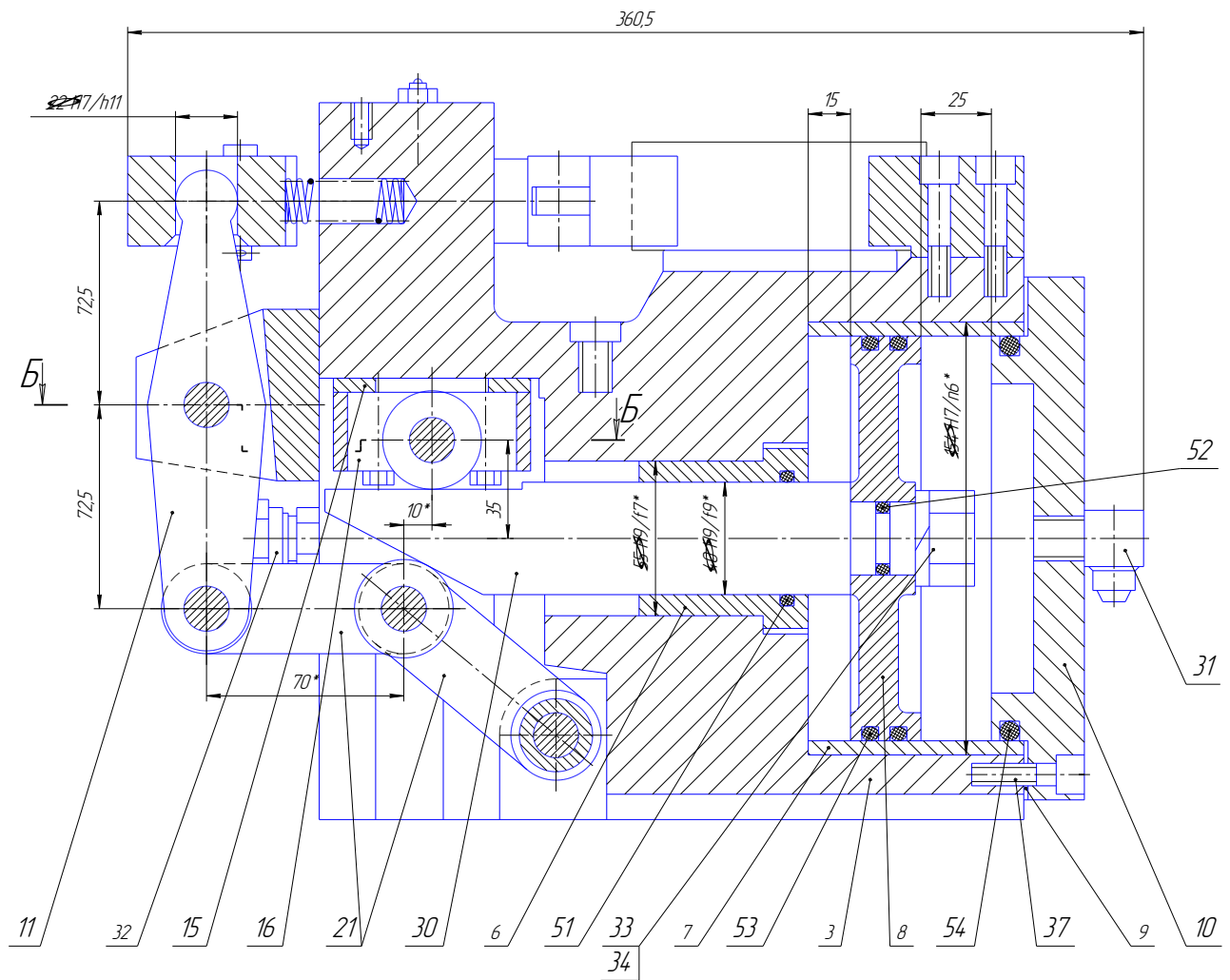
3.3 Висновки

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі забезпечує зниження собівартості продукції та підвищення гнучкості виробництва. Досягнення необхідних показників точності й якості в запропонованому технологічному процесі реалізується за рахунок обґрунтованого вибору металорізального обладнання, затискних пристроїв, ріжучого та вимірювального інструменту, коректно розрахованих припусків на механічну обробку, раціонального призначення режимів різання, а також точного технічного нормування технологічних операцій.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ І ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Проектування затискного пристрою та його розрахунок

Затискний пристрій використовується для надійного закріплення деталі кришка нижня під час виконання операції 010 — фрезерування торцевих поверхонь, яка здійснюється на карусельно-фрезерному верстаті моделі ЛГ22. Пристрій є двопозиційним, що забезпечує можливість послідовної обробки деталей. Конструктивну схему затискного пристрою наведено на рисунку 4.1.



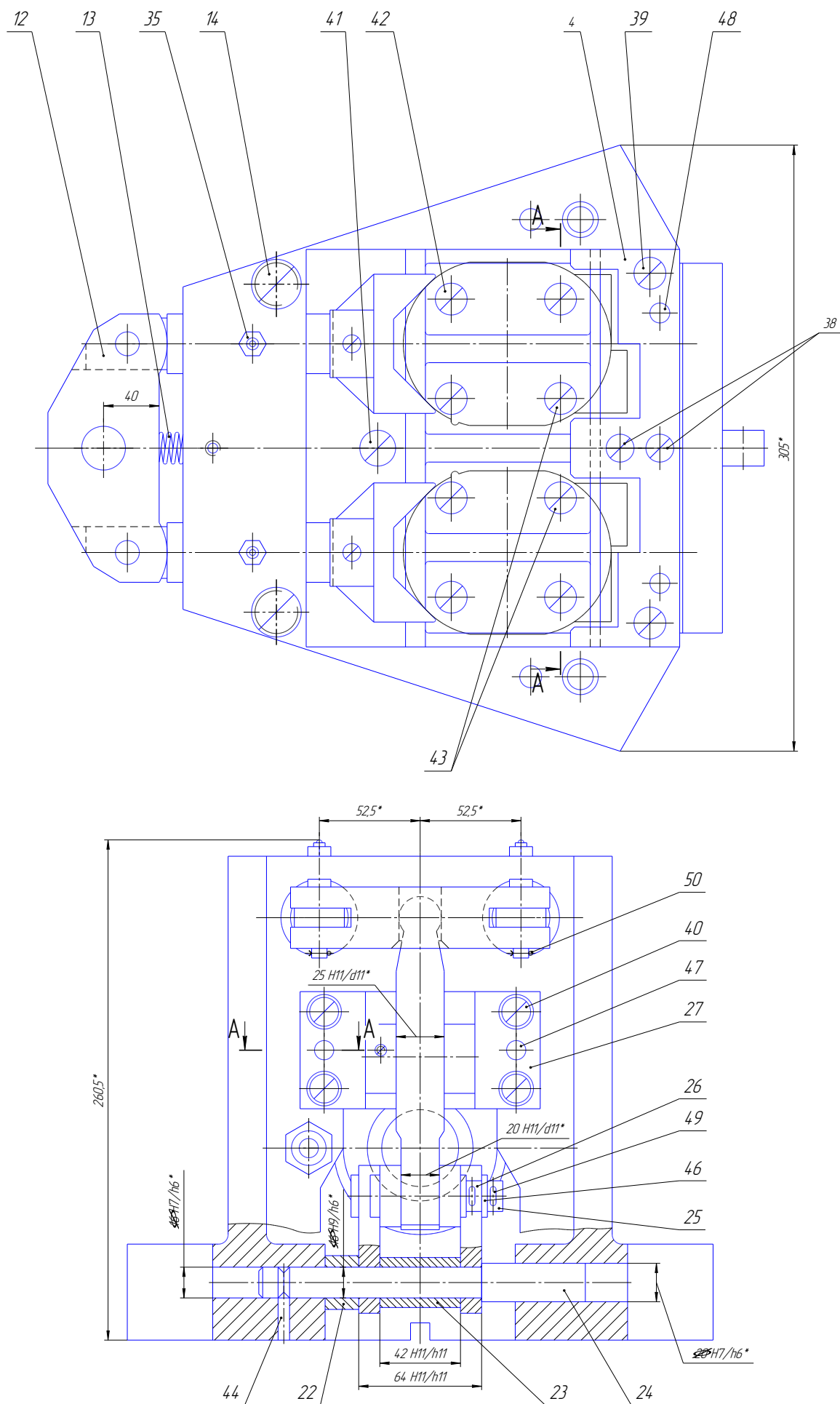


Рис. 4.1 Пристрій затискний

Затискний пристрій складається з корпусу 3, на якому за допомогою штифтів 48 та гвинтів 38 і 39 встановлюється та фіксується опора 4. До корпусу також кріпляться установи 1 і 2, які закріплюються за допомогою гвинтів 42 та 43.

У внутрішньому отворі корпусу розміщена гільза 7, у якій здійснює зворотно-поступальний рух поршень 8. Поршень з'єднаний зі штоком 30 за допомогою гайки 33 та шайби 34. Шток 30 спряжується своєю зовнішньою циліндричною поверхнею з внутрішньою циліндричною поверхнею втулки 6, встановленої в корпусі 3.

Герметизація пневмоциліндра, а також осьове підтискання гільзи 7 забезпечуються кришкою 10, прокладкою 9 та гумовим кільцем 54. Кришка кріпиться до корпусу 3 гвинтами 37. Додаткову герметизацію вузла забезпечують ущільнювальні кільця: між штоком і поршнем — кільце 52, між поршнем і гільзою — кільце 53, а між штоком і втулкою — кільце 51.

