

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення ступиці БМД 52.102

з дослідженням процесу обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Виконав(ла):

студент(ка)

VI курсу, групи МТМ-61

спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Ногачівський Н.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пилипець М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач

кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2020

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри доц. Окіпний І.Б.

2020р.

ЗАВДАННЯ **НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Ногачівський Назар Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи). Розроблення технології виготовлення ступиці БМД 52.102
з дослідженням процесу обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Керівник проекту (роботи) Пилипець М.І., д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 28.09. 2020 року № 4/7-686

2. Термін подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Базовий ТП виготовлення деталі.

2. Програма випуску – 6 500 шт/рік. 3. Креслення ступиці БМД 52.102

4. Нормативні документи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина.

4. Проектна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Карти технологічних наладок, креслення верстатних пристроїв, креслення контрольного

приспосіблення, креслення заготовки, креслення дільниці механоскладального цеху, результати

виконання науково-дослідної роботи

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Розвиток сучасного машинобудування тісно пов'язаний із необхідністю створення нової техніки, правильного використання ресурсів та забезпечення втілення прогресивних технологій, які б сприяли зменшенню енергозатрат та матеріаломісткості виробництва. Для виконання перелічених умов, деталі та вузли механізмів і машин повинні характеризуватися високою надійністю та довговічністю. Ці важливі якісні показники машинобудівних виробів значною мірою визначаються станом їх поверхневих шарів, які в умовах експлуатації піддаються інтенсивним механічним, тепловим, корозійним та іншим діям.

Метою дослідження є удосконалення процесу виготовлення ступиці БМД 52-102 дослідженням процесу обробки зовнішніх циліндричних поверхонь.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення ступиці

Предмет дослідження – технологічні параметри процесу різання.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням основних положень технології машинобудування, а також статистичного та графічного методів.

Наукова новизна: Досліджено методи обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, вибрано оптимальний метод - точіння та проведено аналіз експериментальних залежностей, що відповідають досліджуваному діапазону режиму різання для вказаних в технологічному процесі матеріалів інструменту і заготовки.

Практичне значення Запропоновано новий технологічний процес, виготовлення ступиці, який може бути впроваджений у виробництво та досліджено процес обробки зовнішніх циліндричних поверхонь.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 80 сторінок, у тому числі 27 рисункsd, 15 таблиць, бібліографії із 25 джерел на трьох сторінках

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ

ВСТУП

1	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1	Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи	8
1.2	Методи вирішення поставлених задач	11
1.3	Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу	15
2	НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	16
2.1	Характеристика об'єкту або предмету дослідження	16
2.2	Оброблення результатів досліджень	22
2.3	Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень	24
3	ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	26
3.1	Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва	26
3.2	Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу	35
3.3	Визначення кількості обладнання	47
3.4	Конструювання спеціального оснащення та інструменту	61
4	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	69
4.1	Визначення основних і допоміжних площ цеху	69
4.2	Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці	73
4.3	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	74
	ВИСНОВКИ	79
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Машинобудівна промисловість відіграє важливу роль в прискоренні технічного прогресу, механізації та автоматизації виробничих процесів. Від ступеня розвитку машинобудівної промисловості залежить науково-технічний прогрес в народному господарстві. Особлива увага приділяється раціональному використанню матеріалів, створення економічних конструкцій машин і технологічних процесів, а також покращення техніко-експлуатаційних показників різних машин та механізмів.

В розвитку технології обробки металів за остання роки відбуваються принципові зміни технологічних процесів на основі використання високопродуктивного обладнання з ЧПУ, створення роботизованих верстатних комплексів і гнучких виробничих систем з керуванням від ЕОМ, підвищення розмірної та геометричної точності, яка досягається при обробці – таким є перелік найважливіших напрямів розвитку технології механічної обробки в машинобудуванні.

Освоєння машинобудівними підприємствами нової технологічної документації і впровадження ЄСКД створили передумови для розробки і впровадження автоматичних систем управління технологічними процесами в цехах.

Основним завданням магістерської роботи є удосконалення вже існуючого заводського технологічного процесу шляхом впровадження нових технологій обробки і використанням більш нового обладнання. Результатом роботи буде удосконалений технологічний процес обробки деталі, розробка спеціальних пристосувань для механічної обробки, використання більш нового і точного обладнання для механічної обробки деталі.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.

Актуальність теми роботи

В технології машинобудування якість поверхонь деталей машин розглядається у вихідному стані та у експлуатаційному стані (рис. 1.1). Вона визначається геометрією поверхні, будовою і фізичними та хіміко-механічними властивостями поверхонь шарів і напруженнями в них. Із зміною поверхневого шар деталей машин в більшості випадках починається втрата деталлю свого службового призначення та її вихід з ладу, наприклад, спричиненого зносом та корозією.

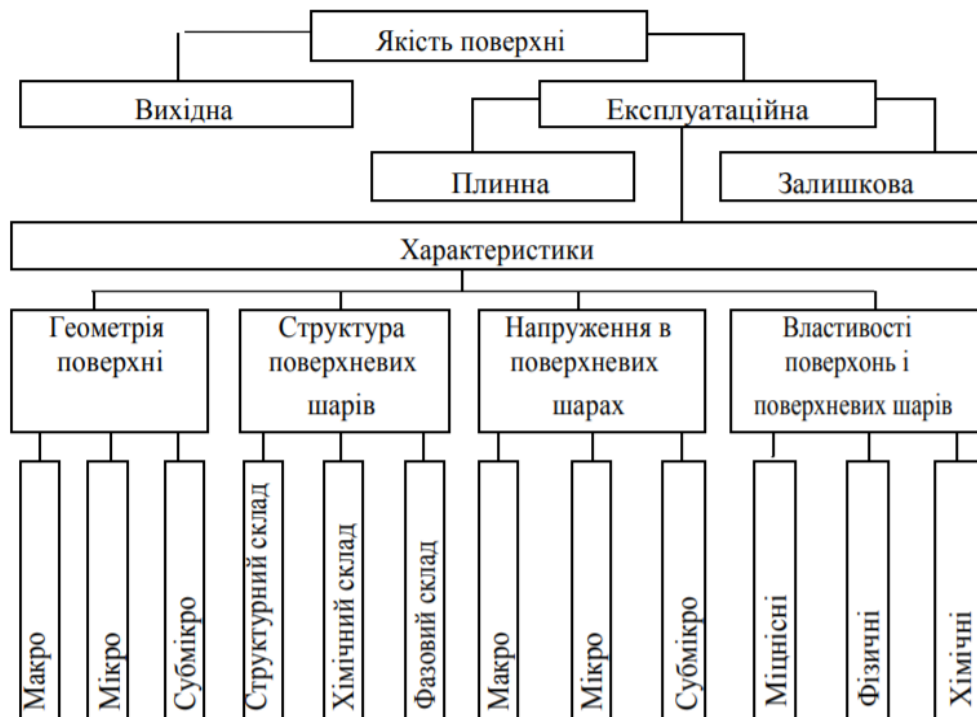


Рис.1.1- Показники якості поверхонь деталей машин

Традиційні матеріали не завжди можуть забезпечити високі вимоги сучасного машинобудівного виробництва. І як вирішення цієї проблеми, вчені та інженери пропонують використовувати захисні покриття. Використання покриття дозволяє основу деталі виготовляти із іншого матеріалу, що забезпечує її міцність та конструктивні параметри. На сьогоднішній день відомо багато методів отримання захисних покриттів. Для того щоб вибрати покриття необхідно враховувати вимоги

виробництва. Наприклад, електродугова металізація, характеризується високою продуктивністю, простотою, можливістю формування покриттів, включаючи композиційні, значні товщини різного призначення: зносостійких, антикорозійних або жаростійких.

У літературних джерелах, які присвячені вивченню проблем застосування процесів різання, достатньо багато уваги приділяється вибору виду обробки, виду матеріалів різальної частини інструментів, припускам, режимам різання [18].

Після нанесення покриття поверхні деталей досить часто не відповідають зазначеним показникам точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, які мають суттєвий вплив на експлуатаційні показники сучасних машин і механізмів. Недоліком використання газотермічних покриттів для різних деталей є те, що у більшості випадках дані деталі потребують проведення наступної механічної обробки їх поверхні. В машинобудуванні найбільш поширеним видом обробки є механічна обробка різанням.

Різання металів - це складний процес, який відбувається при високих швидкостях, температурах і тисках. Дані фактори діють на різець і оброблювану заготовку. Технологічний процес проходить таким чином, що шар металу, який знімається піддається значним пружнопластичним деформаціям в результаті взаємодії його з ріжучим лезом інструменту. Це спричиняє структурні зміни в поверхневому шарі деталі, що проникає на значну глибину, руйнуванням шару, що знімається, тертям, великою усадкою стружки, зношенням ріжучого інструменту. Великі зміни зазнає поверхневий шар, де виникають залишкові напруження різних знаків і інтенсивності, а також наклеп. Дані фактори визначають фізико-механічні та експлуатаційні властивості обробленої поверхні і, тим самим, впливають на ресурс виготовлених деталей машин, а також на надійність і безвідмовність роботи. Для забезпечення процесу різання необхідно, щоб ріжучий клин володів певною геометрією. А саме, наявністю переднього і заднього кутів, кута в плані, кута нахилу ріжучої кромки. В процесі розвитку машинобудування вирішувалося питання забезпечення оптимальних співвідношень між перерахованими вище параметрами, та міцністю інструменту, продуктивністю обробки і якістю обробленої поверхні. В

наш час отримані численні результати, наведені у вигляді довідників і нормативних даних по вибору інструментального матеріалу, режимів різання та геометричних параметрів різального інструменту. [12]

Для детального аналізу переваг обробки різанням розглянемо умовні схеми різання при шліфуванні, точінні і розточуванні.[18] Як можна судити з розрахункової схеми, площа контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею значно перевищує площу контакту різця з деталлю (рис. 1.2).

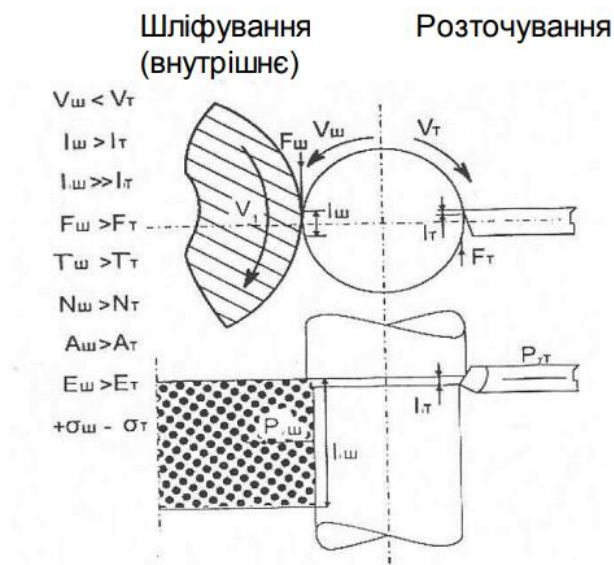


Рисунок 1.2 – Схеми контакту інструменту з поверхнею при шліфуванні та точінні

І тому робота різання та тепловиділення при шліфуванні значно більша, ніж при точінні. А отже, локальність контакту інструменту з деталлю при різанні і, як наслідок, скупчення високої температури на оброблювальній поверхні є відмітною особливістю точіння порівняно зі шліфуванням.

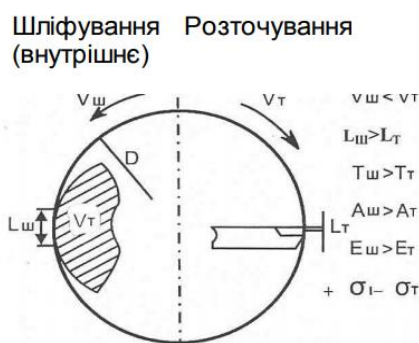


Рисунок 1.3 – Схеми контакту інструменту з поверхнею при шліфуванні та розточуванні

Якщо порівняти довжину контакту круга і різця з оброблюваною поверхнею у напрямку вектору швидкості різання, то можна побачити, що при точінні вона істотно менша. Окружна складова швидкості деталі при шліфуванні менша, ніж при точінні. Тому ще однією перевагою процесу точіння, порівняно з шліфуванням, є короткотерміновість дії високої температури на оброблену поверхню і як наслідок, висока температура не проникає на велику глибину та не спричинює структурно-фазові зміни в поверхневому шарі деталі.

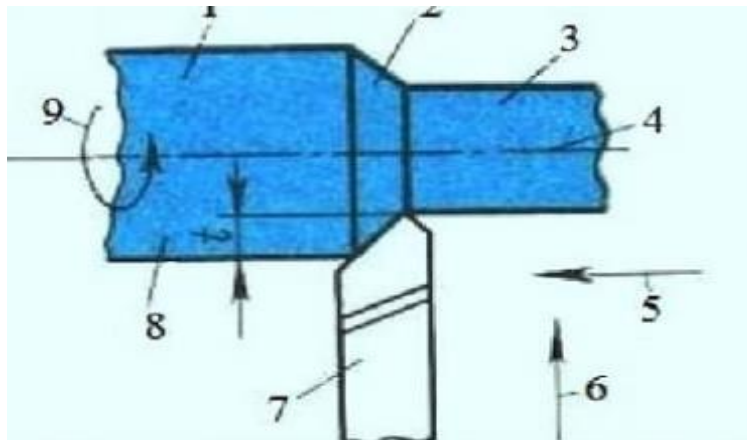
Якщо порівняти характеристики якості обробленої поверхні при шліфуванні і точінні, то можна зробити висновок, що шорсткість при точінні не поступається шліфуванню. При лезвійній обробці є можливість не застосовувати змащувально-охолоджувальні рідини, що значно покращує екологічні показники реалізації технологічного процесу. Щодо енерговитрат порівнювальних процесів, шліфування є більш витратним, оскільки питома робота різання і потужність завжди більше при шліфуванні. Враховуючи вагомість всіх технологічних показників механічної обробки, робимо висновок про те, що лезвійна обробка має ряд переваг над шліфуванням.

1.2 Методи вирішення поставлених задач

Для того, щоб оптимізувати процес точіння потрібно дотримуватися наступних правил:

- вибір правильного рішення, щоб вибрати найбільш підходящий сплав, необхідно визначити, який тип різання найбільше відповідає даним критеріям обробки;
- вибір правильної геометрії, геометрія ріжучої пластини і тип кромки грають вирішальну роль в процесі твердого точіння, так як саме вони роблять значний вплив на стійкість інструменту і продуктивність обробки;

- -вибір правильного типу ріжучої кромки - поєднання радіусу при вершині характеристика окремих елементів та їх взаємне розташування: в центральній частині
- характеристика окремих елементів та їх взаємне розташування: в центральній частині обробленої поверхні.



- Рисунок 1.3 –Схема різання

- 1 - оброблювальна поверхня, 2 - поверхня різання, 3 - оброблена поверхня, 4 – вісь обертання заготовки, 5 – поздовжня подача, 6 – поперечна подача, 7 – різець, 8 –заготовка, 9 – головний рух, t - глибина різання.

При обробці металу різанням необхідно не тільки отримати деталь певної форми, розміру і необхідної якості обробленої поверхні, але і забезпечити утворення стружки, яка легко транспортується. Це особливо важливо при високих режимах обробки на сучасних верстатах з ЧПУ, коли в одиницю часу утворюється великий об'єм стружки і необхідно забезпечити неперервну роботу обладнання, безпеку оператора і не допустити пошкодження оброблюваної деталі.



Рисунок 1.4 – Процес стружкоутворення під час виготовлення ступиці

Відділення стружки перпендикулярно оброблюваній поверхні відбувається в тому випадку, коли напрямок подачі і вісь обертання заготовки утворює прямий кут з головною різальною кромкою.

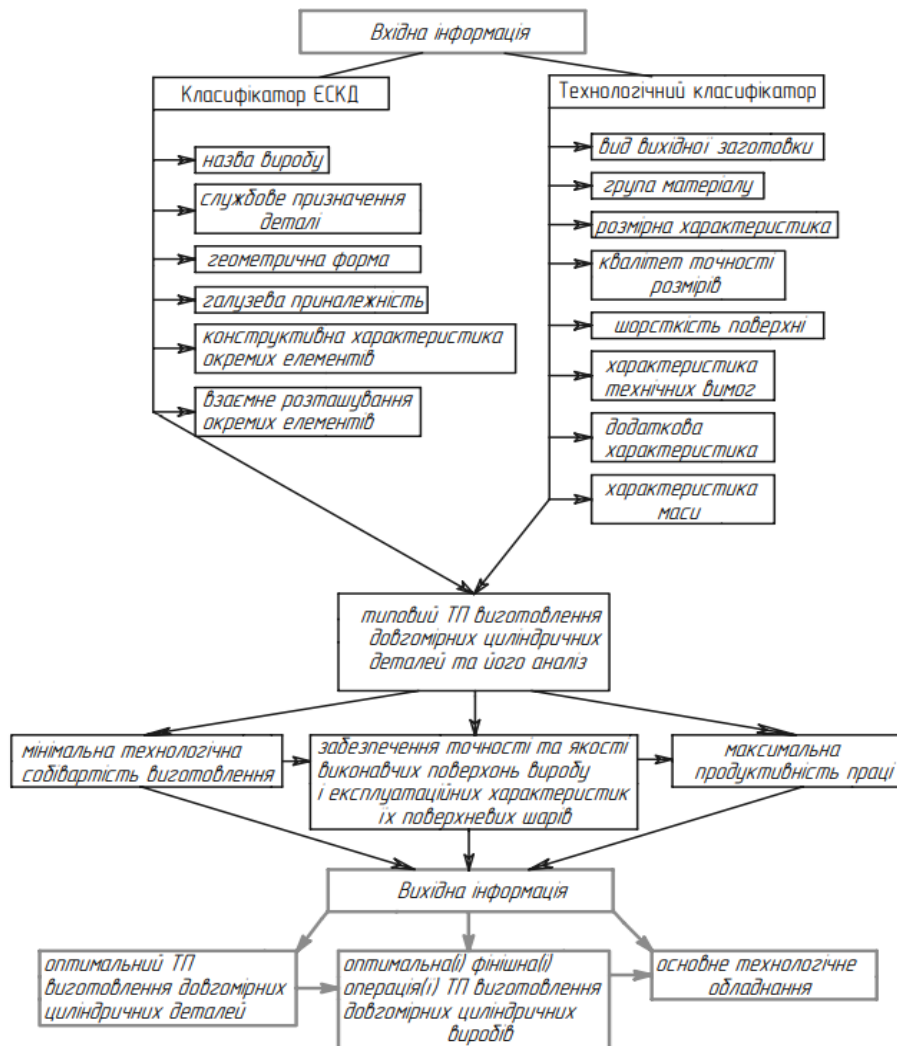


Рисунок 1.5 - Структурна схема оптимального ТП

Цей нескладний вид обробки, зустрічається тільки на деяких операціях, таких як відрізка і характеристика окремих елементів та їх взаємне розташування: в центральній ріжуча кромка розташована під певним кутом до напрямку різання. Ця зміна геометричних параметрів тягне за собою зміну напрямку сходу стружки. Найчастіше стружка має форму гвинтових спіралей, на відміну від стружки, що утворюється при відрізання і має форму циліндричної спіралі. Оптимізація процесу точіння відбувається не тільки в напрямку підвищення швидкості зняття металу, але

і з метою підвищення контрольованості процесу, що, в кінцевому підсумку, позначається на якості оброблених деталей і надійності всієї роботи.

Користуючись структурною схемою оптимального ТП [22] та фінішних операцій (рис.1.5) розглянемо вибір оптимального ТП виготовлення деталі ступиця технологію виготовлення якої ми розробляємо.

Назва виробу – ступиця. Службове призначення деталі: ступиця призначена для кріплення диску колеса і обертання колеса навколо осі ступиці. Геометрична форма: тіло обертання. Галузева приналежність: транспортне машинобудування, а саме – автомобілебудування. Конструктивна характеристика окремих елементів та їх взаємне розташування: в центральній частині ступиці розміщений отвір, в який заходить вал. Посадочна поверхня призначена для розташування в ній підшипника, і виконується згідно вимог.. Вид вихідної заготовки: лиття в кокіль. Група матеріалу – сірий чавун марки СЧ 20.

Розмірна характеристика: деталь відносять до класу фланців. Квалітет точності розмірів: найточніша поверхня (виконавча) – зовнішній діаметр – виконана за 7 квалітетом точності; найменш точні поверхні – по 14 квалітету точності. Шорсткість поверхні: шорсткість виконавчої поверхні – Ra 0.4. Характеристика технічних вимог. Головне технологічне завдання – досягнення необхідної точності виконавчих поверхонь. Технічні вимоги: Шорсткість поверхні центрального отвору становить – 2,5 мкм. Додаткова характеристика До елементів додаткової характеристики можна віднести програму випуску виробів – 6500 штук, тип виробництва – дрібносерійний. Характеристика маси: маса виробу становить - 5,1 кг.

Типовий технологічний процес оброблення ступиці складається з таких операцій механічної обробки: токарна протяжна, токарно-гвинторізна, вертикально-свердлильна, слюсарна.

Отже, при розробленні оптимального варіанту технологічного процесу виготовлення ступиці особливу увагу необхідно звернути на вибір фінішних операцій, які формують експлуатаційні показники виробів.

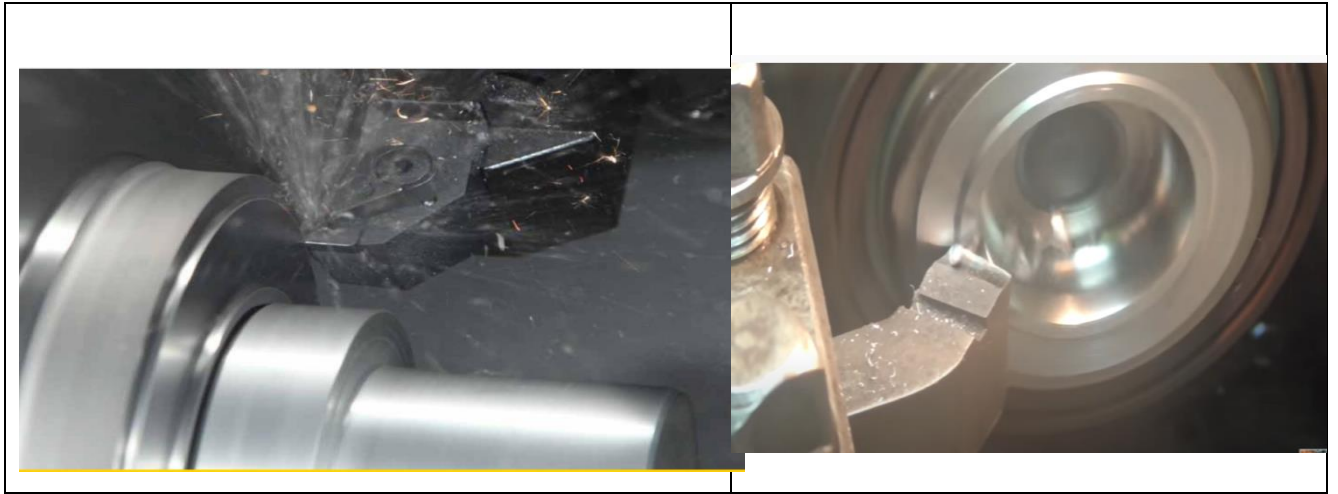


Рисунок 1.5 - Технологічний процес виготовлення ступиці

1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу

Головною задачею магістерської роботи є розроблення технології виготовлення ступиці БМД 52. 102 з дослідженням процесу обробки зовнішніх циліндричних поверхонь. Для виконання поставленого завдання необхідно вивчити прогресивні напрямки розвитку технологічних методів обробки зовнішніх циліндричних поверхонь і на основі аналізу дати свої пропозиції щодо вдосконалення техніки. Для цього слід провести вибір оптимального методу одержання заготовки, вибрати технологічні бази, вибрати оптимальний з точки зору економічності, продуктивності і точності обробки технологічний маршрут виготовлення даної деталі. Для вибраного маршруту необхідно розрахувати припуски на обробку і міжопераційні розміри, спроектувати заготовку. Важливим буде правильний вибір технологічного обладнання, організація його роботи, забезпечення його ефективного використання по потужності, часу роботи.

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Точіння - широко поширений в машинобудуванні процес механічної обробки. Для збільшення продуктивності доцільно використовувати максимально допустимі інструментом і обладнанням технологічні параметри. Однак в цьому випадку часто виникають високоамплітудні вібрації інструменту і заготовки [23], призводять до зношування інструменту і оброблюваної поверхні. З цієї причини необхідно заздалегідь визначати несприятливі режими і уникати їх в процесі обробки. На даний момент розроблено безліч моделей динаміки процесу точіння.

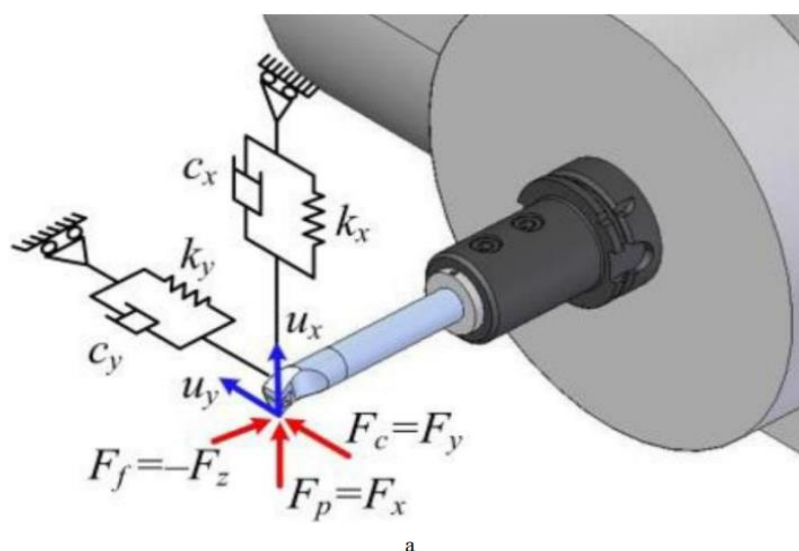


Рисунок 2.1 – Схема точіння

Зокрема, в роботі [24] використовується одноступенева модель динаміки процесу точіння для аналізу стійкості і визначення діапазону частот. В роботі [25] для аналізу стійкості процесу використовується двоступенева модель динаміки точіння. Діаграма стійкості дозволяє оцінити різні режими обробки з точки зору виникнення автоколивань (динамічної втрати стійкості регулярного процесу різання). Проводиться дискретизація ріжучої кромки, на кожній окремій ділянці визначаються сили різання і моделюється видалення матеріалу.

Структура застосовуваної імітаційної моделі динаміки просторового точіння представлена на рис. 2.1 [9]. Математична модель містить в своєму складі три основних блоки. Базовим є блок визначення взаємного положення геометричної моделі токарного різця і моделі оброблюваної поверхні, куди в якості вихідних даних завантажуються модель деталі і траєкторія інструменту. У цьому ж блоці визначається товщина зрізається. Другий блок відповідає за розрахунок сил різання як функції миттєвих значень товщини зрізаного шару. Третій блок відповідає за моделювання руху оброблюваної деталі і інструменту під дією сил різання. У загальному вигляді коливання деталі і інструменту в процесі обробки описує система неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку [9], в правій частині якої, встановлюється зв'язок з іншими блоками моделі за рахунок методу обчислення сил різання. при практичній реалізації рішення даної системи рівнянь здійснюється на базі методу скінченних елементів з використанням методу модальної суперпозиції. Для інтегрування рівнянь руху деталі та інструменту в модальному просторі застосовується схема інтегрування з ітераційним уточненням для обліку нелінійного характеру залежності сил різання від геометрії зрізаного шару і взаємних переміщень ріжучої кромки і оброблюваної поверхні. В рамках даної роботи розглядається тільки динаміка оброблюваної деталі - тонкостінної оболонки, як найбільш податливого ланки технологічної системи.

Ріжуча кромка інструменту представлена дискретною моделлю у вигляді набору точок дискретизації, з'єднаних послідовністю малих прямолінійних відрізків. На кожному часовому кроці проводиться зміна координат точок дискретизації, пов'язане з взаємним переміщенням ріжучої кромки і оброблюваної поверхні деталі за рахунок головного руху різання і переміщення подачі

Розглянемо модель динаміки просторового точіння з урахуванням динаміки деталі. Модель дозволяє не тільки визначити зусилля різання і переміщення деталі в зоні обробки, а й отримати зображення обробленої поверхні з урахуванням можливої появи вібрацій.