Подача стисненого повітря в пневмоциліндр здійснюється через кутове з'єднання 31, яке приєднується до кришки за допомогою різьбового з'єднання.

Шток має конічну робочу поверхню, яка взаємодіє з циліндричними поверхнями щік 21. З одного боку щоки встановлюються на корпусі 3 за допомогою осі 24 та втулок 22 і 23, які забезпечують їх правильне просторове положення. Для запобігання осьовому зміщенню осі 24 застосовується гвинт 44.

З іншого боку щоки з'єднуються з важелем 11 за допомогою осі 26, яка фіксується шайбою 46 та шплінтом 49. Між собою щоки з'єднані віссю 25, закріпленою аналогічним способом — шайбою 46 і шплінтом 49.

Важіль 11 встановлюється в кронштейні 27 на осі 29, яка фіксується від осьового переміщення гвинтом 45. Сферична поверхня важеля контактує з отвором коромисла 12, забезпечуючи передачу зусилля. Коромисло 12 за допомогою осей 17 та шплінтів 50 з'єднується з прихватами 19.

Прихвати 19 розміщуються у втулках 18, встановлених в отворах корпусу 3. Призми 5 кріпляться до прихватів 19 спеціальними гвинтами 20 та забезпечують безпосередній контакт із затискною деталлю. Для зменшення зносу тертьових поверхонь прихватів і втулок передбачені маслянки 35.

Пружина 13 призначена для автоматичного відведення коромисла 12 разом із прихватами 19 і призмами 5 від затиснутої деталі після припинення подачі стисненого повітря в безштокову порожнину пневмоциліндра.

Оброблювані деталі встановлюються на установи 1 та 2 і базуються по торцевих поверхнях.

Робота затискного пристрою здійснюється таким чином: стиснене повітря через пневмопроводи та отвори кутового з'єднання 31 подається в безштокову порожнину пневмоциліндра. Унаслідок цього поршень 8 разом зі штоком 30 переміщується вліво. Конічна поверхня штока взаємодіє з циліндричними поверхнями щік 21, змушуючи їх переміщуватися та передавати зусилля на затискний механізм.

У подальшому зусилля від щік передається на важіль, який унаслідок взаємодії здійснює поворот навколо осі 29. Це зумовлює переміщення коромисла 12, прихватів 19 та призми 5 у напрямку вправо.

Призми 5, взаємодіючи з бічними радіусними поверхнями деталі кришка нижня, притискають її до опорних площин опори 4, у результаті чого забезпечується надійне закріплення деталі в затискному пристрої.

Для запобігання відхиленню штока від циліндричних поверхонь щік у процесі роботи передбачено ролик 28, який встановлюється в корпусі 16 за допомогою осі 29. Корпус 16 кріпиться до основного корпусу 3 за допомогою болтів 36.

У разі подачі стисненого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра поршень разом зі штоком переміщується вправо, при цьому навантаження з циліндричних поверхонь щік знімається. Під дією пружини 13 коромисло 12, прихвати 19 та призми 5 переміщуються вліво, що забезпечує розтискання деталей.

Схема орієнтації деталі за допомогою опорних точок у координатній системі верстата розробляється з урахуванням кількості та характеру технологічних вимог до виконуваної операції, а також із дотриманням принципу суміщення конструкторських і технологічних баз. Схему базування деталі наведено на рисунку 4.2.

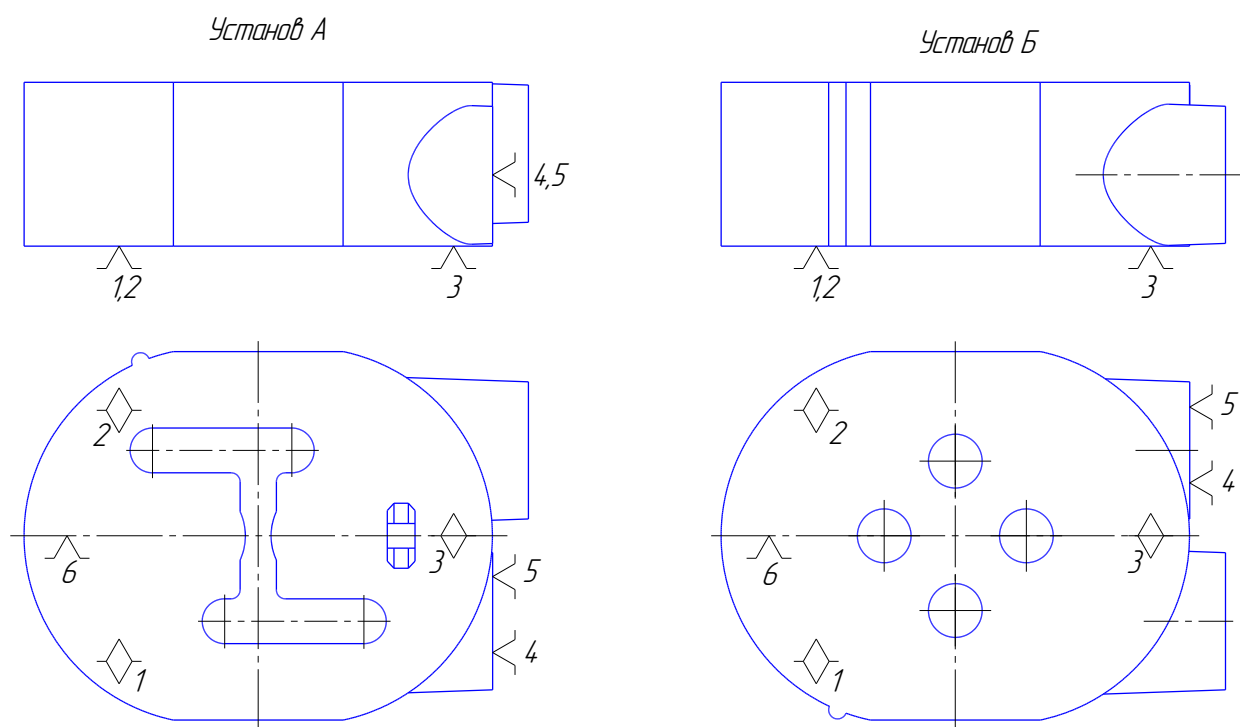


Рис. 4.2 Схема базування деталі

Надалі здійснюється матеріалізація розробленої схеми базування із застосуванням стандартних установчих елементів. У разі неможливості їх

використання проєктуються спеціальні опори з урахуванням конструктивних особливостей та форми базових поверхонь оброблюваної деталі.

Після цього визначається допустима похибка базування деталі, яка обчислюється за такою формулою:

$$[\varepsilon_{\delta}] = T_a - \omega_A;$$

де: T_a – допуск, що характеризує точність оброблюваної поверхні.

ω_A – економічна точність використовуємого верстату.

$$[\varepsilon_{\delta}] = 0,3 - 0,03 = 0,27 \text{ мм}.$$

Виконуємо розрахунок пристрою на точність:

$$T_{np} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{in}^2 + \varepsilon_{верст}^2 + \varepsilon_{np}^2 + \varepsilon_{вст}^2};$$

де: похибка базування: $\varepsilon_{\delta} = 0$, так як установка та вимірювальна бази співпадають.

похибка закріплення: $\varepsilon_3 = 0$, так як застосовуємо пневматичний привід, який забезпечує постійність сил затиску.

Похибки виготовлення пристрою та похибка його встановлення на верстаті відповідно: $\varepsilon_{np} + \varepsilon_{вст} = 0,05 \text{ мм}$.

Похибка верстату: $\varepsilon_{in} = 0,01 \text{ мм}$.

Тоді:

$$T_{np} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,01^2 + 0,03^2 + 0,05^2} = 0,06 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову: $T_{np} \leq T_a$

$$T_{np} = 0,06$$

$$T_a = 0,3$$

Умова вважається виконаною.

Під час фрезерування торцевою фрезою за умов базування деталі по опорній основі та бічній площині прикладена сила затиску повинна забезпечувати утримання деталі від зміщення під дією горизонтальної складової сили різання P_n . Розрахункову схему наведено на рисунку 4.3.