Механічне оброблення різанням лезовими різальними інструментами характеризується силою взаємодії робочих поверхонь леза інструменту з шаром припуску, що зрізається, та поверхнями заготовки, що обробляються. Сила взаємодії інструменту з заготовкою складається з сили утворення стружки, що необхідна для деформування шару припуску, що зрізається, в зоні різання, сили контактної взаємодії стружки з передньою поверхнею інструменту, а також сили взаємодії задніх поверхонь інструменту з поверхнями заготовки, величина якої може суттєво зростати при зношуванні поверхонь інструменту. Дві останні складові сили різання по-суті є силами тертя. Сума вказаних складових створюють силу оброблення заданої поверхні, яка є вектором і характеризується величиною та напрямом. В процесі оброблення в результаті коливання припуску на оброблення та змінності механічних характеристик оброблюваного матеріалу величина та напрям сили оброблення змінюється, що створює додаткові труднощі розрахунку характеристик процесу різання.

Для забезпечення дослідження фізичних закономірностей різних видів оброблення різанням силу оброблення розкладають на три складові в ортогональному координатному просторі осей OZ , OY та OX . Головна вісь OZ співпадає з напрямом вектору швидкості головного руху різання. Відповідно проєкцію сили оброблення на вісь OZ називають головною складовою P_z сили різання, а якщо головний рух різання обертальний, то її ще називають дотичною складовою сили оброблення.

Вісь OX співпадає з віссю головного руху різання заготовки або інструменту і називається осьовою складовою P_x сили різання. Остання, ортогональна координата OY направлена по радіусу заготовки, що оброблюється або радіусу різального інструменту і називається радіальною складовою P_y сили різання. Представлення сили оброблення її складовими забезпечує визначення характеристик процесу різання, а саме: потужності різання, точності оброблення, навантаження різального інструменту та його деформації, навантаження на елементи кінематичного ланцюга механізму подач, кількості теплоти, що виділяється в процесі різання тощо. Відповідно, знання силових характеристик

процесу оброблення дозволяє розраховувати та прогнозувати пружні деформації ТОС, теплові деформації інструменту, заготовки чи частин верстатного обладнання, умови оброблення і робити оцінку автоколивань, що виникають у пружній ТОС.

Сила оброблення визначається впливом достатньо великої кількості факторів, які діють в процесі різання, серед яких найбільший вплив створюють режим різання: h - глибина різання, S - повздовжня подача, V - швидкість різання; геометричні параметри різальної частини інструменту; фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу; фізико-механічні характеристики інструментального матеріалу, а також характеристики змащувально-охолоджувального технологічного середовища.

Математична модель для визначення головної складової сили різання:

$$P_z = k_z b^{x_{pz}} a^{y_{pz}}$$

де k_z - коефіцієнт пропорційності, який визначає вплив всіх факторів процесу оброблення за винятком ширини b та товщини a шару припуску, що зрізається. Будь-які зміни факторів процесу оброблення вимагають визначення чисельного значення цього коефіцієнта. Крім того, за заданих умов оброблення невідомими величинами в запропонованій формулі є показники степеня x_{pz} , y_{pz} для визначення яких необхідно виконати експериментальні дослідження впливу ширини b та товщини a шару припуску, що зрізається, на величину складової P_z сили різання. Для спрощення визначення складових сили різання, оброблювані матеріали були розділені на групи, для кожної з яких визначили типового представника, найбільш сприятливі умови оброблення та, на основі багаточисельних експериментальних досліджень, були встановлені нормативні значення показників степеня та коефіцієнта пропорційності для загальної структури математичної моделі, яка визначає головну складову сили різання при токарному обробленні:

$$P_z = C_{pz} h^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{n_{pz}} k_{pz} \quad (2.1)$$

Відмінність конкретних умов оброблення від тих, що використовувались в дослідженнях для їх встановлення, враховуються поправочним коефіцієнтом k_p , величина якого розраховується за формулою:

$$k_{pz} = \prod_{i=1}^n (k_{pz})_i \quad (2.2)$$

Аналіз існуючої довідникової літератури [13] показує, що дані для розрахунків складових сили оброблення наведені не для всіх груп матеріалів та основних видів оброблення. Тим, для токарного оброблення всіх груп оброблюваних матеріалів та окремих видів оброблення наведені тільки необхідні дані для розрахунку головної складової P_z сили різання. Поправочні коефіцієнти на відмінні умови оброблення наводяться дискретними значеннями, що створює труднощі їх застосування при ручних розрахунках та особливо при застосуванні формалізованих систем визначення режимів різання та характеристик процесу оброблення. Відсутність достатніх даних для розрахунків обумовлює неможливість визначити силу різання.

Експериментальні дослідження силових залежностей передбачають використання спеціальної вимірювальної апаратури, яка забезпечує вимірювання окремих складових. Певні обмеження можливостей такої апаратури полягають у здатності вимірювати окремі складові сили різання, а не безпосередньо силу різання. При порівнянні експериментально отриманих результатів, виникає неузгодженість між математичною моделлю сили різання та окремих складових. Така неузгодженість звичайно компенсується поправочним коефіцієнтом на змінні умови оброблення, який залежить від численних факторів - матеріалу заготовки, кутів різальної частини інструменту, матеріалу інструменту тощо.

Окрім того, у довідниковій літературі [13] часто відсутні дані для розрахунку складових P_y і P_x для окремих груп матеріалів та видів оброблення. Все це ускладнює, а іноді робить неможливим розрахунок сили різання. Оскільки головна складова сили різання P може бути визначена найбільш достовірно та найбільш просто виміряна навіть без застосування спеціальної

динамометричної апаратури за потужністю різання, вважається за доцільне прийняти саме цю складову за основу розрахунку сили різання та її складових при токарному обробленні. При такому підході вплив таких факторів, як матеріал заготовки, інструменту та складових режиму різання урахується у формулі для розрахунку складової P_z , а складові P_y і P_x визначаються за їх первинним змістом, тобто як геометричні складові розкладу вектора сили різання за осями координат (рис.2.2).

Таким чином, складова P , сили різання визначається емпіричною залежністю, яка дещо відрізняється від традиційної:

$$P_z = C_{pz} h^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^{n_{pz}} k \quad (2.3)$$

C_{pz} - коефіцієнт, що залежить тільки від матеріалу заготовки;
 k - поправочний коефіцієнт, що залежить тільки від матеріалу інструменту;
 x_{pz}, y_{pz}, n_{pz} , - показники ступеня; h, S, V – складові режиму різання-глибина у мм, подача у мм/об, та швидкість різання у м/хв відповідно.

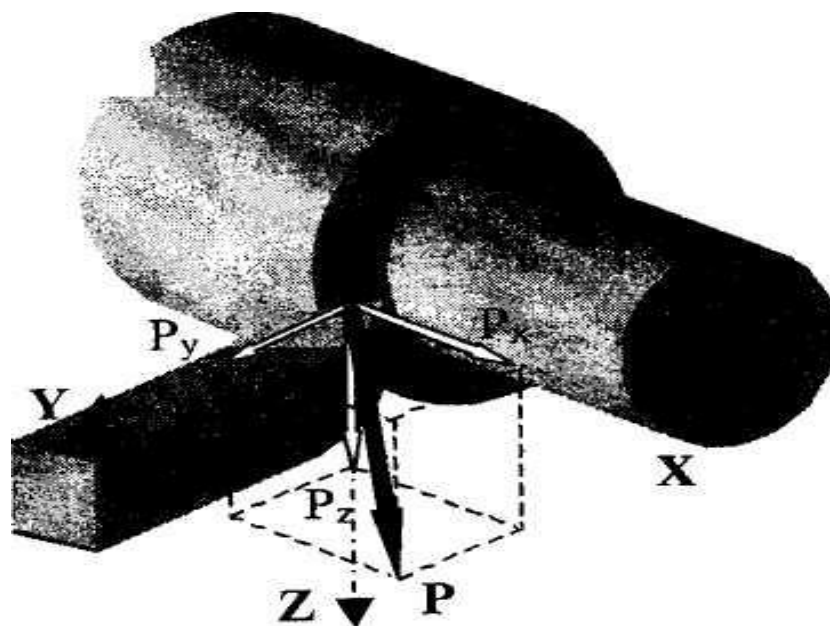


Рисунок 2.2 - Схема розкладу сили різання на складові при поздовжньому токарному обробленні

Складові P_x і P_y є векторами розкладу складової P_z , яка діє по передній поверхні інструменту у напрямку, що співпадає з напрямком сходження стружки.

Для визначення складових P_x і P_y треба розглянути вплив на них переднього кута γ і кута λ нахилу головної різальної кромки.

Отримані залежності повинні задовольняти загальній формулі розкладу вектора на складові:

$$P_{xy}^2 = P_n^2 + P_\tau^2 + P_{zz}^2.$$

Дійсно, при підстановці у таку формулу виразів складових і нескладних алгебраїчних перетворень можна отримати тотожній вираз, що підтверджує вірність отриманих залежностей. [13]

2.2 Аналіз і узагальнення отриманої інформації

Дослідження впливу змінних параметрів на складові сили різання здійснюється за "класичною" методикою однофакторних експериментів, а саме, послідовні дослідження виконуються при незмінних значеннях всіх інших параметрів. Діапазони зміни параметрів, у функції яких виконуються дослідження, наведені вище. Результати виконаних досліджень необхідно занести до таблиць експериментальних даних, за якими побудувати відповідні графіки залежностей складових сили різання від змінних параметрів процесу оброблення.

На рис. 2.3. представлено інтерфейс прикладної програми [13] наприкінці експерименту щодо визначення залежності складових сили різання від головного кута у плані різця.

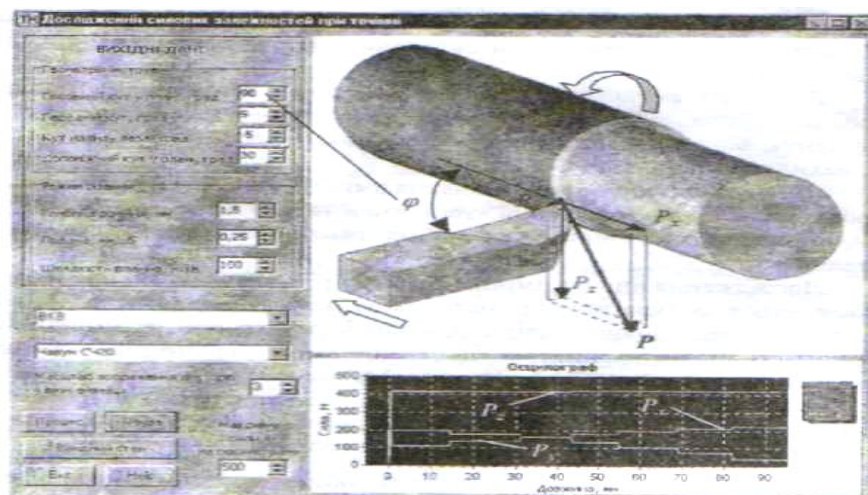


Рисунок 2.3 - Інтерфейс програми

В основу прикладної програми покладена узагальнена математична модель, яка відображає залежність складових сили різання від глибини h різання, поздовжньої подачі S , швидкості різання V , геометричних параметрів різальної частини, а саме: переднього кута γ , головного кута φ в плані та кута λ нахилу різальної кромки. Вплив інших геометричних параметрів різальної частини, а саме: заднього кута α та допоміжного кута φ_1 в плані є несуттєвим і до математичних моделей їх не введено, але на графічному зображенні їхній вплив збережений.

За результатами експериментальних досліджень побудовані графіки відповідних залежностей (рис. 2.4- рис. 2.6).

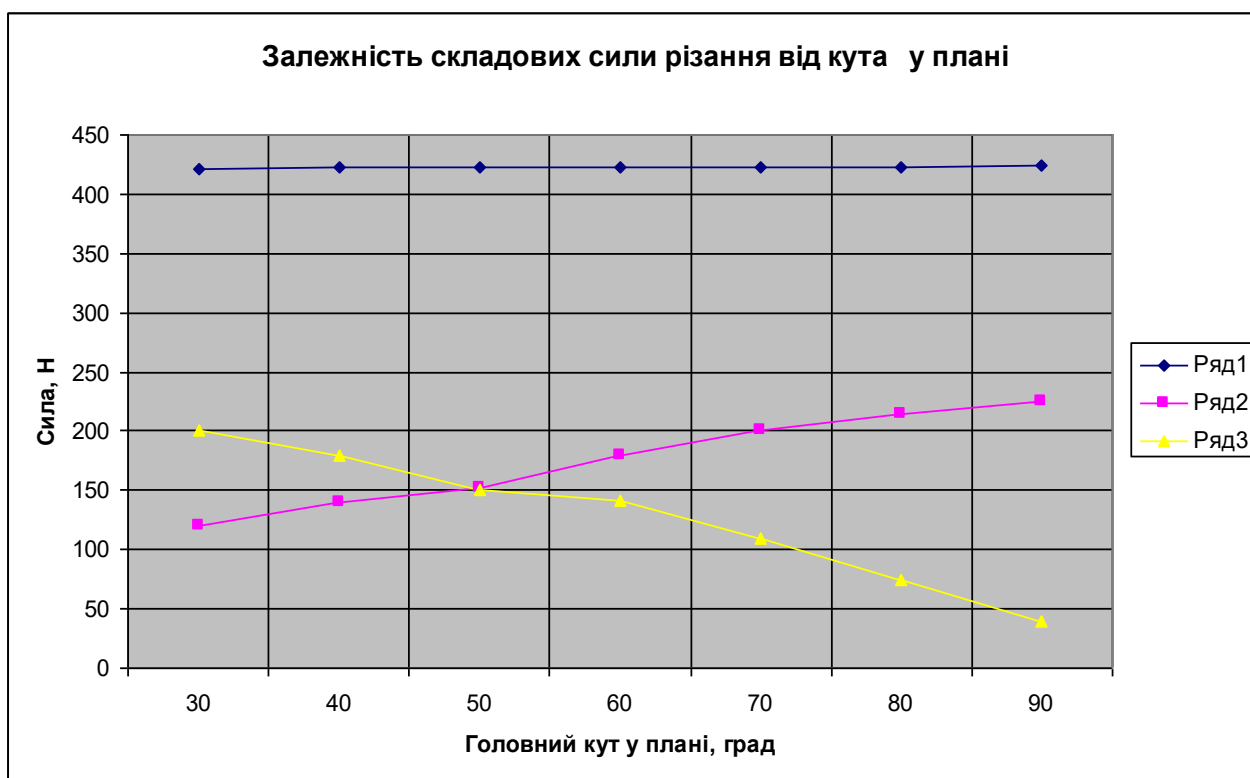


Рисунок 2.4 - Залежність складових сили різання від кута φ у плані

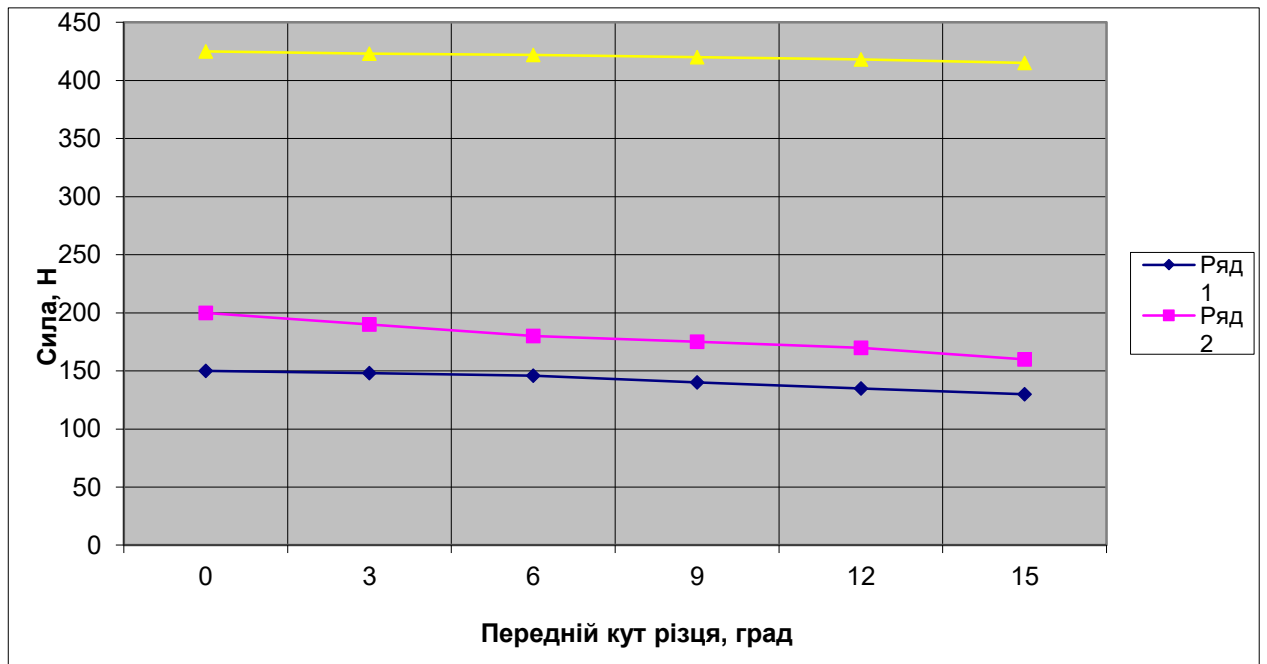


Рисунок 2.6 - Залежність складових сили різання від переднього кута різальної кромки

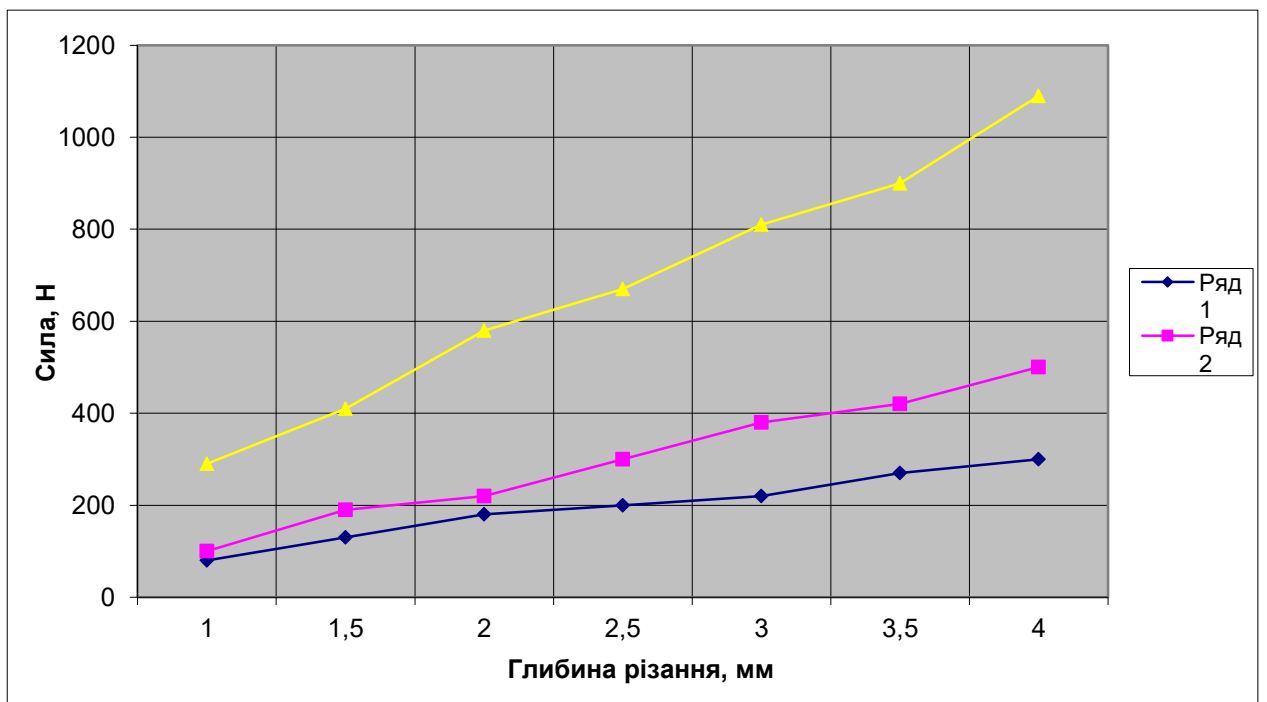


Рисунок 2.7 - Залежність складових сили різання від переднього кута різальної кромки

Таким чином, адекватність моделювання обмежується тим, що у математичній моделі проігноровані процеси зношування різального інструменту, статичні і динамічні характеристики ТОС, випадкові збурення, теплові явища тощо.

2.3 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

1. Збільшення головного кута різця у плані майже не змінює силу різання, складова P_x не змінюється, складова P_y зменшується, а складова P_z збільшується. Такі зміни викликатимуть відповідні зміни складових похибки обробки з-за пружних деформацій оброблювальної системи.
2. Збільшення глибини різання викликає пропорційне збільшення сили різання та її складових майже за лінійним законом.
3. Збільшення кута нахилу головної різальної кромки викликає зменшення сили різання і всіх її складових. Це свідчить про покращення умов різання і зменшення енергетичних втрат на зняття припуску.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва

Ступиця БМД-52.102 призначена для кріплення диску колеса і обертання колеса навколо осі ступиці, також ступиця з'єднує колесо і вал передаючи з останнього крутний момент на колесо.

В центральній частині ступиці (рис. 3.1) розміщений отвір $\phi 62k7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$, в який заходить вал. Посадочна поверхня А призначена для розташування в ній підшипника, і виконується згідно вимог ГОСТ 3325-55. Шорсткість поверхні центрального отвору становить – 2,5 мкм. По колу $\phi 215$ розташовані симетрично шість отворів $\phi 12H12^{+0,180}$, які призначені для кріплення диску колеса за допомогою болтів. На розташування даних отворів встановлюється допуск співвісності з відхиленням не більше 0,35 мм від номінального, за базу приймається центральна вісь даної деталі.

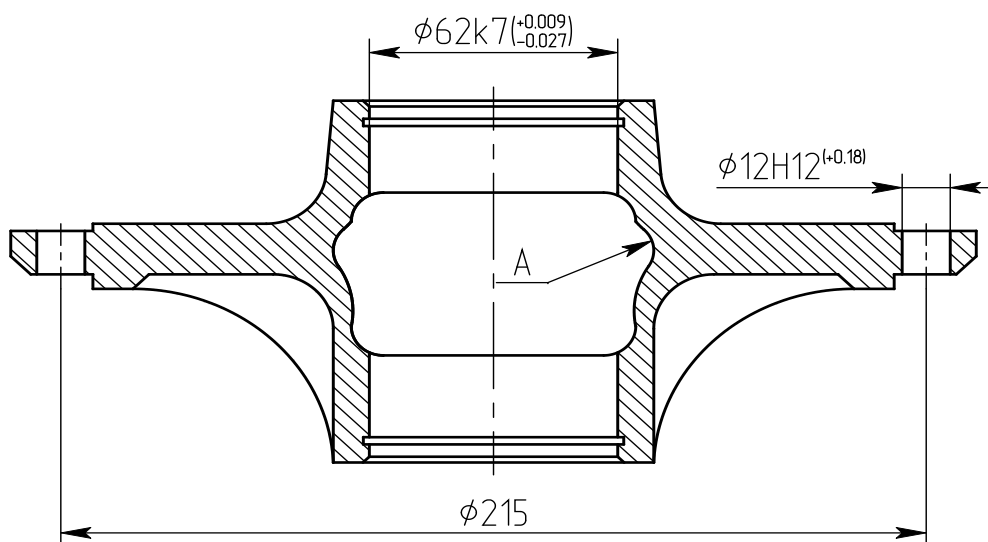


Рис. 3.1 – Ступиця БМД 52.102

Представлена деталь є достатньо жорсткою, має зручні базові поверхні і не викликає особливих технічних труднощів при її обробці. [16]

Матеріалом для виготовлення даної деталі служить сірий чавун марки СЧ 20.

Фізико-механічні і вміст хімічних елементів сірого чавуну марки СЧ 20 подано у таблицях 3.1 і 3.2. [1]

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості чавуну марки СЧ 20

$\rho \cdot 10^3$, кг/м ³	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^6$	$\sigma_{вр.}$, МПа	$\sigma_{вз.}$, МПа	НВ
7,2 – 7,3	10 - 12	200	400	170 - 241

Таблиця 3.2 – Вміст хімічних елементів у чавуні марки СЧ 20

Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	Ni, %	Cr, %	S, %
95 – 97	3,3 – 4	0,2 – 0,52	0,3 – 0,35	0,04	0,25	0,2	0,046

Відливка відноситься до III рівня складності і по базовому варіанту використовується лиття в кокіль.

Конфігурація деталі не викликає значних труднощів при отриманні заготовки. Деталь має значну міцність при обробці. До всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ ріжучого інструменту. Установочними базами служать центральний отвір і задня площина деталі.

Оскільки деталь служить для кріплення колеса то на відповідні отвори задано допуск співвісності (не більше 0,35 мм). Дана вимога досягається свердлінням і контролюється за допомогою спеціально розробленого калібру на розміщення шести отворів. За базу приймають центральну вісь деталі.

Центральний отвір деталі $\varnothing 62k7 \left(\begin{smallmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{smallmatrix} \right)$ отримується розточуванням, а потім як чистова обробка використовується протягування. Використання цих двох операцій дає змогу забезпечити шорсткість поверхні 2,5 мкм. Точність виконання розмірів для даної поверхні контролюється за допомогою спеціально розробленого калібру-пробки.

Посадочна поверхня під підшипники отримується розточуванням і допускається обробка цієї поверхні на прохід, що в свою чергу скорочує час на обробку і підвищує технологічність даної конструкції. [1]

Шість отворів Ø12 обробляються свердлінням на прохід за один установ. Контроль за точністю виконання розмірів здійснюється за допомогою калібру. Цей калібр дає змогу одночасно контролювати, як діаметр кожного отвору так і відхилення розміщення отворів від центральної осі деталі в межах заданого поля допуску.

До не технологічності конструкції можна віднести два внутрішні пази по Ø65 і шириною 1,9 мм, оскільки на обробку яких затрачається час на заміну ріжучого інструменту і перевстановлення деталі. Проте ці елементи обумовлені конструктивною необхідністю даного виробу і їх змінити важко.

В цілому деталь є достатньо технологічною, при її виливці і механічній обробці не виникає особливих труднощів, деталь має зручні базові поверхні. Для обробки деталі допускається використання високопродуктивних режимів різання.

Дані технологічного контролю креслення деталі заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Аналіз технологічного контролю креслення деталі

Технічна умова або вимога	Метод виконання	Метод контролю
Невказані радіуси 3...5 мм	Литво	Візуально
Зміщення осей отворів Ø12 від номінального розташування не більше 0,35 мм	Свердління	Калібр на розташування шести отворів
Внутрішню необроблювану поверхню покрити маслостійкою фарбою	Фарбування	Візуально
Посадочні поверхні під підшипники виконати по ГОСТ 3325 – 55	Розточування	Шаблон

Даний технологічний процес характеризується невеликою трудомісткістю і невеликим основним часом, що необхідний для виготовлення деталі на тій чи іншій операції. Для описуваного технологічного процесу не є характерним велика кількість матеріального обладнання.

Всі операції механічної обробки деталі проводяться в одному цеху заводу, що дало можливість скоротити час на транспортування деталей на ділянці механічної обробки.

Технологічний процес складається з таких операцій механічної обробки: токарна (на верстаті моделі 1К62), протяжна (на верстаті моделі 7Б520), токарно-гвинторізна (на верстаті моделі 16К20), вертикально-свердлильна (на верстаті моделі 2Н150), слюсарна. А також з допоміжних операцій, таких як переміщення деталі, промивка, технічний контроль. [14]

Операція 010. Токарна.

На даній операції деталь обробляється сам контур деталі і обробляються бази які в подальшому будуть служити для установки і закріплення деталі в пристосуваннях.

Операція 015. Протяжна.

На даній операції протягується отвір деталі в розмір $\varnothing 62k7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$.

Операція 020. Токарно-гвинторізна.

На даній операції розточуються посадочні поверхні під підшипники.

Операція 025. Вертикально-свердлильна.

На даній операції відбувається свердління шести отворів, які призначені для кріплення деталі.

Деякі операції даного технологічного процесу можна об'єднати в одну, що дає можливість скоротити час на механічну обробку і скоротити кількість металорізного обладнання. Також провести обробку деталі за один установ, що забезпечить більшу точність виготовлення деталі.

Також можна ввести додатково шліфувальну операція для обробки посадочних поверхонь під підшипники, що дасть змогу зменшити висоту мікронерівностей після токарної обробки.

Використання більш нового обладнання дасть змогу збільшити точність досягнення розмірів деталі, зменшити припуски на механічну обробку, використовувати більш продуктивні режими різання, що в свою чергу дасть можливість скоротити загальний час на виготовлення даної деталі.

Для попереднього визначення типу виробництва використовуємо дані з заводу по деталі «Ступиця БМД 52-102»:

Річна програма випуску деталей: $N_p = 6500$ штук,

Режим роботи підприємства: двозмінний,

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання: $F_d = 3890$ год.