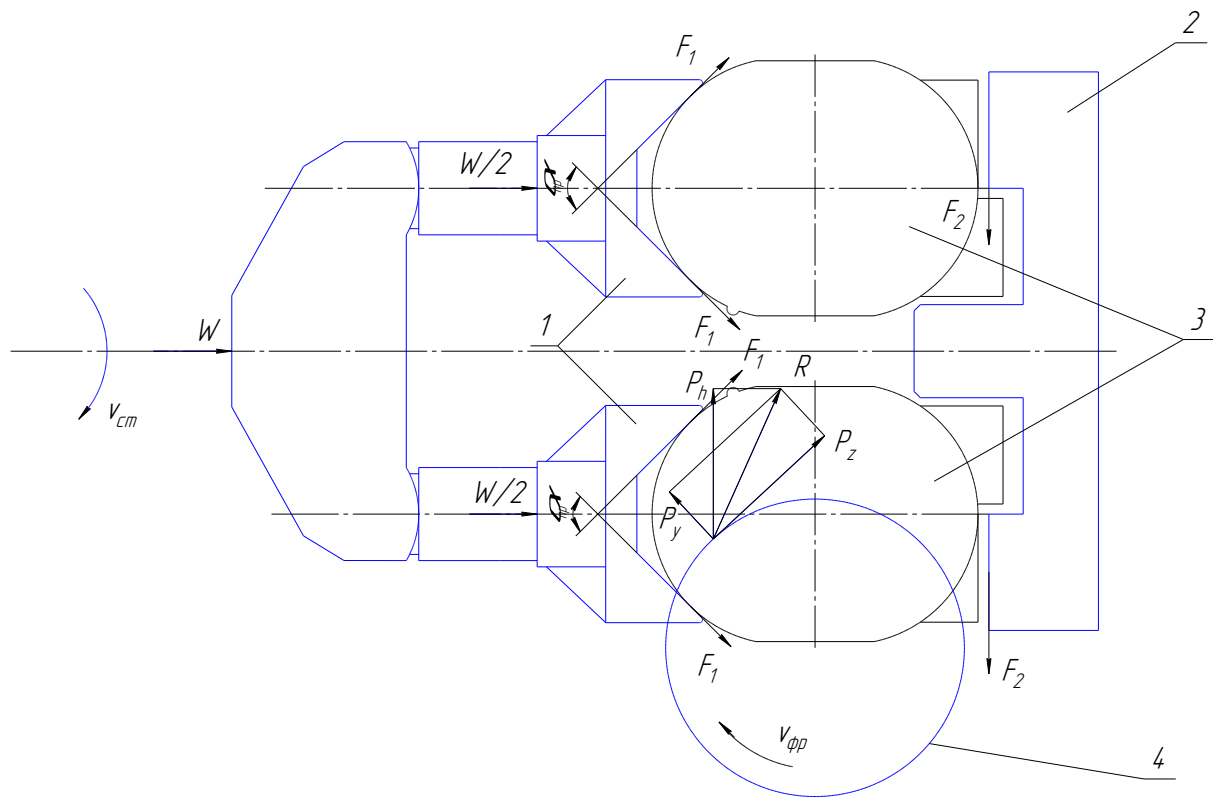


Рис. 4.3 Розрахункова схема для визначення сили затиску деталі

Необхідну величину сили затиску визначаємо з умови:

$$\frac{W}{2}(f_2 + f_1 \sin \frac{\alpha}{2}) \geq k \cdot P_h;$$

де: f_1 - коефіцієнт тертя, між притискним елементом і деталлю, (0,5);

f_2 - коефіцієнт тертя, між опорою і деталлю, (0,5);

k – коефіцієнт запасу (1,5);

$\alpha_{\text{пр}}$ - кут призми (90°);

P_h - горизонтальна складова сили різання;

Значення горизонтальної сили подачі визначаємо із співвідношення з головною складовою силою P_z :

$$P_h = 0,3P_z = 0,3 \cdot 426,8 = 128 \text{ Н}.$$

Сила P_z визначена у розділі 2.

Тоді:

$$W = \frac{2 \cdot k \cdot P_h}{(f_2 + f_1 \sin \frac{\alpha}{2})} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 128}{(0,5 + 0,5 \sin \frac{90^\circ}{2})} \approx 450 \text{ Н}.$$

Розрахункова схема визначення зусилля на штоку пневмоциліндра наведена на рисунку 4.4. Схема включає пневмопривід, клиновий механізм з одностороннім клином і роликами, а також важільний механізм. На схемі відображено напрями дії сил, а також геометричні параметри ланок механізмів.

Вихідне зусилля на штоку пневмоциліндра визначається за такою залежністю:

Для клинового механізму:

$$P_2 = \frac{Q}{tg(\alpha + \varphi_{np}) + tg\varphi_{1np}},$$

Де: φ_{np} - приведенный кут тртя кочення;

$\operatorname{tg} \varphi_{1np}$ - приведений коефіцієнт тертя кочення;

$$\varphi_{np} = \arctg \varphi \frac{d}{D} = \arctg 5^0 0,5 = 39,3^0 ;$$

$$\varphi_{1np} = tg\varphi_1 \frac{d}{D} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05.$$

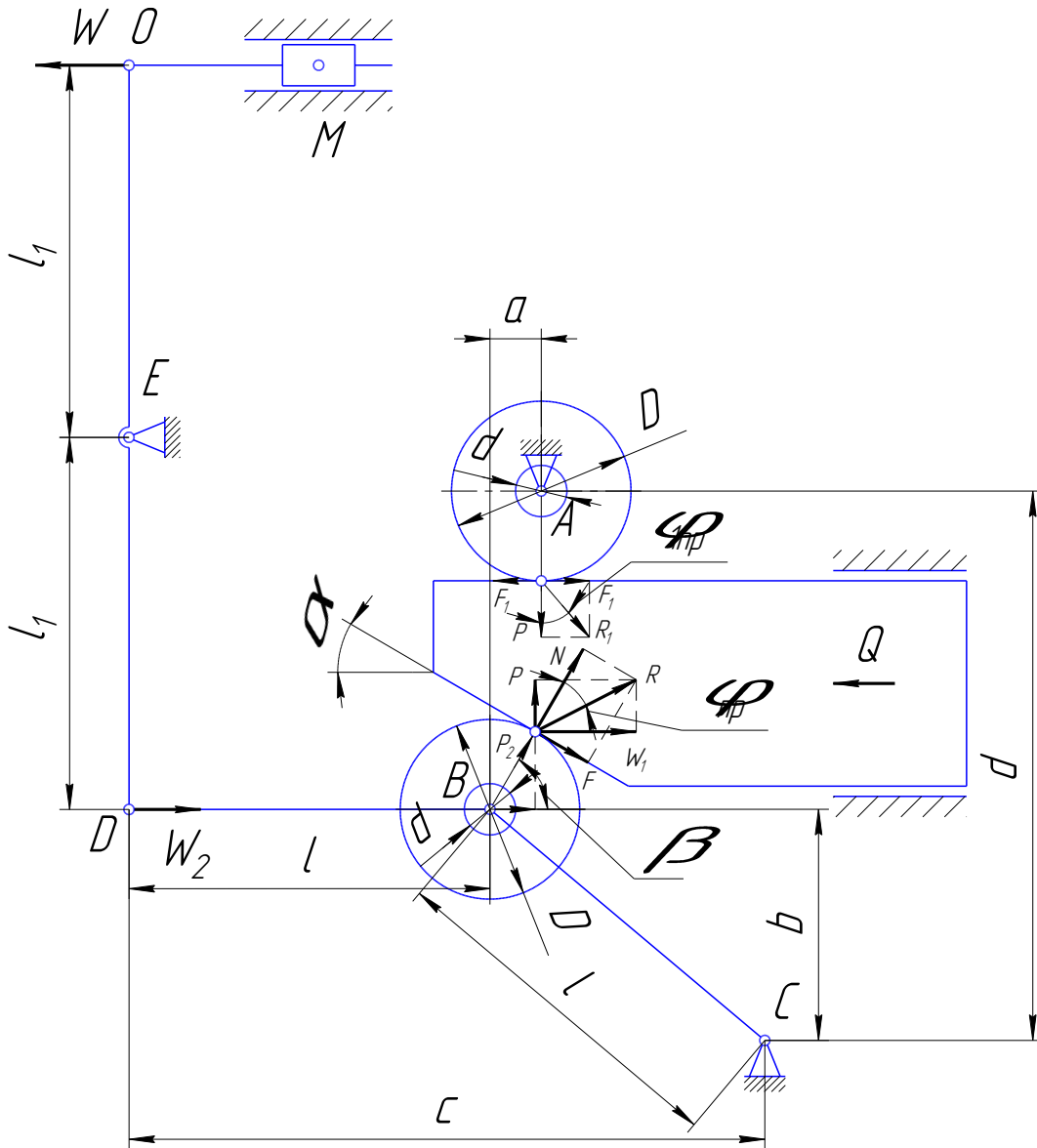


Рис. 4.4 Розрахункова схема для визначення сили на штоці пневмоприводу

Силу W_2 визначаємо за формулою:

$$W_2 = P_2 \cos \beta,$$

Де $\beta = 90^0 - \alpha$.

Тоді силу W визначаємо за формулою:

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg}\varphi_{lnp}} \cos \beta \cdot \eta_{nn} \cdot \eta_{kl} \cdot \eta_C \cdot \eta_D \cdot \eta_E \cdot \eta_O \cdot \eta_M,$$

Де: $\eta_{nn}, \eta_{kl}, \eta_C, \eta_D, \eta_E, \eta_O, \eta_M$ - ККД відповідно пневмоциліндру, клинового механізму, шарнірних з'єднань.

Силу на штоці Q визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{W (\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \operatorname{tg}\varphi_{lnp})}{\cos \beta \cdot \eta_{nn} \cdot \eta_{kl} \cdot \eta_C \cdot \eta_D \cdot \eta_E \cdot \eta_O \cdot \eta_M} =$$

$$\frac{450 (\operatorname{tg}(27^\circ + 39,3^\circ) + 0,05)}{\cos(90^\circ - 27^\circ) \cdot 0,85 \cdot 0,83 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,87} = 5248 \text{ Н}.$$

Як силовий привід у затискному пристрої застосовується пневматичний поршневий привід двосторонньої дії. Поршневі пневматичні приводи відрізняються підвищеною швидкістю порівняно з гідравлічними приводами та характеризуються більш простою і надійною конструкцією.

Діаметр циліндра силового приводу визначається на підставі розрахунку. Для пневматичного приводу двосторонньої дії, за умови здійснення затискання заготовки під час висування штока, діаметр циліндра обчислюється за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_e \cdot \eta}};$$

де:

P_e – тиск стиснутого повітря: $P_e = 3 \dots 5 \text{ кгс/см}^2$;

η - ККД приводу; $\eta = 0,85$;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5248}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,85}} = 0,044 \text{ м};$$

У затискному пристрої, що використовується на базовому підприємстві, діаметр поршня пневмоциліндра становить 154 мм. Такий вибір зумовлений універсальністю пристрою, оскільки шляхом заміни установчих елементів на даному верстаті здійснюється обробка інших деталей, для яких характерні вищі значення сил різання. З цієї причини з метою забезпечення надійного закріплення заготовок, що обробляються на зазначеному обладнанні, під час проектування затискного пристрою було прийнято рішення про застосування пневмоциліндра з указаним діаметром поршня.