Визначаємо такт випуску деталей за формулою 2.1:

$$t_b = F_d \cdot 60 / N_p, \quad (3.1)$$

де, N_p – річна програма випуску у штуках;

F_d - дійсний річний фонд часу роботи обладнання у годинах.

$$t_b = 3890 \cdot 60 / 6500 = 35,9 \text{ (шт./хв)}$$

Дані по існуючому заводському (базовому) технологічному процесу зведемо в таблицю 3.4:

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для визначення типу виробництва

Назва операції	$T_{шт}$, хв
Токарна	2,90
Протяжна	1,07
Токарно – гвинторізна	1,77
Вертикально – свердлильна	0,52
Слюсарна	0,63

Кількість операцій заводського технологічного процесу: 5.

Сумарний штучний час по всіх операціях:

$$\Sigma t_{шт} = 2,90 + 1,07 + 1,77 + 0,54 + 0,63 = 6,91 \text{ хв}$$

Середньо-штучний час визначаємо за формулою 3.2:

$$t_{шт\ ср} = \Sigma t_{шт} / n \text{ (хв)}, \quad (3.2)$$

де $\Sigma t_{шт}$ - сумарний штучний час по всіх операція у хвилинах,
 n – число операцій.

$$t_{шт\ ср} = 6,91 / 5 = 1,38 \text{ хв}$$

Коефіцієнт серійності визначаємо за формулою 3.3:

$$K_c = t_b / t_{шт. ср}, \quad (3.3)$$

де t_b – такт випуску деталей у штуках за хвилину,
 $t_{шт\ ср}$ – середньо-штучний час у хвилинах.

$$K_c = 35,9 / 1,38 = 26,01 > 20$$

Отриманому коефіцієнту відповідає дрібносерійний тип виробництва.

За базовим технологічним процесом спосіб отримання заготовки – лиття в піщано-глиняні форми.

Як нові способи отримання заготовки пропонується лиття в кокілі та лиття по випалюваних моделях. [16]

Кокілі дають змогу отримувати виливки з точними розмірами поверхонь (12-ий квалітет) і шорсткістю їх до 4 мкм за параметром Ra.

Як другий варіант отримання заготовки пропонується лиття по випалюваних моделях.

Литтям по випалюваних моделях можна виготовляти заготовки масою від 0,02 до 100 кг з мінімальною товщиною стінки 0,5 мм та отворами діаметром до 5 мм.

Отже, в даному випадку приймаємо такі методи отримання заготовки:

Варіант 1 – лиття в кокіль;

Варіант 2 – лиття по випалюваних моделях.

Визначимо масу заготовки:

$$M_{\text{дет.}} = V_{\text{дет.}} \cdot \rho_{\text{мат.}}, \quad (3.4)$$

де $M_{\text{дет.}}$ – маса готової деталі, кг;

$V_{\text{дет.}}$ – об'єм готової деталі, м³;

$\rho_{\text{мат.}}$ – густина матеріалу деталі, кг/м³;

Об'єм готової деталі знайдемо за допомогою прикладної програми Компас-3D LT V7.

Згідно даних отриманих з цієї програми об'єм готової деталі рівний – $V_{\text{дет.}} = 0,0006 \text{ м}^3$. Густина даного матеріалу $\rho_{\text{мат.}} = 7200 \text{ кг/м}^3$ [1].

$$M_{\text{дет.}} = 0,0006 \cdot 7200 = 4,3 \text{ кг}$$

Для першого варіанту отримання заготовки (лиття в кокіль) встановлюємо:

- 1) клас точності виготовлення – 5-й;
- 2) клас точності розмірів, мас і ряди припусків – 1-й.

Для другого варіанту отримання заготовки (лиття по випалюваних моделях) встановлюємо: [17]

- 1) клас точності виготовлення – 6-й;
- 2) клас точності розмірів, мас і ряди припусків – 1-й.

Припуски і допуски заготовок вибираємо по [2] і заносимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Припуски і допуски на проектні заготовки

Розмір	Вид заготовки			
	Лиття в кокіль		Лиття по випалюваних моделях	
	Допуск	Припуск	Допуск	Припуск
100	0,50	0,8 – 1,0	0,80	1,0 – 1,4
62	0,40	0,8 – 1,0	0,64	1,0 – 1,4
12	0,28	0,6 – 0,8	0,44	0,8 – 1,0
18	0,32	0,7 – 0,9	0,50	0,8 – 1,0
172	0,56	0,9 – 1,2	0,90	1,0 – 1,4
80	0,44	0,8 – 1,0	0,70	1,0 – 1,4

Визначимо масу заготовки по кожному із запропонованих варіантів:

Для лиття в кокіль:

$$M_{\text{заг.к.}} = V_{\text{заг.к.}} \cdot \rho_{\text{мат.}}, \quad (3.5)$$

де $M_{\text{заг.к.}}$ – маса заготовки при литті в кокіль, кг;

$V_{\text{заг.к.}}$ – об'єм заготовки при литті в кокіль, м^3 ;

$\rho_{\text{мат.}}$ – густина матеріалу заготовки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Об'єм заготовки отримуємо за допомогою програми Компас-3D LT V7. Звідси,

$$V_{\text{заг.к.}} = 0,00064 \text{ м}^3.$$

$$M_{\text{заг.к.}} = 0,00064 \cdot 7200 = 4,6 \text{ кг}$$

Для лиття по виплавлюваних моделях:

$$M_{\text{заг.вип.м.}} = V_{\text{заг.вип.м.}} \cdot \rho_{\text{мат.}}, \quad (3.6)$$

де $M_{\text{заг.вип.м.}}$ – маса заготовки при литті по виплавлюваних моделях, кг;

$V_{\text{заг.вип.м.}}$ – об'єм заготовки при литті по виплавлюваних моделях, м^3 ;

$\rho_{\text{мат.}}$ – густина матеріалу заготовки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Об'єм заготовки отримуємо за допомогою програми Компас-3D LT V7. Звідси,

$$V_{\text{заг.вип.м.}} = 0,00071 \text{ м}^3.$$

$$M_{\text{заг.вип.м.}} = 0,00071 \cdot 7200 = 5,1 \text{ кг}$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу для запропонованих варіантів отримання заготовки:

Для лиття в кокіль:

$$K_{\text{ВМІ}} = \frac{M_{\text{дет.}}}{M_{\text{заг.к.}}} \cdot 100 \% , \quad (3.7)$$

де $M_{\text{дет.}}$ – маса готової деталі, кг;

$M_{\text{заг.к.}}$ – маса заготовки при литті в кокіль, кг.

$$K_{\text{ВМ1}} = \frac{4,3}{4,6} \cdot 100 \% = 93,4 \%$$

Для лиття по виплавлюваних моделях:

$$K_{\text{ВМ2}} = \frac{M_{\text{дет.}}}{M_{\text{заг.вип.м.}}} \cdot 100 \% , \quad (3.8)$$

де $M_{\text{дет.}}$ – маса готової деталі, кг;

$M_{\text{заг.вип.м.}}$ – маса заготовки при литті по виплавлюваних моделях, кг.

$$K_{\text{ВМ2}} = \frac{4,3}{5,1} \cdot 100 \% = 84,3 \%$$

Оскільки, для оптимального вибору способу одержання заготовки необхідно врахувати ще і вартість її виготовлення, то скористаємося формулою 3.9 для визначення вартості виготовлення однієї заготовки при запропонованих методах отримання заготовки.

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{відх.}}}{1000} , \quad (3.9)$$

де C_i – вартість однієї тонни заготовок;

Q – маса заготовки, кг;

$k_T, k_c, k_B, k_{\Pi}, k_M$ - коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, об'єму виробництва і марки матеріалу заготовки;

$S_{\text{відх.}}$ – вартість однієї тонни відходів q – маса готової деталі, кг.

Значення коефіцієнтів $k_T, k_c, k_B, k_{\Pi}, k_M$ вибираємо згідно рекомендацій [17] для кожного способу отримання заготовки.

Оптимальним варіантом отримання заготовки буде лиття в кокіль, оскільки для цього способу виготовлення вилівка коефіцієнт використання матеріалу

вищий і менша вартість заготовки у порівнянні із литтям по виплавлених моделях. Отже, у подальшому для розробки нового технологічного процесу будемо використовувати метод отримання заготовки – лиття в кокіль по 5-му класу точності.

3.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу

В базовому технологічному процесі виготовлення деталі використовуються такі операції механічної обробки, як: точіння, протягування і свердління. [3]

На токарній операції (операція 010) деталь обробляється на верстаті моделі 1К282. Обробляють торці деталі, внутрішні циліндричні поверхні, і підрізаються внутрішні фаски.

Для підвищення точності оброблюваних поверхонь і скоротити час на механічну обробку пропонується використати верстат більш нової моделі наприклад верстат напівавтомат. Також для встановлення і зняття деталей можна використати промисловий робот.

Інший варіант полягає у наступному: для підвищення точності виготовлення посадочної поверхні під підшипники пропонується ввести додаткову операцію механічної обробки – шліфувальну, яка дасть змогу зменшити шорсткість оброблюваної поверхні, збільшити точність її виготовлення.

При виборі схем базування використовується система координат деталі (рис. 3.2).

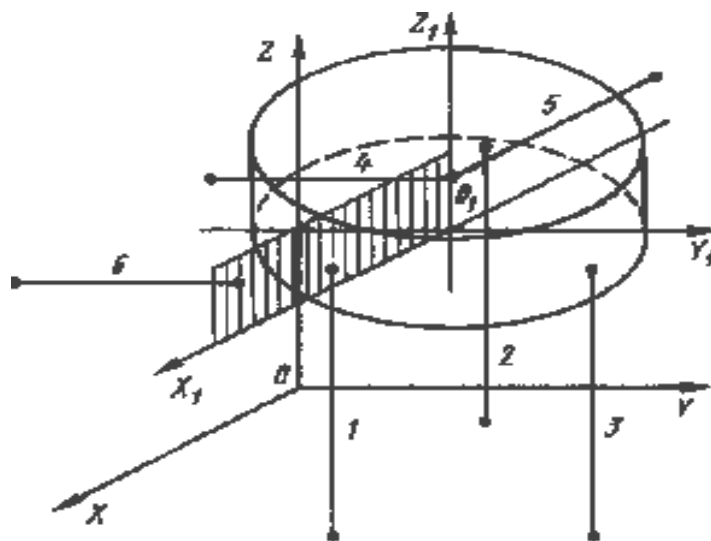


Рисунок 3.2 – Система координат деталі

005 Операція токарна

Конструкторська база – вісь деталі;

Установочна база – торцева і циліндрична поверхні деталі;

Вимірювальна база – торці деталі;

Установочні елементи – оправка циліндрична, кулачковий патрон, оправка розтискна.

010 Операція протяжна

Конструкторська база – вісь деталі;

Установочна база – задня поверхня деталі і внутрішня циліндрична поверхня;

Вимірювальна база – внутрішня циліндрична поверхня;

Установочні елементи – оправка циліндрична (2 шт.).

015 Операція вертикально-свердлильна

Конструкторська база – вісь деталі; Установочна база – внутрішня циліндрична поверхня; Вимірювальна база – вісь деталі;

Установочні елементи – оправка розтискна. Схеми базування деталі приведені на рисунках 3.3, 3.4, 3.5

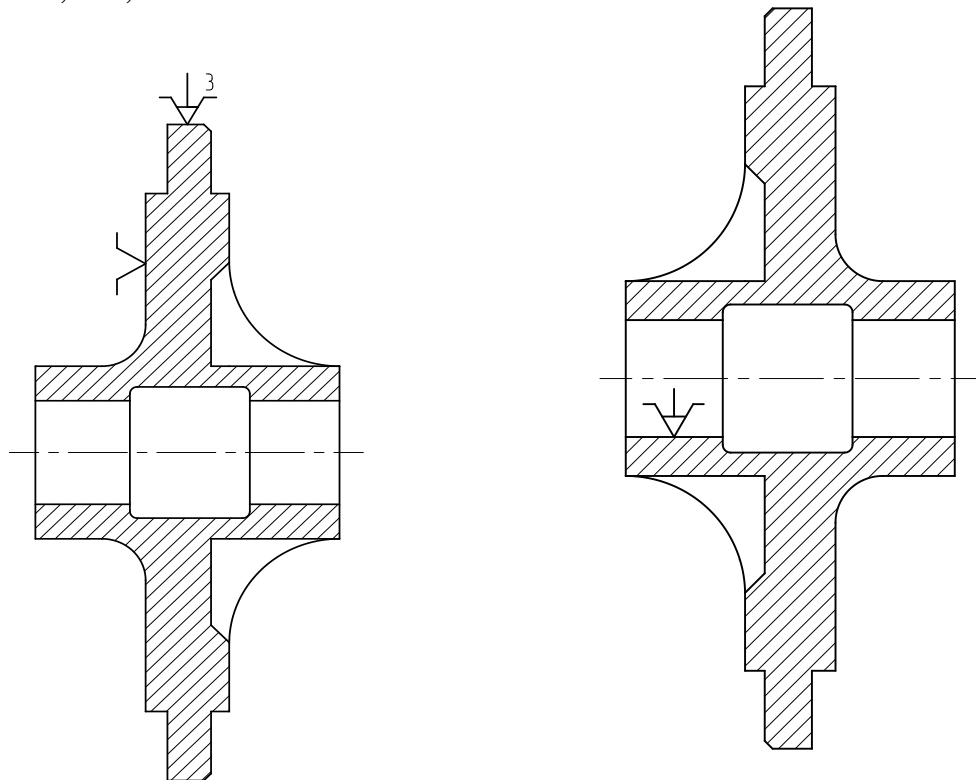


Рисунок 3.3 – Схема базування деталі на операції 005

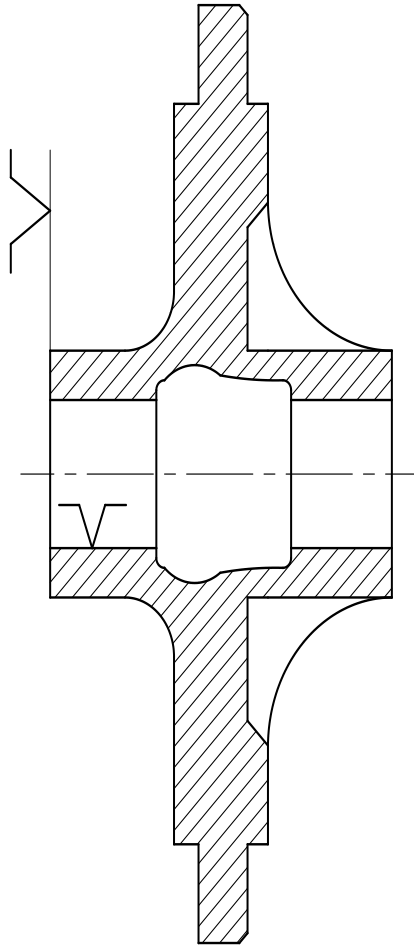


Рисунок 3.4– Схема базування деталі на операції 010

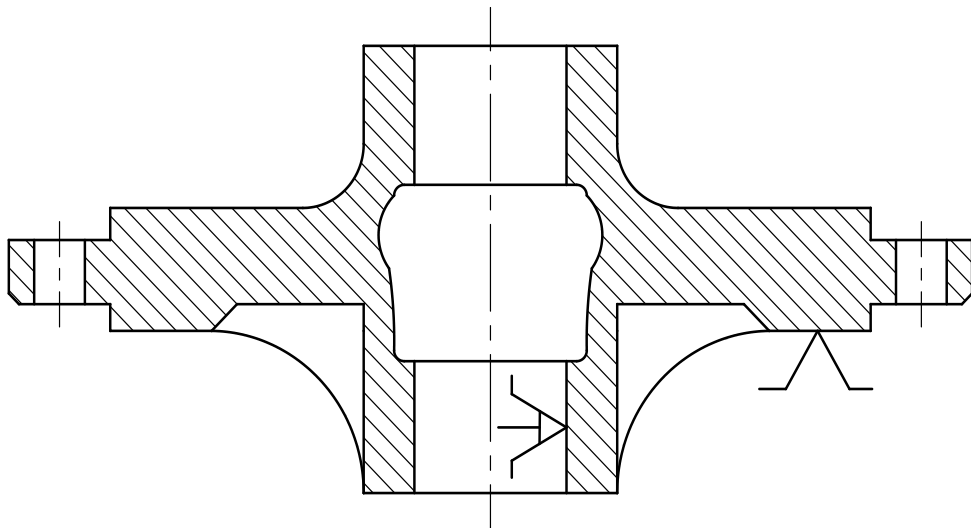


Рисунок 3.5 – Схема базування деталі на операції 015

Розрахунок припусків для отвору $\varnothing 62k7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$

Вихідні дані: маса відливки – 4,6 кг, спосіб отримання заготовки – лиття в кокіль.