Далі визначається внутрішній діаметр трубопроводу для подачі стисненого повітря до пневмоциліндра, який розраховується за такою формулою:

$$dm = \frac{0,009 \cdot D \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot S_{Q_1}}}{t};$$

де:

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f) \leq 0,528;$$

$$\varepsilon = \frac{5248}{3,14 \cdot 77^2 \cdot 4 \cdot 0,9} \leq 0,528$$

t – час спрацьовування приводу $t \leq 0,5$ с;

F – площа поршня, см²;

f – коефіцієнт тертя між поршнем і циліндром, який дорівнює 0,9;

Тоді:

$$d_m = \frac{0,009 \cdot 154 \cdot \sqrt{\frac{5248 \cdot 4}{3,14 \cdot 77^2 \cdot 0,9 \cdot 4}}}{0,5} = 3,5 \text{ мм};$$

Приймаємо $d_r = 5$ мм.

До найбільш навантажених елементів (слабких ланок) відносять деталі, на які припадають максимальні зусилля, що створюються силовим приводом. Тому виконуємо розрахунок на міцність осі поз. 29 (рис. 4.1).

Вісь має діаметр 16 мм і виготовляється зі сталі 45. Умову міцності осі на зріз формулюємо так:

$$\tau = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau];$$

$$\tau = \frac{450}{\frac{3,14 \cdot 16^2}{4}} = 2,2 \text{ МПа};$$

$$[\tau] = 160 \text{ МПа};$$

Умова виконується.

4.2 Проектування та розрахункове обґрунтування контрольного пристрою

Контрольний пристрій (рис. 4.5) призначений для перевірки відхилення від паралельності поверхні 5 відносно поверхні 1 (рис. 1.3) деталі кришка нижня. Допустиме відхилення становить 0,05 мм.

Конструктивно пристрій виконано у вигляді плити 1, на якій закріплено колонку 2. На колонці встановлюється кронштейн 3, фіксація якого здійснюється гвинтом 7. Індикатор 11 кріпиться до кронштейна за допомогою болта 8.

Контрольована деталь під час вимірювання встановлюється на плиту 1 по шліфованій опорній поверхні.

Принцип роботи пристрою полягає у вимірюванні величини непаралельності контрольованих поверхонь за допомогою індикатора 11, попередньо налаштованого за еталоном. Вимірювальний наконечник індикатора постійно контактує з вимірюваною поверхнею деталі, при цьому зусилля притискання не повинно перевищувати 1,2 кг.

Перед початком контролю необхідно провести зовнішній огляд пристрою, перевірити його працездатність та очистити (протерти) робочу поверхню плити 1. Деталь перед вимірюванням також очищують, після чого встановлюють на плиту, попередньо відвівши ніжку індикатора. Далі вимірювальний наконечник плавно опускають до контакту з контрольованою поверхнею. Вимірювання виконують у кількох точках по поверхні.

Деталь вважається придатною, якщо покази індикатора знаходяться в межах 0–50 мкм.

Вибір типу вимірювального засобу здійснюється з умови:

$$\Delta_{\text{вз}} \leq (0,2 \dots 0,3) \cdot T_a$$

де: $\Delta_{\text{вз}}$ - точність вимірювального засобу;

T_a – допуск контролюємого параметру.

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,25 \cdot 0,05 = 0,0125 \text{ мм}.$$

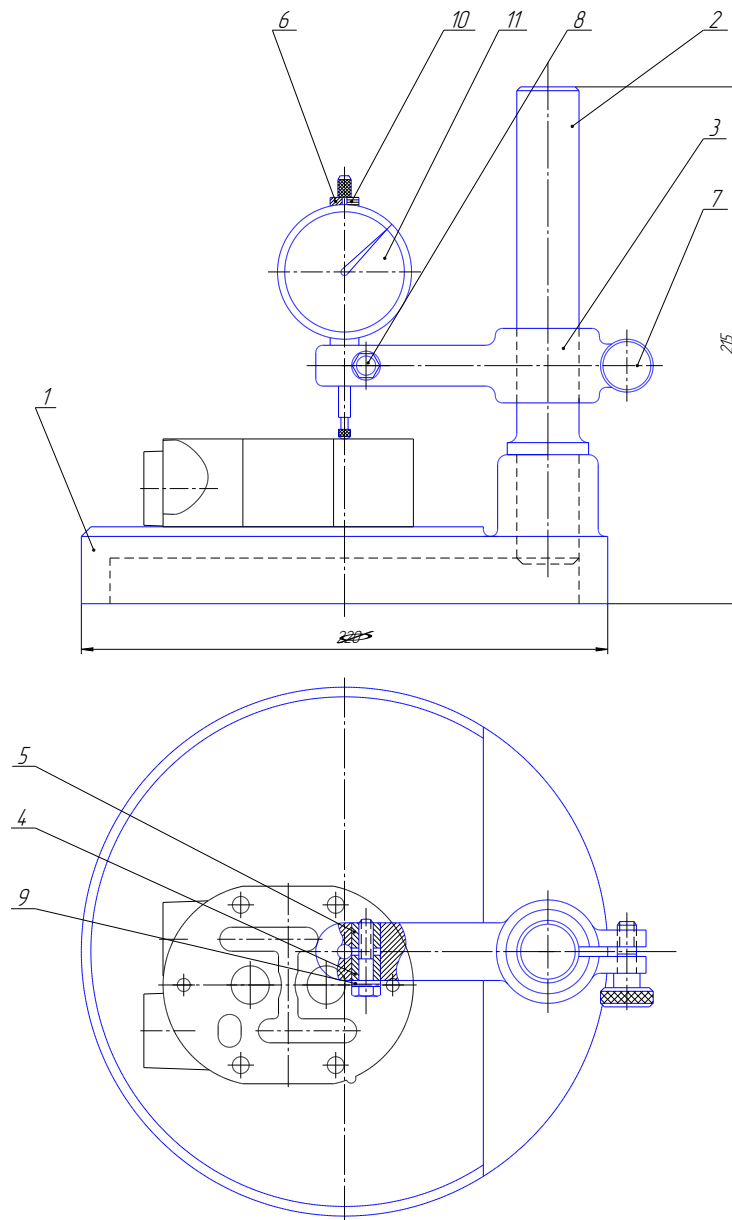


Рис. 4.5 Пристрій контрольний

Відповідно до наведеної вище умови як засіб вимірювання приймається індикатор годинникового типу.

Основні технічні характеристики вимірювального пристрою:

- ціна поділки шкали — 0,001 мм;
- діапазон вимірювання — 0...1 мм;
- вимірювальне зусилля — 1,2 кг;
- допустима похибка вимірювання — 0,0004 мм;
- габаритні розміри — 42 × 75 × 21 мм.

Умова працездатності вимірювального пристрою визначається таким співвідношенням:

$$[\Delta]_{\text{вим}} = \sqrt{\Delta \sigma^2 + \Delta \vartheta^2 + \Delta \eta^2 + \Delta \varepsilon^2 + \Delta \vartheta^2 + \Delta \vartheta^2} \leq [\Delta]_{\text{вим}}$$

де: $[\Delta]_{\text{вим}}$ - допустима похибка вимірювання, визначається в залежності від

допуску ITL контролюємого розміру;

Δb - похибка базування контролюємої деталі (в даному випадку на контролюємий розмір не впливає, тому її не враховуємо);

$\Delta_{вд}$ - похибка встановлення деталі;

$\Delta_{лп}$ - похибка передавального пристрою;

$\Delta_{вз}$ - похибка вимірювального засобу;

$\Delta_{взв}$ - похибка встановлення засобу вимірювання;

$\Delta_{від}$ - похибка відліку.

$$\Delta_{від} = 0,2 j = 0,2 \times 0,001 = 0,0002 \text{ мм.}$$

Таким чином:

$$[\Delta]_{вим} = \sqrt{0,005^2 + 0,0003^2 + 0,0004^2 + 0,001^2 + 0,0002^2} = 0,005 \text{ мм} < \Delta_{вим} = 0,0125 \text{ мм.}$$

Умова працездатності пристрою виконується.

4.3 Розроблення конструкції та виконання розрахунків різального інструменту

Збірна торцева фреза з механічним кріпленням п'ятигранних непереточуваних пластин (рис. 4.6) використовується під час виконання операції 010 — фрезерування торцевих площин деталі кришка нижня, що здійснюється на карусельно-фрезерному верстаті моделі ЛГ22.

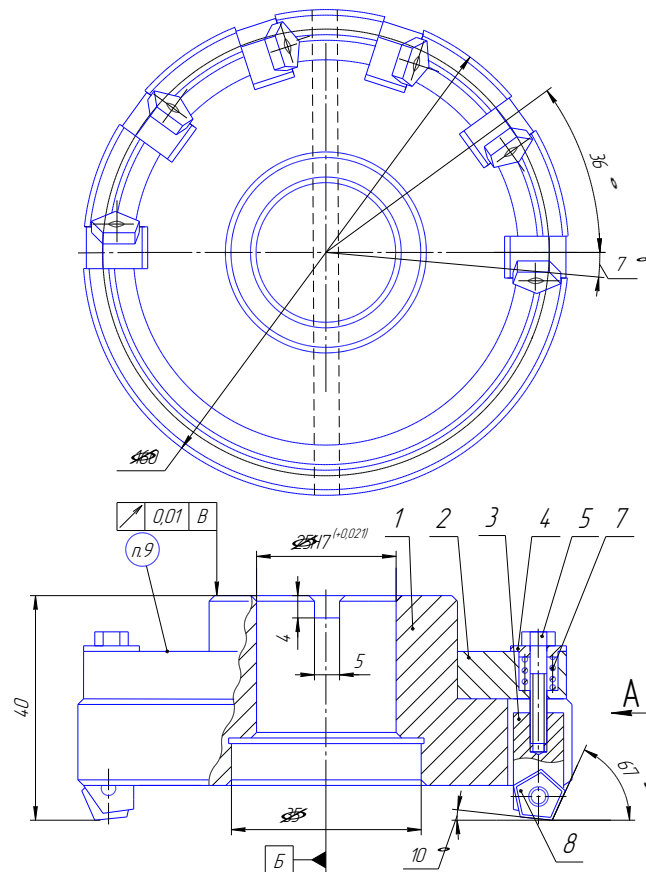


Рис. 4.6 Конструктивне виконання збірної насадної торцевої фрези з механічним кріпленням п'ятигранних пластин

Торцева фреза конструктивно складається з корпусу 1, на якому встановлюється кільце 2. Державки 3 оснащені штифтами 6, на які монтуються багатогранні різальні пластини 8. Фіксація пластин відносно базових поверхонь корпусу 1 здійснюється за допомогою гвинта 5 через кільце 2. Для полегшення процесу складання та заміни пластин у конструкції передбачено використання пружин 7.

Запропонована конструкція фрези відзначається простотою експлуатації, забезпечує підвищену стійкість інструмента та зменшення витрат на його експлуатацію. У разі зносу однієї з різальних граней пластину повертають, після чого в роботу вводиться наступна різальна грань. Після повного зношування всіх різальних кромek здійснюється заміна комплекту пластин. Операції повороту або заміни пластин можуть виконуватися безпосередньо на верстаті без демонтажу інструмента.

Геометричні параметри різальної частини фрези визначаються таким чином:

$$\gamma = -10^{\circ} \div 0$$

$$\alpha = 8 \div 15^{\circ}$$

$$\lambda = 8 \div 10^{\circ}$$

Кути в плані можуть мати значення в межах $35 \div 67^{\circ}$. Допоміжний кут в плані $\gamma_1 = 10 \div 15^{\circ}$.

Характерною особливістю торцевих фрез із непереточуваними пластинами є жорстко фіксоване положення різальних елементів відносно корпусу інструмента, внаслідок чого геометричні параметри фрези залишаються незмінними в процесі експлуатації. Точність взаємного розташування різальних кромek при цьому визначається точністю виготовлення базових поверхонь корпусу фрези, а також точністю виконання самих різальних пластин.

Конструкція пластин може передбачати наявність додаткових елементів, зокрема радіусів заокруглення головної різальної кромки, стружколамаючих уступів або інших конструктивних елементів, спрямованих на покращення процесу різання. Крім того, для підвищення зносостійкості та довговічності інструмента різальні пластини можуть мати одношарові або багатшарові зносостійкі покриття.

Виліт державки відносно корпусу фрези за умови її консольного розміщення не повинен перевищувати допустимих значень, які визначаються з умови забезпечення необхідної жорсткості та стабільності процесу різання:

$$h = \ell_n + (3 \div 5) \text{ мм},$$

де ℓ_n - проекція різальної кромки пластини на площину, паралельно вісі фрези і перпендикулярно до основної площини ножа.

Тоді:

$$h = 9 + (3 \div 5) = 14 \text{ мм}.$$

Матеріал різальних пластин - твердий сплав марки ВК6 по ГОСТ 3882-74. Твердість $HRA \geq 88,5$.

Матеріал корпусу та кільця фрези - сталь 40Х по ГОСТ4543-71. Твердість HRC 40...50.

Матеріал державок - У10 ГОСТ4543-71. Твердість HRC 63...65.

4.4 Висновки

Розроблена конструкція затискного пристрою забезпечує оперативне та надійне закріплення деталі кришка нижня у процесі її виготовлення, що сприяє підвищенню точності та якості механічної обробки.

Спроектований контрольний пристрій дозволяє виконувати перевірку відхилення від паралельності поверхонь деталі, допустиме значення якого становить 0,05 мм.

Також розроблено конструкцію збірної торцевої фрези з механічним кріпленням п'ятигранних непереточуваних пластин, застосування якої забезпечує обробку поверхонь з установленими показниками точності та якості.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

5.1 Організаційна частина

Розрахунок програми запуску деталей. Вхідні данні для розрахунку зведемо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вхідні данні для розрахунку

Показники	Кришка нижня
Маса деталі, кг	0,616
Маса заготовки, кг	0,800
Річна програма випуску вузлів, шт./рік	8500
Кількість деталей у вузлі, шт.	1
Матеріал	AK12M2

Річну програму запуску деталей у виробництво визначаємо за формулою:

$$N_z = N_e + N_{zc} + N_{bp}$$

N_e – програма випуску;

N_{zc} – кількість деталей на запчастини;

N_{bp} – кількість деталей, що компенсують технологічно неминучий брак.

$$N_{bp} = (N_e + N_{zc}) \cdot \left[\left(1 + \frac{\alpha_l}{100} \right) \left(1 + \frac{\alpha_1}{100} \right) \dots \left(1 + \frac{\alpha_m}{100} \right) - 1 \right]$$

α_l – процент браку литва;

$\alpha_1 \dots \alpha_m$ – процент технологічно-неминучого браку на операціях техпроцесу

Для деталі «кришка нижня»:

$$N_{bp} = (8500 \cdot 1 + 0) \cdot \left[\left(1 + \frac{2}{100} \right) \left(1 + \frac{1}{100} \right)^6 - 1 \right] \approx 703 \text{ шт.}$$

$$N_z = 8500 \cdot 1 + 0 + 703 = 9203 \text{ шт.}$$

Розрахунок потрібної кількості обладнання на кожній деталі-операції:

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

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

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання ($F_{дрм} = 3890$ год.);

k_e – нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,0-1,1).

$$q_{p(010)} = \frac{9203 \cdot 1,3}{3890 \cdot 60} = 0,05$$

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	t_{um} , хв.	q_p	q_{np}	η	$\bar{\eta}$
010	1,3	0,05	1	0,05	0,07
015	0,75	0,03	1	0,03	
020	0,75	0,03	1	0,03	
025	8,93	0,35	1	0,35	
030	1,27	0,05	1	0,05	
035	0,66	0,03	1	0,03	
050	0,97	0,04	1	0,04	
065	1,63	0,06	1	0,06	
075	0,65	0,03	1	0,03	
095	0,68	0,03	1	0,03	
Σ	17,59	0,7	10	0,7	

Коефіцієнт завантаження обладнання на кожній деталі-операції:

$$\eta_{(i)} = \frac{\sum_1^m q_{p(i)}}{\sum_1^m q_{np(i)}}$$

Та середній коефіцієнт завантаження обладнання в техпроцесах механічної обробки деталей:

$$\bar{\eta} = \frac{0,7}{10} = 0,07$$

Відповідно до отриманих значень середнього коефіцієнта завантаження обладнання уточнюємо тип виробництва даної деталі – середньосерійний (СС).

Розрахункова партія деталей:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{um}^{\min}},$$

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

$t_{um}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,65} \approx 338 \text{ шт.}$$

Кількість партій деталей протягом року:

$$A_p = \frac{N_3}{n_p} = \frac{9203}{338} = 27$$

Відповідно до отриманого значення A_p обираємо найближче до нього значення A_{np} з уніфікованого ряду:

$$A_{np} = 24$$

і коригуємо розрахункову партію деталей:

$$n_{np} = \frac{N_3}{A_{np}} = \frac{9203}{24} \approx 384.$$

Тривалість операційного циклу обробки партії деталей:

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

де $t_{\kappa\partial}$ – калькуляційно-дійсний час на детале-операції, хв.

$$t_{\kappa\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{q_{(i)} \cdot p_{m(i)} \cdot k_6} + \frac{t_{nз(i)}}{n_{np}},$$

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

$$t_{\kappa-\partial(010)} = \frac{1,3}{1 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{35}{384} = 1,39 \text{ хв.}$$

Виконані розрахунки зведемо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Розрахунок тривалості операційного циклу

№ операції	$t_{\kappa\partial}$, хв.	T_o , дн.
010	1,39	0,61
015	0,77	0,34
020	0,77	0,34
025	9,15	3,99
030	1,3	0,57
035	0,69	0,30
050	1,00	0,47
065	1,74	0,76
075	0,68	0,30
095	0,71	0,31
Σ	18,20	7,99

Приймаємо для деталі кришка нижня послідовний рух партії деталей, який застосовується при тривалості циклів не більше двох днів.

Тривалість технологічного циклу при послідовному русі партії деталей:

$$T_n = \sum_1^m T_o + m \cdot t_{mo}$$

t_{mo} – міжопераційний час. Приймаємо $t_{mo} = 0,1$ дн.

$$T_n = 7,99 + 10 \cdot 0,1 = 8,99 \text{ дн.};$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_{np}} = \frac{252}{24} = 10,5 \text{ роб. днів},$$

де T_p – в кількість робочих днів протягом року.

Графік руху партії деталі кришка нижня представлено на рис. 5.1.