Величину короблення для заготовки визначаємо враховуючи як осьовий, так і діаметральний напрям:

$$\rho_{\text{кор.}} = \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}, \quad (3.9)$$

де, Δ_k – залишкова кривизна заготовки;

$$\Delta_k = 0,7 [3];$$

$$\rho_{\text{кор.}} = \sqrt{(0,7 \cdot 62)^2 + (0,7 \cdot 100)^2} = 82 \text{ мкм}$$

Величина короблення після чорнового точіння:

$$\rho_{\text{кор.}} = 0,05 \cdot 82 = 4,1 \text{ мкм}$$

Похибка базування заготовки в приспособленні $\varepsilon_3 = 200 \text{ мкм}$.

Визначаємо розрахункові значення мінімальних припусків:

Для чорнового розточування отвору мінімальний припуск:

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (Rz + T + \sqrt{\rho^2 + \varepsilon^2}), \quad (3.10)$$

де ρ і ε – величина короблення і похибка базування відповідно;

$$Rz = 200 \text{ мкм}, T = 300 \text{ мкм}$$

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (200 + 300 + \sqrt{82^2 + 200^2}) = 1432 \text{ мкм}$$

Для протягування мінімальний припуск:

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1}), \quad (3.11)$$

де Rz_{i-1} і T_{i-1} – параметри обробленої точінням поверхні.

$$Rz_{i-1} = 40 \text{ мкм}, T_{i-1} = 40 \text{ мкм}.$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot (40 + 40) = 160 \text{ мкм}$$

Значення допусків кожного переходу приймаються у відповідності таблиць класу виду обробки:

для чорнового точіння – $\delta = 250 \text{ мкм}$ (ГОСТ 1855 – 75),

для відливки в кокіль – $\delta = 500 \text{ мкм}$ [2].

Мінімальні граничні значення припусків $z_{\min}^{\text{пр}}$ рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення $z_{\max}^{\text{пр}}$ – відповідно різниці найменших граничних розмірів.

Тоді для чорнового точіння:

$$2z_{\min}^{\text{пр}} = 61,85 - 60,4 = 1450 \text{ мкм},$$

$$2z_{\max}^{\text{пр}} = 60,6 - 59,90 = 700 \text{ мкм}.$$

Для протягування:

$$2z_{\min}^{\text{пр}} = 62,009 - 61,85 = 159 \text{ мкм},$$

$$2z_{\max}^{\text{пр}} = 61,973 - 60,6 = 1373 \text{ мкм}.$$

Загальні припуски $z_{0\min}$ і $z_{0\max}$ визначаємо сумуючи проміжні припуски і записуємо їх значення:

$$z_{0\min} = 159 + 1450 = 1609 \text{ мкм},$$

$$z_{0\max} = 1373 + 700 = 2073 \text{ мкм}.$$

Дані розрахунків заносимо в таблицю 3.6 і також зображуємо графічну схему розміщення припусків і допусків на обробку внутрішнього отвору $\varnothing 62k7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$ на рисунку 3.6.

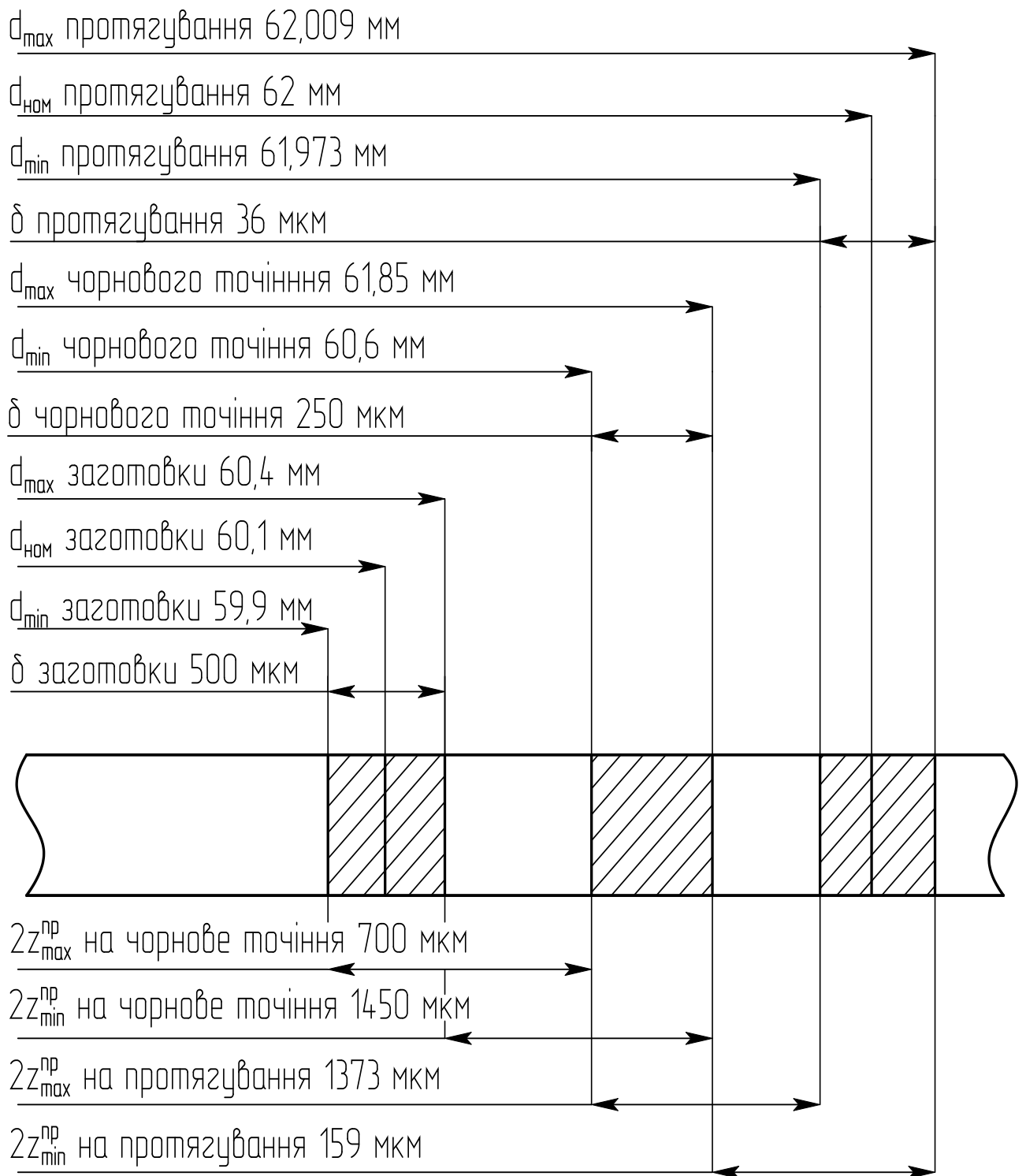


Рисунок 3.6 – Графічна схема розміщення припусків і допусків

на обробку отвору $\text{Ø}62\text{k}7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку припусків для отвору $\varnothing 62k7 \begin{pmatrix} +0,009 \\ -0,021 \end{pmatrix}$

Технологічний перехід	Елементи припуску, МКМ				Мінімальний припуск $2z_{\min}$, МКМ	Допуск на виготовлення δ , МКМ	Граничний розмір, ММ		Граничний припуск, МКМ	
	Rz	T	ρ	ε			d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}^{\text{пр}}$	$2z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка	200	300	82	-	-	500	59,9	60,4	-	-
Чорнове точіння	40	40	4,1	200	1432	250	60,6	61,85	1450	700
Протягування	2,5	2,5	4,1	200	160	36	61,973	62,009	159	1373

Вихідні дані:

маса відливки – 4,6 кг.

спосіб отримання заготовки – лиття в кокіль.

Величину короблення для заготовки визначаємо враховуючи як осьовий, так і діаметральний напрям:

$$\rho_{\text{кор.}} = \sqrt{(0,7 \cdot 62)^2 + (0,7 \cdot 100)^2} = 82 \text{ мкм}$$

$$\Delta_k = 0,7 [3]$$

Величина короблення після чорнового точіння:

$$\rho_{\text{кор.}} = 0,05 \cdot 82 = 4,1 \text{ мкм}$$

Похибка базування заготовки в приспособленні $\varepsilon_3 = 200$ мкм.

Визначаємо розрахункові значення мінімальних припусків:

Для чорнового розточування отвору мінімальний припуск:

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (200 + 300 + \sqrt{82^2 + 200^2}) = 1432 \text{ мкм}$$

$$Rz = 200 \text{ мкм}, T = 300 \text{ мкм} [3]$$

Для чистового розточування отвору мінімальний припуск

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2}), \quad (3.12)$$

$$Rz_{i-1} = 40 \text{ мкм}, T_{i-1} = 40 \text{ мкм}.$$

$$2z_{\text{min}} = 2 \cdot (40 + 40 + \sqrt{4,1^2 + 200^2}) = 560 \text{ мкм}$$

Значення допусків кожного переходу приймаються у відповідності таблиць класу виду обробки:

для чорнового точіння – $\delta = 250$ мкм (ГОСТ 1855 – 75),

для відливки в кокіль – $\delta = 500$ мкм [2].

Мінімальні граничні значення припусків $z_{\min}^{\text{пр}}$ рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення $z_{\max}^{\text{пр}}$ – відповідно різниці найменших граничних розмірів. [3]

Тоді для чорнового точіння:

$$2z_{\min}^{\text{пр}} = 61,85 - 60,4 = 1450 \text{ мкм},$$

$$2z_{\max}^{\text{пр}} = 60,6 - 59,90 = 700 \text{ мкм}.$$

Для чистового точіння:

$$2z_{\min}^{\text{пр}} = 65,04 - 61,85 = 3190 \text{ мкм},$$

$$2z_{\max}^{\text{пр}} = 65 - 60,6 = 4400 \text{ мкм}.$$

Загальні припуски $z_{0\min}$ і $z_{0\max}$ визначаємо сумуючи проміжні припуски і записуємо їх значення:

$$z_{0\min} = 3190 + 1450 = 4640 \text{ мкм},$$

$$z_{0\max} = 4400 + 700 = 5100 \text{ мкм}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 3.7 і відображаємо на рисунку 3.7

Таблиця 3.7 - Результати розрахунку припусків для отвору $\varnothing 65^{+0,4}$

Технологічний перехід	Елементи припуску, мкм				Мінімальний припуск $2z_{\min}$, мкм	Допуск на виготовлення δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	T	ρ	ε			d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}^{\text{пр}}$	$2z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка	200	300	82	-	-	500	59,9	60,4	-	-
Чорнове точіння	40	40	4,1	200	1432	250	60,6	61,85	1450	700
Чистове точіння	20	20	4,1	200	560	400	65	65,4	3190	4400

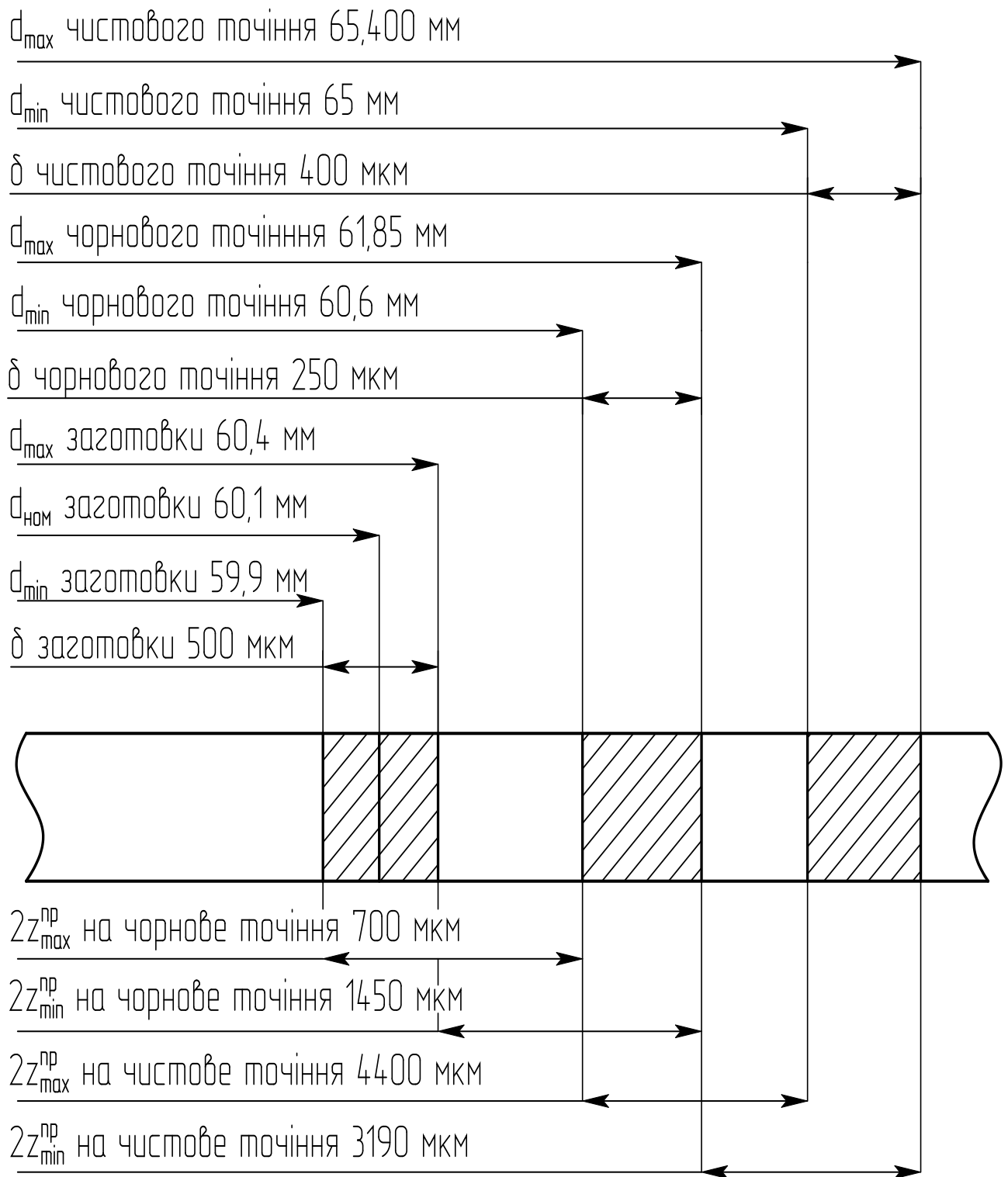


Рисунок 3.7 – Графічна схема розміщення припусків і допусків на обробку отвору $\varnothing 65^{+0,4}$