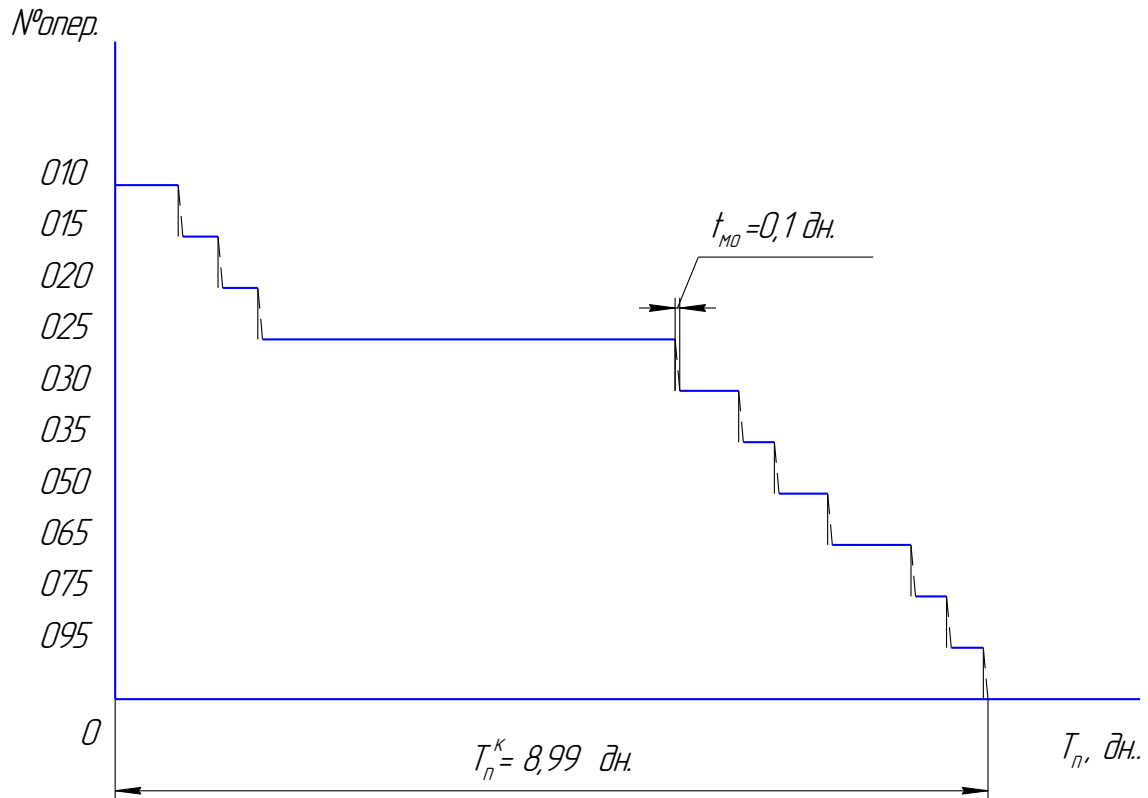


Рис. 5.1 Графік послідовно руху партії деталей кришка нижня

Середній розмір циклового запасу деталей:

$$Z_y = \frac{n_{np} \cdot T_y}{R_z} = \frac{384 \cdot 8,99}{10,5} = 329 \text{ шт.}$$

Чисельність основних виробничих робітників цеху:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{dp} \cdot k_{вн}},$$

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

$$T_p = \frac{N_z \cdot \sum_1^m t_{um} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha) \cdot K_{дог}}{60}$$

k_m – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування;

F_{dp} – річний фонд робочого часу одного робітника, год.;

α – процент додаткових робіт.

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

$$K_{дог} = \frac{\eta_{зн}}{\bar{\eta}} = \frac{0,85}{0,07} = 12,1,$$

$$T_p = \frac{9203 \cdot 17,59 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot 12,1}{60} = 39180 \text{ нормо-год.};$$

Чисельність робітників:

$$R_o = \frac{39180}{1840 \cdot 1,0} \approx 21 \text{ особа.}$$

Виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{39180}{21} = 1866 \text{ нормо-год./ос}$$

5.2 Розрахунок планової цехової собівартості

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + Z_{op} + B_{соц} + B_{co} + B_o + B_{ц},$$

де M_o – вартість основних матеріалів, грн.:

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

$B_{соц}$ – відрахування на соціальні потреби (ЄСВ), грн.;

B_{co} – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

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

$B_{ц}$ – цехові витрати, грн.

Витрати на основні матеріали

$$M_o = a_{\partial} \cdot \Pi_m \cdot K_{mp} - a_{\epsilon} \cdot \Pi_{\epsilon}$$

a_{∂} , a_{ϵ} – відповідно маса деталі та відходів, кг;

Π_m , Π_{ϵ} – відповідно ціна матеріалу та відходів, грн/кг;

K_{mp} – коефіцієнт, який враховує транспортні витрати.

$$M_o = 0,616 \cdot 165,0 \cdot 1,05 - 0,184 \cdot 48,0 = 97,890 \text{ грн.}$$

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{\epsilon} (1 + K_{\partial}),$$

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

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{2од_i}^{\epsilon} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60},$$

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

Таблиця 5.4

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	$t_{шт-к, хв.}$	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
010	1,39	2	67,478	1,5632
015	0,77	3	82,813	1,0628
020	0,77	3	82,813	1,0628
025	9,15	4	92,015	14,0323
030	1,3	2	67,478	1,4620
035	0,69	3	82,813	0,9523
050	1,00	3	82,813	1,3802
065	1,74	3	82,813	2,4016
075	0,68	2	67,478	0,7648
095	0,71	3	82,813	0,9800
Σ	18,20	-	-	25,662

K_d – коефіцієнт додаткової заробітної плати.

$$Z_{од} = 25,662 \cdot (1 + 0,1) = 28,228 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок) складає 22% від суми основної та додаткової заробітної плати виробничих робітників:

$$B_{соц} = 28,228 \cdot 0,22 = 6,210 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 40-55 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{co} = \frac{45 \cdot 17,59}{60} = 13,193 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{\Pi_{eo}}{100},$$

де Π_{eo} – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o – основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

$$B_o = \frac{25,662 \cdot 320}{100} = 82,118 \text{ грн.}$$

Цехові витрати в собівартості деталі:

$$B_y = Z_o \cdot \frac{\Pi_y}{100},$$

де Π_y – процент цехових витрат

$$B_{\text{ц}} = \frac{25,662 \cdot 240}{100} = 61,589 \text{ грн.}$$

Калькуляцію цехової собівартості деталей зведемо до табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Калькуляція цехової собівартості деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	97,890
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	25,662
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2,566
4.	Відрахування у соціальні фонди	6,210
5.	Експлуатація спеціального оснащення	13,193
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	82,118
7.	Цехові витрати	61,589
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	289,228

5.3 Аналіз варіантів технологічних процесів

Аналіз ведеться по деталі кришка нижня. П'ять операцій базового технологічного процесу замінено на 1 операцію, яка виконується на оброблюючому центрі з ЧПУ (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Характеристика змін при обробці деталі кришка нижня

Номер опер.	Базовий варіант		Номер опер.	Проектний варіант	
	Модель обладнання	$t_{\text{шт}}$, хв.		Модель обладнання	$t_{\text{шт}}$, хв.
025	AM13136	2,66	025	HAAS EC-400	8,93
030	2H135	2,60			
035	6P81Г	0,59			
040	2H125	0,49			
045	2H125	0,38			
	Σ	6,72		Σ	8,93

Порівняння ведеться на базі технологічної собівартості за принципом відхилень:

$$C_{\text{тех}} = a \cdot N_{\text{з}} + b$$

a – змінні витрати;

b – постійні витрати.

Розрахунок змінних витрат:

$$a = M_o + 3_{\text{одз}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{дм}} + C_{\text{ур}} + C_{\text{ам}} + B_{\text{ен}},$$

M_o – витрати на основні матеріали – не змінюються, тому не розраховуються;

$Z_{одз}$ – основна та додаткова заробітна плата з відрахуваннями, грн.

$$Z_{одз} = \frac{l_{ум}}{60} \cdot l_{зод} \cdot k_{zn}$$

k_{zn} – коефіцієнт додаткової заробітної плати ($k_{zn} = 1,342$)

$$Z_{одз}^{баз} = \left(\frac{67,478}{60} (2,6 + 0,49 + 0,38) + \frac{82,813}{60} \cdot (2,66 + 0,59) \right) \cdot 1,342 = 11,257 \text{ грн.}$$

$$Z_{одз}^{np} = \frac{92,015}{60} \cdot 8,93 \cdot 1,342 = 18,379 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.7

Характеристика обладнання

№ з\п	Модель обладнання	Габаритні розміри, м×м	Потужність двигунів, кВт	Група ремонтної складності, УРО	Площа в плані, м ²	Оптова ціна, грн.
1	HAAS EC-400	3,085×2,0	6,3	32	6,17	2800000
2	6P81Г	1,48×1,99	5,5	16	2,95	256000
3	2Н125	0,915×0,785	2,2	8	0,72	84000
5	2Н135	1,03×0,825	4,0	9	0,85	145000
6	AM13136	5,3×4,85	60,0	22	25,71	580000

Витрати на силову електроенергію:

$$C_{ел} = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_{oi} \cdot K_n \cdot K_r}{\eta_o \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_{ел},$$

де N_{ϵ} – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

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

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (0,6...0,7 – для токарних і свердлильних верстатів);

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

η_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\epsilon}=0,92\dots0,96$;

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

$C_{ел}$ – ціна 1 кВт-год електроенергії - ціна силовій електроенергії, грн/кВт.

$$C_{ел(025)}^{баз} = \frac{60 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,3}{0,9 \cdot 0,95} \cdot \frac{2,66}{60} \cdot 18,10 = 0,11 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.8

Розрахунок витрат на електроенергію силову

Номер опер.	Базовий варіант			Номер опер.	Проектний варіант		
	N_{θ} , кВт	$t_{ум}$, хв.	$C_{ел}$, грн.		N_{θ} , кВт	$t_{ум}$, хв.	$C_{ел}$, грн.
025	60	2,66	8,295	025	6,3	8,93	3,017
030	4	2,6	0,754				
035	5,5	0,59	0,151				
040	2,2	0,49	0,045				
045	2,2	0,38	0,038				
Σ			9,283	Σ			3,017

Витрати на ремонт

$$C_{рем} = \frac{W \cdot R \cdot K_e \cdot K_{ел} \cdot t_{ум}}{T_{рц} \cdot 60}$$

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

R – категорія ремонтної складності механічної частини обладнання, УРО;

$T_{рц}$ – тривалість ремонтного циклу, год.

$$C_{рем(025)}^{баз} = \frac{980 \cdot 22 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 2,66}{20400 \cdot 60} = 0,073 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.9

Розрахунок витрат на ремонт

Номер опер.	Базовий варіант				Номер опер.	Проектний варіант			
	R	W	$t_{ум}$, хв.	$C_{рем}$		R	W	$t_{ум}$, хв.	$C_{рем}$
025	22	980	2,66	0,073	025	32	576	8,93	0,357
030	9	980	2,6	0,029					
035	16	980	0,59	0,012					
040	8	980	0,49	0,005					
045	8	980	0,38	0,004					
Σ				0,123	Σ				0,357

Витрати на допоміжні матеріали

$$C_{он} = \frac{M_{\text{св}} \cdot R \cdot t_{ум}}{60} \cdot K_n$$

K_n – коефіцієнт типу виробництва;

$M_{\text{св}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, грн.

$$C_{он}^{баз} = \frac{0,785 \cdot 1,0}{60} \cdot [22 \cdot 2,66 + 9 \cdot 2,6 + 16 \cdot 0,59 + 8 \cdot (0,49 + 0,38)] = 1,570 \text{ грн}$$

$$C_{он}^{np} = \frac{0,785 \cdot 1,0}{60} \cdot 32 \cdot 8,93 = 3,739 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{od} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{zn}} \cdot \frac{t_{um}}{60},$$

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

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

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

$$B_{en(025)}^{баз} = \frac{25,71 \cdot 1,5 \cdot 720 \cdot 2,66}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,372 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.10

Розрахунок витрат на експлуатацію приміщення

Номер опер.	Базовий варіант				Номер опер.	Проектний варіант			
	S_{od}	k_f	t_{um}	B_n		S_{od}	k_f	t_{um}	B_n
025	25,71	1,5	2,66	0,372	025	6,17	2,5	8,93	0,500
030	0,85	4,0	2,6	0,032					
035	2,95	3,5	0,59	0,022					
040	0,72	4,0	0,49	0,005					
045	0,72	4,0	0,38	0,004					
Σ				0,436	Σ				0,500

Амортизація універсального обладнання:

$$C_{аму} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{um}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_n \cdot 100}$$

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

$$\Phi_{бал} = \Pi_{онт} \cdot K_{тмф},$$

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

$K_{тмф}$ – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08).

Прийmemo $K_{тмф} = 0,19$;

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

Оскільки в базовому варіанті на операції 025 використовується спеціальне обладнання, розрахунок проведемо для операцій 030-045:

$$C_{ам(030)}^{баз} = \frac{172550 \cdot 20 \cdot 0,59}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85 \cdot 100} = 0,095 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.11

Розрахунок амортизації універсального обладнання

Номер опер.	Базовий варіант			Номер опер.	Проектний варіант		
	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{шт}$, хв.	$C_{ам}$, грн.		$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{шт}$, хв.	$C_{ам}$, грн.
030	172550	2,6	0,453	025	3132000	8,93	28,248
035	304640	0,59	0,182				
040	99960	0,49	0,049				
045	99960	0,38	0,038				
Σ	677110		0,722				28,248

Розрахунок постійних витрат:

Постійні витрати:

$$b = Z_{нал} + C_{en} + C_{ам.сп},$$

де $Z_{нал}$ – затрати на налагодження обладнання, грн.

$$Z_{нал} = \frac{t_{пз}}{60} \cdot l_{год}^{нал} \cdot A \cdot K_{зн}$$

$l_{год}^{нал}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду, грн/год.

$$Z_{нал}^{баз} = \frac{(38 + 12 + 18 + 10 + 10) \cdot 104,283}{60} \cdot 24 \cdot 1,342 = 4926,16 \text{ грн}$$

$$Z_{нал}^{пр} = \frac{52 \cdot 122,688}{60} \cdot 24 \cdot 1,342 = 3424,66 \text{ грн.}$$

$C_{сп}$ – витрати на спеціальне оснащення.

В проектному варіанті спеціальним оснащенням є керуючі програми для верстатів з ЧПУ.

$$C_{сп} = 0,6 \cdot S_n$$

S_n – вартість спеціального програмного забезпечення, грн.

$$S_n^{прогр} = T_{прогр} \cdot l_{год}^{пр} \cdot K_{зн}$$

$T_{прогр}$ – трудомісткість розробки програми, год. (для проектного варіанту розрахована у табл. 6.8);

$l_{год}^{пр}$ – середньогодинна заробітна плата програміста;

$K_{зн}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову зарплаті і відрахування на соціальні потреби.

Таблиця 5.12

Розрахунок трудомісткості керуючої програми в проектному варіанті

№ опер.	Кількість поверхонь	Кількість розмірів	Трудомісткість розробки, нормо-год.				
			операцій-ної карти	керуючої програми	налагодження інструменту	карти кодування	загальна
025	34	60	13,4	7,2	1,1	3,2	24,9

$$S_{n(025)}^{np} = 24,9 \cdot 128,125 \cdot 1,342 = 4281,40 \text{ грн.}$$

$$C_{en}^{np} = 0,6 \cdot 4281,4 = 25,68 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію спеціального обладнання:

$$B_{ам.сп} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a}{100},$$

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

$$B_{ам.сп}^{баз} = \frac{580000 \cdot 1,19 \cdot 20}{100} = 138040,0 \text{ грн}$$

Розрахунок технологічної собівартості: усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 5.13.

Таблиця 5.13

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1	2	3	4
1.	<u>Змінні витрати а</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	11,257	18,379
1.2	Електроенергія силова	9,283	3,017
1.3	Ремонт обладнання	0,123	0,357
1.4	Матеріали допоміжні	1,570	3,739
1.5	Амортизація універсального обладнання	0,722	28,248
1.6	Експлуатація приміщень	0,436	0,500
	Всього змінних витрат	23,391	54,240
2.	<u>Постійні витрати б</u>		
2.1	Налагодження обладнання	4926,16	3424,66
2.2	Амортизація спеціального обладнання	138040,00	-
2.3	Програмне забезпечення	-	25,68
	Всього постійних витрат	142966,20	3450,34
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	358234	502621

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 23,391 \cdot 9203 + 142966,20 = 358234 \text{ грн.}$$

$$C_{тех.пр} = 54,240 \cdot 9203 + 3450,34 = 502621 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей кришка нижня $N_3=9203$ шт. є базовий 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 $C_{тех.баз}=C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{b_{баз} - b_{пр}}{a_{пр} - a_{баз}} = \frac{142966,20 - 3450,34}{54,240 - 23,391} = 4523 \text{ шт.}$$

За програми запуску деталі кришка нижня, яка перевищує 4523 шт.(у тому числі для заданої програми запуску 9203 шт.) доцільно застосовувати базовий варіант технологічного процесу її механічної обробки, а за програми запуску-випуску даної деталі, яка менше значення $N_{кр}$, ефективнішим з економічної точки зору є проєктний варіант технологічного процесу механічної обробки кришка нижня (рис. 5.2).