На решту розмірів припуски вибираємо та заносимо в таблицю 3.8:

Таблиця 3.8 – Табличні значення припусків

Розмір	Допуск	Припуск	Новий розмір
100	0,50	1,0	$102 \pm 0,5$
12	0,28	0,8	$13,6 \pm 0,28$
18	0,32	0,9	$19,8 \pm 0,32$
172	0,56	1,2	$174,4 \pm 0,56$

3.2 Визначення кількості обладнання

Виходячи з наведених вище міркувань для даного технологічного процесу вибираємо і заносимо в таблицю 2.6 наступні моделі обладнання:

Таблиця 3.9 – Вибір обладнання для технологічного процесу

Номер операції (переходу)	Назва операції (переходу)	Назва і модель металорізального верстату
1	2	3
005	Токарна	Токарний напівавтомат 1К282
010	Протяжна	Горизонтально-протяжний 7Б520
015	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н150

Остаточний вибір обладнання проводиться виходячи з наступних міркувань:

- 1) розміри верстату повинні відповідати розмірам оброблюваних деталей;
- 2) верстат по продуктивності повинен відповідати обсягу виробництва;
- 3) конструкція верстату повинна забезпечувати можливість механізації і автоматизації виконуючої обробки на оптимальних режимах різання.

Технічні характеристики вибраного технологічного обладнання вибираємо згідно [4] та відображуємо в додатку В1.

Розрахунок та вибір режимів різання

При призначенні режимів різання розрахунково-аналітичним методом враховуються характер обробки, тип і розміри інструмента, матеріал його частини, що ріже, матеріал і стан заготовки, тип і стан устаткування.

Розрахунок режимів різання для операції 005 Токарна

Позиція 1

Глибина різання для чорнового точіння – $t = 1$ мм;

Подача – $S = 0,28$ мм/об (матеріал ріжучої частини різця – ВК6);

Швидкість різання визначаємо:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (3.13)$$

де v – швидкість різання, м/хв;

C_v – коефіцієнт, що враховує вид обробки;

T – період стійкості інструменту, який використовується для даного виду обробки;

t – глибина різання, м;

S – подача, м/об;

K_v – поправочний коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки, стан оброблюваної поверхні, матеріал ріжучого інструменту;

m, x, y – показники степеня,

Поправочний коефіцієнт :

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}, \quad (3.14)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

K_{pv} – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучого інструменту.

Коефіцієнт K_{mv} , що враховує вплив матеріалу заготовки:

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}, \quad (3.15)$$

де HB – твердість чавуну, ;

n_v – показник степеня;

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{170} \right)^{1,7} = 1,2$$

Звідси, K_v рівне:

$$K_v = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,96$$

$$K_{mv} = 0,8; K_{iv} = 1;$$

Отримаємо:

$$v = \frac{292}{60^{0,20} \cdot 0,001^{0,15} \cdot 0,00028^{0,20}} \cdot 0,96 = 23,58 \text{ м/хв}$$

Коректуємо отримані дані по паспорту верстата 1К282:

Тоді швидкість різання рівна $v = 23 \text{ м/хв}$.

Силу різання визначаємо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (3.16)$$

де C_p – коефіцієнт, що враховує режим різання при точінні;

t – глибина різання, м;

S – подача, м/об;

v – швидкість різання, м/хв.;

K_p – загальний поправочний коефіцієнт, який представляє собою добуток ряду коефіцієнтів.

Визначимо коефіцієнт K_p :

$$K_p = K_{mp} \cdot K_p \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (2.17)$$

де K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силу різання;

K_p , $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту на складові сили різання;

Коефіцієнт K_{mp} :

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n \quad (3.18)$$

де HB – твердість чавуну (HB = 170),

n – показник степеня (для матеріалу ВК 6, n = 0,4 [5]);

$$K_{mp} = \left(\frac{170}{190} \right)^{0,4} = 0,95$$

Значення K_p , $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} вибираємо по [5]:

$$K_p = 1,08; \quad K_{\gamma p} = 1,1; \quad K_{\lambda p} = 1; \quad K_{rp} = 1.$$

$$K_p = 0,95 \cdot 1,08 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,13$$

Сила різання рівна:

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 0,001^1 \cdot 0,00028^{0,75} \cdot 23^0 \cdot 1,13 = 921,51 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (3.19)$$

де P_z – сила різання, Н;

v – швидкість різання, м/хв;

$$N = \frac{921,51 \cdot 23}{1020 \cdot 60} = 2,25 \text{ кВт}$$

Кількість обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}, \quad (3.20)$$

де v – швидкість різання, м/хв;

d – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

Оскільки поверхня представляє собою різницю діаметрів то $d = 80 - 62 = 18$ мм

$$n = \frac{1000 \cdot 23}{3,14 \cdot 0,018} = 84,3 \text{ об/хв}$$

отримане значення кількості обертів уточнюємо по паспорту верстату 1К282, отже згідно паспорту верстату приймаємо $n = 82$ об/хв.

Для наступних позицій режими різання обчислюються по вище приведених формулах.

Позиція 2:

Глибина різання – $t = 1$ мм;

Подача – $S = 0,28$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 23$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 921,51$ Н;

Потужність різання – $N = 2,25$ кВт;

Кількість обертів $n = 82$ об/хв.

Позиція 3:

Глибина різання – $t = 1,5$ мм;

Подача – $S = 0,142$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 28$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 950$ Н;

Потужність різання – $N = 2,8$ кВт;

Кількість обертів $n = 144$ об/хв.

Позиція 4

Глибина різання – $t = 1,5$ мм;

Подача – $S = 0,142$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 28$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 950$ Н;

Потужність різання – $N = 2,8$ кВт;

Кількість обертів $n = 144$ об/хв

Позиція 5

Глибина різання – $t = 3$ мм;

Подача – $S = 0,142$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 26$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 965$ Н;

Потужність різання – $N = 2,91$ кВт;

Кількість обертів $n = 144$ об/хв

Позиція 6

Глибина різання – $t = 1$ мм;

Подача – $S = 0,28$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 23$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 950$ Н;

Потужність різання – $N = 2,8$ кВт;

Кількість обертів $n = 82$ об/хв

Позиція 7

Глибина різання – $t = 1,5$ мм;

Подача – $S = 0,064$ мм/об;

Швидкість різання – $v = 28$ м/хв;

Сила різання – $P_z = 950$ Н;

Потужність різання – $N = 2,8$ кВт;

Кількість обертів $n = 144$ об/хв

Розрахунок режимів різання для операції 010 Протяжна та 015 Вертикально-свердлильна представлено в додатку С1.

Штучний час визначається за формулою:

$$T_{шт} = t_o + t_d + t_{об} + t_{пер} , \quad (3.21)$$

де t_o - основний час на виконання переходу;

t_d - допоміжний час, пов'язаний з виконанням переходу;

$t_{об}$ - час на обслуговування робочого місця;

$t_{пер}$ - час на перерви.

Основний час визначається за формулою:

$$t_o = L_{рх} / (n \cdot S_o) , \quad (2.22)$$

де $L_{рх}$ – довжина робочого ходу, мм.;

n – частота обертання шпинделя, об/хв;

S_o – подача на оберт, мм/об.

Операція 005 Токарна

Користуючись формулою отримаємо:

Позиція 1:

$$t_{01} = \frac{16}{82 \cdot 0,28} = 0,69 \text{ хв,}$$

$$t_{02} = \frac{44}{82 \cdot 0,28} = 1,91 \text{ хв,}$$

Позиція 2:

$$t_{01} = \frac{16}{82 \cdot 0,28} = 0,69 \text{ хв,}$$

$$t_{02} = \frac{28}{82 \cdot 0,28} = 1,22 \text{ хв,}$$

Позиція 3:

$$t_0 = \frac{32}{144 \cdot 0,142} = 1,56 \text{ хв,}$$

Позиція 4:

$$t_0 = \frac{3}{144 \cdot 0,142} = 0,15 \text{ хв,}$$

Позиція 5:

$$t_0 = \frac{32}{144 \cdot 0,142} = 1,56 \text{ хв,}$$

Позиція 6:

$$t_{01} = \frac{15}{82 \cdot 0,28} = 0,65 \text{ хв,}$$

$$t_{02} = \frac{26}{82 \cdot 0,28} = 1,22 \text{ хв,}$$

Позиція 7:

$$t_0 = \frac{26}{144 \cdot 0,064} = 0,5 \text{ хв,}$$

Операція 010 Протяжна

Довжину робочого ходу приймаємо рівною довжині від першого зуба протяжки до останнього $L_{px} = 289 \text{ мм}$.

Знайдемо основний час для протягування:

$$t_0 = \frac{L_{px}}{v}, \quad (3.23)$$

де L_{px} – довжина робочого ходу, м;

v – швидкість різання, м/хв.

$$t_0 = \frac{0,289}{4} = 0,072 \text{ хв}$$

Операція 015 Вертикально-свердлильна

$$t_0 = \frac{18}{750 \cdot 0,55} = 0,043 \text{ хв}$$

Для зручності зведемо всі дані по вибору різального і вимірювального інструменту в таблицю 3.10.

Таблиця 3.10 – Вибір різального і вимірювального інструменту

№ п/п	Назва операції (переходу)	Інструмент	
		Різальний	Вимірювальний
1	2	3	4
1	005 Токарна		
	Позиція 1		
	Підрізати торець в розмір $66 \pm 0,37$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Штангенциркуль ШЩ–1–125–0,1 ГОСТ 166 – 73
	Обточити поверхню в розмір $52 \pm 0,37, \varnothing 172 h12_{-0,4}$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Скоба 8113 – 4449
	Позиція 2		
	Підрізати торець в розмір $103 \pm 0,435$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Штангенциркуль ШЩ–1–125–0,1 ГОСТ 166–73
	Обточити поверхню в розміри $13_{-0,4}, \varnothing 200_{-0,5}$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Штангенциркуль ШЩ–2–250–0,1 ГОСТ 166 – 73

Продовження таблиці 3.10		
Позиція 3		
Розточити отвір в розмір $61,6^{+0,3}$, і розточити фаску в розмір $1,7 \times 45^\circ$	Різець розточний для наскрізних отворів ГОСТ 9775–73, ВК6; Різець прохідний відігнутий лівий ГОСТ 9775–73, ВК8	Штангенциркуль ШЦ–1–125–0,1 ГОСТ 166 – 73
Позиція 4		
Розточити фаску в розмір $1,7 \times 45^\circ$	Різець прохідний відігнутий лівий ГОСТ 9775–73, ВК8	–
Позиція 5		
Розточити отвір в розмір $61,6^{+0,3}$	Різець розточний для наскрізних отворів ГОСТ 9775–73, ВК6	Штангенциркуль ШЦ–1–125–0,1 ГОСТ 166 – 73
Позиція 6		
Підрізати торець в розмір $100 \pm 0,435$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Штангенциркуль ШЦ–1–125–0,1 ГОСТ 166–73
Обточити поверхню в розміри $12_{-0,4}$, $\varnothing 200_{-0,5}$	Різець прохідний лівий ГОСТ 9795–73, ВК6	Штангенциркуль ШЦ–1–125–0,1 ГОСТ 166–73
Позиція 7		
Розточити одночасно дві канавки в розміри $1,9^{+0,3}$, $\varnothing 65^{+0,4}$, $90^{+0,35}$, $5^{+0,16}$	Різець 2126 – 6011 (розробка заводу)	Шаблон 8419-4160
010 Протяжна		
2	Протягнути отвір в розміри $100^{+0,87}$, $\varnothing 62k7^{+0,009}_{-0,027}$	Протяжка $\varnothing 62$ Калібр пробка ПР ($\varnothing 62$) ГОСТ 14815 – 69 Калібр пробка НЕ ($\varnothing 62$) ГОСТ 14815 – 69
015 Вертикально свердлильна		
3	Свердлити 6 отворів в розміри $\varnothing 12H12^{+0,180}$, $12_{-0,43}$, $\varnothing 215 \pm 0,6$	Свердло $\varnothing 12$ ГОСТ 10903 – 64 Калібр пробка ($\varnothing 12$) ГОСТ 14810 – 69 Калібр на розміщення 6-ти отворів $\varnothing 12$ А

Визначаємо необхідну кількість обладнання як відношення штучного часу на даній операції до такту випуску за формулою:

$$m_p = \frac{T_{\text{шт}}}{t_B}, \quad (3.24)$$

де, m_p - необхідна кількість обладнання;

$T_{\text{шт}}$ - штучний час операції, хв;

t_B - такт випуску, шт./хв;

Визначимо необхідну кількість обладнання для операцій техпроцесу:

$$m_p^{005} = 2,9/35,9 = 0,1$$

$$m_p^{010} = 1,07/35,9 = 0,02$$

$$m_p^{015} = 0,52/35,9 = 0,01$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання як відношення розрахункової кількості верстатів, зайнятих на даній операції процесу до фактичного числа верстатів:

$$\eta_3 = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\%, \quad (2.25)$$

$$\eta_3^{005} = \frac{0,1}{1} \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\eta_3^{010} = \frac{0,02}{1} \cdot 100\% = 2\%,$$

$$\eta_3^{015} = \frac{0,01}{1} \cdot 100\% = 1\%;$$

Ступінь використання верстату безпосередньо для машинної роботи при зміні форми, розмірів і кількості поверхонь деталі визначається за коефіцієнтом використання обладнання по основному часу.