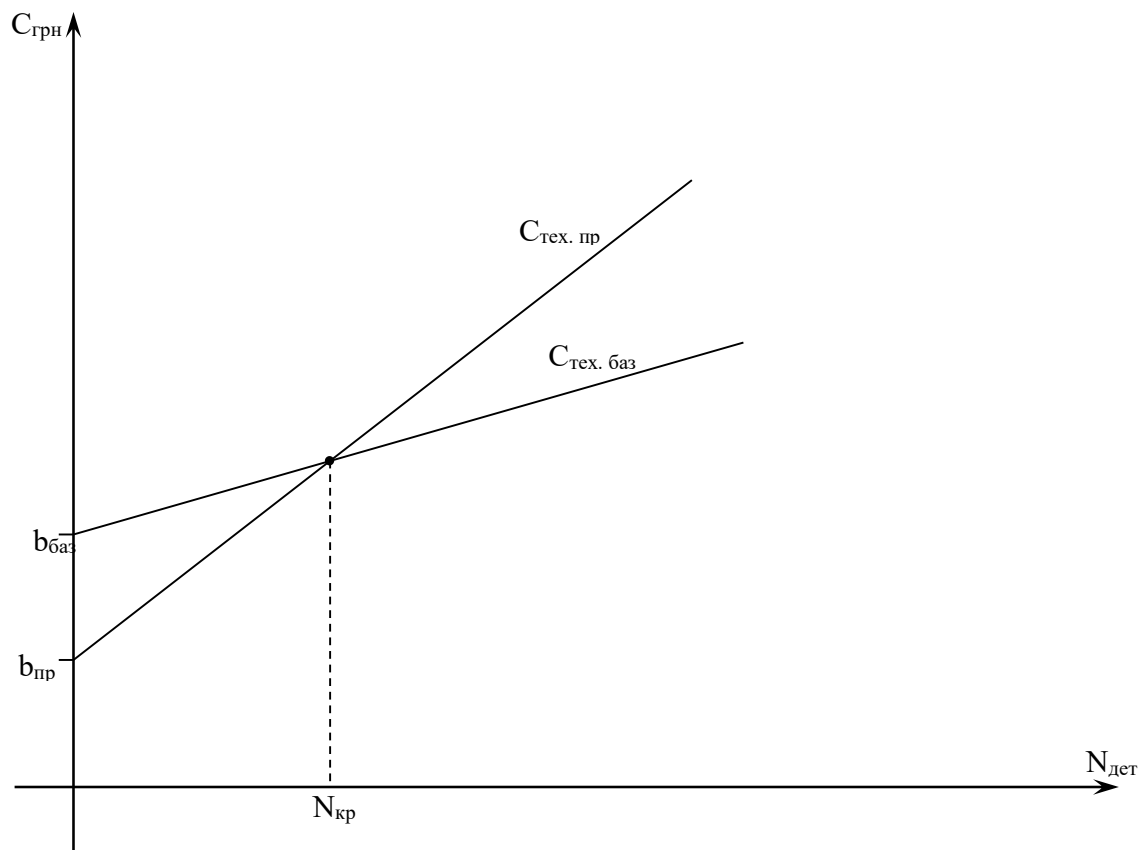


Рис. 5.2 Графік порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі кришка нижня за варіантами техпроцесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}),$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

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

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

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{zi}$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

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

де h - висота приміщення цеху, м;

$Ц_{буд}$ – ціна 1м² виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{буд.баз} = (25,71 \cdot 1,5 + 2,95 \cdot 3,5 + (0,72 \cdot 2 + 0,85) \cdot 4) \cdot 8 \cdot 5500 = 2554200 \text{ грн.}$$

$$K_{буд.нр} = 6,17 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 5500 = 678700 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{бал.баз} = 677110 + 690200 = 1367310 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{бал.нр} = 3132000 \text{ грн.}$$

$$K_{баз} = (2554200 + 1367310) \cdot 0,053 = 207840 \text{ грн.}$$

$$K_{нр} = (678700 + 3132000) \cdot 0,35 = 1333745 \text{ грн.}$$

$$E_p = (358234 + 0,16 \cdot 207840) - (502621 + 0,16 \cdot 1333745) = -324500 \text{ грн.}$$

Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках) розраховуємо за формулою:

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ум(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{ум(i)}^{нр}} \cdot 100 - 100 = \frac{8,93}{6,72} \cdot 100 - 100 = 32,9\%$$

Крім показників, розрахованих у попередніх підрозділах економічної частини роботи, слід додатково визначити такі:

- зарплатомісткість продукції:

$$З_{zn} = \frac{З_{од}}{C_y} \cdot 100,$$

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

C_y - цехова собівартість деталі, грн.

$$З_{zn} = \frac{28,228}{289,228} \cdot 100 = 9,8\% ;$$

- матеріаломісткість продукції:

$$З_{мт} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100,$$

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

$$З_{мт} = \frac{97,890}{289,228} \cdot 100 = 33,8\%;$$

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mt} = C_{ц} \cdot N_{з} \cdot K_{дов}$$

де $N_{з}$ - річна програма запуску деталей, шт./рік.

$$C_{mt} = 289,228 \cdot 12,1 \cdot 9203 = 32207,36 \text{ тис. грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 6.10.

Таблиця 6.10

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі ($N_{з}$)	шт./рік	9203
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	39180
3.	Цехова собівартість деталі	грн	289,228
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mt})	тис. грн/рік	32207,36
5.	Чисельність основних робітників	осіб	21
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год.	1866
7.	Матеріаломісткість продукції	%	33,8
8.	Зарплатомісткість продукції	%	9,8
9.	Технологічна собівартість механічної обробки деталі: - базовий (існуючий) варіант техпроцесу - проектний варіант техпроцесу	грн грн	358204 502621
10.	Критична програма випуску деталі	шт./рік	4523
11.	Зниження трудомісткості при впровадженні проектного техпроцесу	%	32,9
12.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн	-324500

5.4 Висновки

Впровадження запропонованого технологічного процесу виготовлення деталі кришка нижня при заданій програмі випуску 9203 шт. впливає на збільшення її технологічної собівартості на 144387 грн та потребує додаткових капітальних вкладень на придбання нового обладнання. Цей факт, а також більший, ніж у базовому варіанті коефіцієнт завантаження цього обладнання виробництвом даної деталі, викликало від'ємне значення економічного ефекту. Проте слід зазначити, що в базовому варіанті для розрахунку було узяті середні ціни верстатів, які були у використанні, оскільки їхні нові зразки наразі не випускаються. Придбання підприємством на вторинному ринку такого фізично та морально зношеного обладнання мало б свої негативні наслідки, а саме: збільшення витрат на його утримання і ремонт, зростання браку виготовлюваної продукції, необхідність їх скорішої заміни через неможливість подальшої експлуатації таке інше. Таким чином, впровадження проєктного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства. Тим більше, що розрахунок критичної програми випуску деталі кришка нижня показав, що базовий варіант техпроцесу демонструє позитивний економічний ефект лише за програми випуску, яка перевищує 4523 шт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології виготовлення кришки нижньої з дослідженням формоутворення внутрішніх різьбових поверхонь методом пластичної деформації» виконано дослідження способів формоутворення внутрішніх різьбових, виявлено їх переваги та недоліки.

При різанні кристалічна решітка руйнується, а при розкатуванні волокна металу стискаються і огинають контур різьби, при цьому утворюється ущільнений поверхневий шар, який має підвищену стійкість до корозії та втоми.

На основі проведеного факторного аналізу для різьби 1/4-28 UNF у сплаві АК5М7 встановлено, що домінуючим фактором впливу на енергосилові параметри є діаметр попереднього отвору. Зміна діаметра на 0,1 мм (з 6,00 до 5,90 мм) призводить до зростання крутного моменту у 2,5 рази. Вплив швидкості є вторинним, але позитивним — підвищення швидкості сприяє зниженню моменту тертя.

Оптимальним режимом визначено: Діаметр отвору 5,95...5,97 мм, швидкість різання 30...40 м/хв. Це забезпечує момент в межах 2,5–2,8 Н·м, що є безпечним для інструменту.

Здійснено детальний аудит існуючої технології виготовлення на підприємстві. На цій основі запропоновано шляхи модернізації, що дозволяють зменшити виробничі витрати та надати процесу більшої адаптивності. Обґрунтовано вибір виду заготовки, основного та допоміжного обладнання, а також інструментального забезпечення. Визначено припуски на обробку, параметри режимів різання та здійснено технічне нормування операцій.

Спроектовано та проведено розрахунки спеціального верстатного й контрольного оснащення, а також різального інструменту.

Впровадження запропонованого технологічного процесу виготовлення деталі кришка нижня при заданій програмі випуску 9203 шт. впливає на збільшення її технологічної собівартості на 144387 грн та потребує додаткових капітальних вкладень на придбання нового обладнання. Таким чином, впровадження проєктного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства. Тим більше, що розрахунок критичної програми випуску деталі кришка нижня показав, що базовий варіант техпроцесу демонструє позитивний економічний ефект лише за програми випуску, яка перевищує 4523 шт.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Thread-forming tap. Kazumitsu Harada, Hironori Yamamoto, Toshihiro Satoh. United States Patent. US 9,802,262 B2, 2017. – 13 p.
2. Thread-forming tap. Kensuke Hikosaka, Haruyasu Andoh. United States Patent. US 6,685,573 B2, 2004. – 13 p.
3. Thread forming tap and manufacturing method for thread forming tap Thread-forming tap. Kazumitsu Harada, Yousuke Suzuki. United States Patent. US 11,007,590 B2, 2021. – 11 p.
4. Thread forming tap. ANDO, Haruyasu Toyokawa-shi, Aichi 441-1231. European patent application. EP 4 549 069 A1, 2025. – 26 p.
5. Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound / V. Turych, N. Veselovska, V. Rutkevych, S. Shargorodsky // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. – Vol. 74. - P. 60-68.
6. Application of Combined Taps for Increasing the Shaping Accuracy of the Internal Threads in Aluminium Alloys / S. Bratan, P. Novikov, S. Roshchupkin // International Conference on Industrial Engineering, 2016. - Procedia Engineering 150. – P. 802 – 808.
7. Aspects of design of experiments on machining technology by forming the internal threads / Sandor Ravai-Nagy¹, Nicolae Medan¹, Ferencz Szigeti // MATEC Web of Conferences 137, 2017.
8. Cold thread Forming – the chipless alternative for high resistant internal threads / Roland Heiler // MATEC Web of Conferences 251, 02046, 2018.
9. Performance of Internal Thread Rolling Head and The Mechanical Properties of Rolled Thread / H. Sağlam¹, R. Kuş // 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, 2011.
10. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002..
11. Litvin F.L. Gear Geometry and Applied Theory, Prentice Hall, New Jersey, 1994. - 724p.
12. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проєктуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проєкту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». /Укл. Журило І.В., Романюк Л.М. Кропивницький: ЦНТУ, 2017 25 с.