Цей коефіцієнт знаходиться як відношення основного часу до штучного:

$$\eta_0 = \frac{T_0}{T_{шт.}} \cdot 100\%, \quad (2.26)$$

де, η_0 - коефіцієнт використання обладнання по основному часу;

T_0 - основний час, хв;

$T_{шт.}$ - штучний час операції, хв;

$$\eta_0^{005} = \frac{1,88}{2,9} \cdot 100\% = 65\%;$$

$$\eta_0^{010} = \frac{0,31}{1,07} \cdot 100\% = 29\%;$$

$$\eta_0^{015} = \frac{0,2}{0,52} \cdot 100\% = 38,5\%;$$

Величину використання обладнання по потужності визначають як відношення розрахункової потужності до потужності приводу верстату:

$$\eta_n = \frac{N_p}{N_{пр}} \cdot 100\%, \quad (2.27)$$

де, N_p - розрахункова потужність, кВт;

$N_{пр}$ - потужність приводу верстату, кВт;

$$\eta_n^{005} = \frac{2,25}{22} \cdot 100\% = 10\%,$$

$$\eta_n^{010} = \frac{13,9}{22} \cdot 100 = 63\%,$$

$$\eta_n^{015} = \frac{0,71}{7,5} \cdot 100 = 9,4\%;$$

За результатами проведених розрахунків будемо відповідні діаграми.

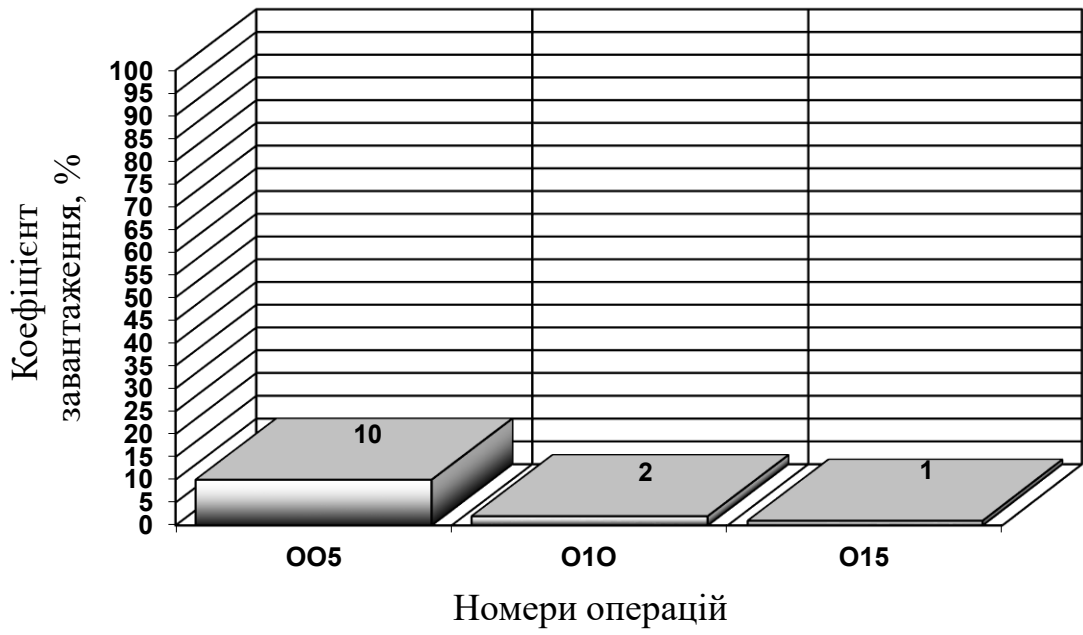


Рисунок 3.8– Графік завантаження обладнання

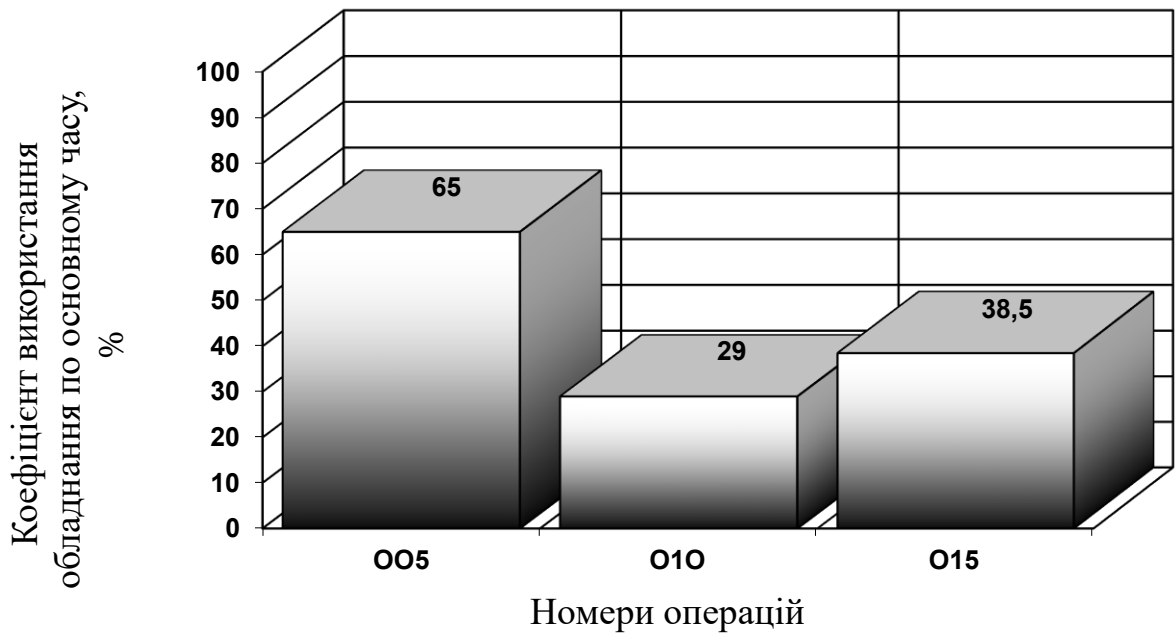


Рисунок 3.9 – Графік використання обладнання по основному часу

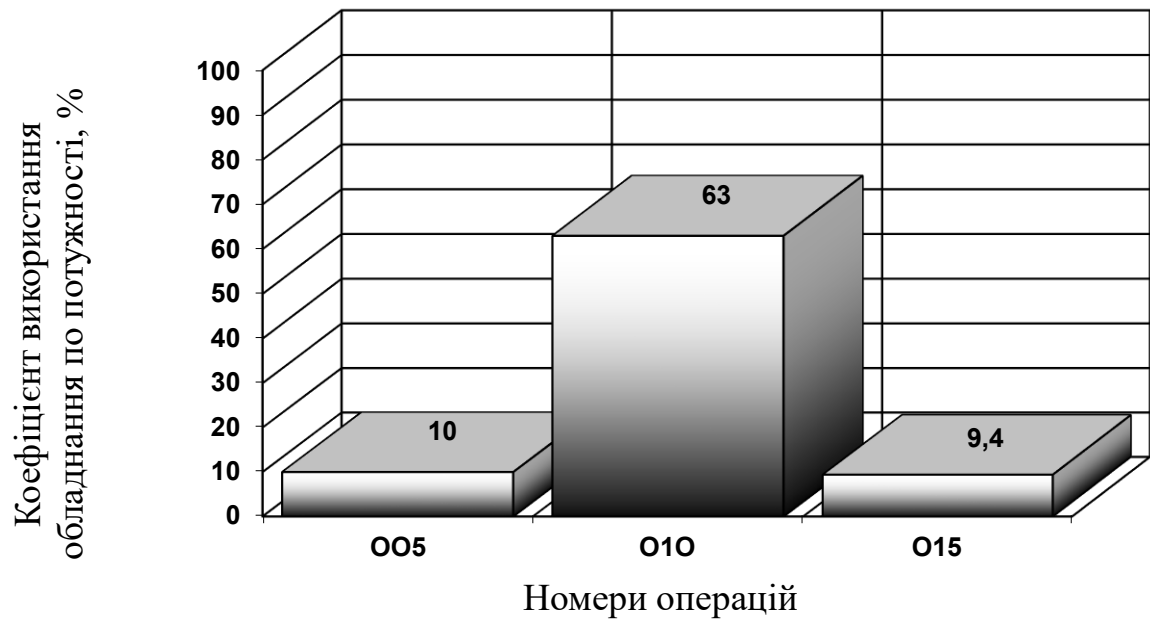


Рисунок 3.10 – Графік використання обладнання по потужності

Як видно з наведених графіків та результатів розрахунків, обладнання недостатньо завантажене. Усувається цей недолік шляхом довантаження обладнання деталями інших найменувань та типорозмірів.

3.4 Конструювання спеціального оснащення та інструменту

Вибір пристосування для механічної обробки[3]

Для токарної і протяжної операції у технологічному процесі застосовуються стандартні верстатні пристосування.

Для досягнення більшої точності виготовлення деталі і скорочення часу на механічну обробку в свердлильній операції пропонується використати кондуктор для свердління шести отворів і як допоміжне пристосування – свердлильну головку для свердління шести отворів.

Кондуктор призначений для встановлення деталі, надійного її закріплення для подальшої механічної обробки. В даному випадку кондуктор призначений для встановлення деталі на вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н150 і застосовується разом із свердлильною головкою для свердління шести отворів.

Основними частинами даного пристосування є корпус 1 і кондукторна плита 2 (див. складальне креслення). Кондукторна плита кріпиться на колонках 4. На кондукторній плиті розташовані направляючі втулки 22, і палець 6, який заходить в центральний отвір деталі для кращого її центрування. З нижньої сторони деталі на корпусі знаходиться аналогічний палець 8; завдяки затиску з двох сторін деталь надійно фіксується в вертикальному напрямку. Деталь базується в призмі 9, яка розташована і закріплена на кондукторній плиті.

Розрахунок похибки встановлення деталі в кондукторі.

В кондукторі деталь встановлюється в призму з кутом при вершині 80° . Для розрахунку похибки базування деталі скористаємося рекомендаціями приведеними в [14], [15].

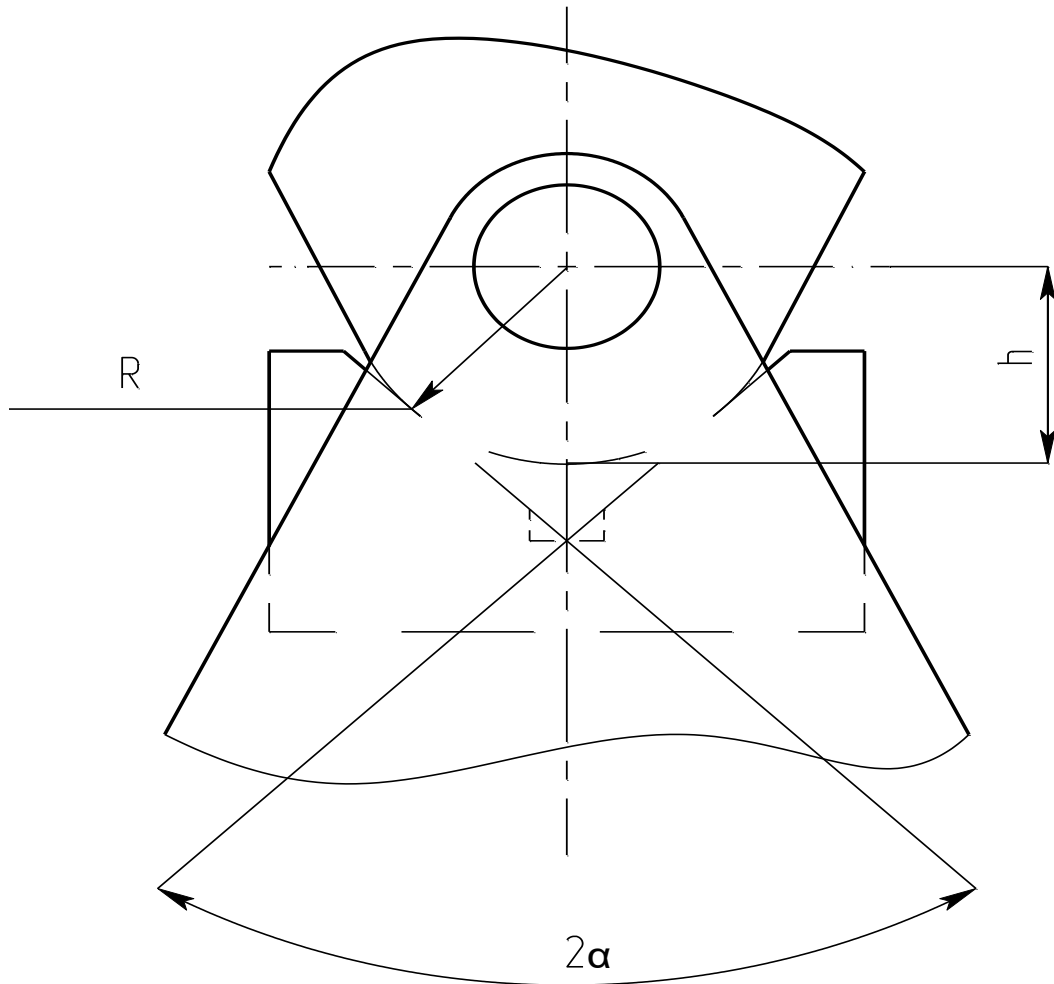


Рисунок 3.11 – Схема базування деталі в призмі при свердлінні в кондукторі

Згідно [14] при $h = R$ похибка базування в призмі визначається за формулою 3.28:

$$\varepsilon_{\text{б}} = 0,5 \cdot TD \cdot \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (3.28)$$

де TD – допуск на розмір R ;

Оскільки, на розмір R не ставиться ($R = 13$ мм) якихось особливих вимог то беремо допуск на розмір по Н14, тоді $TD = 430$ мкм.

$$\varepsilon_{\text{б}} = 0,5 \cdot 430 \cdot \frac{1}{\sin 90^\circ} = 215 \text{ мкм}$$

Оскільки, деталь ще і встановлюється на пальці, то визначимо також похибку базування при встановленні на палець/

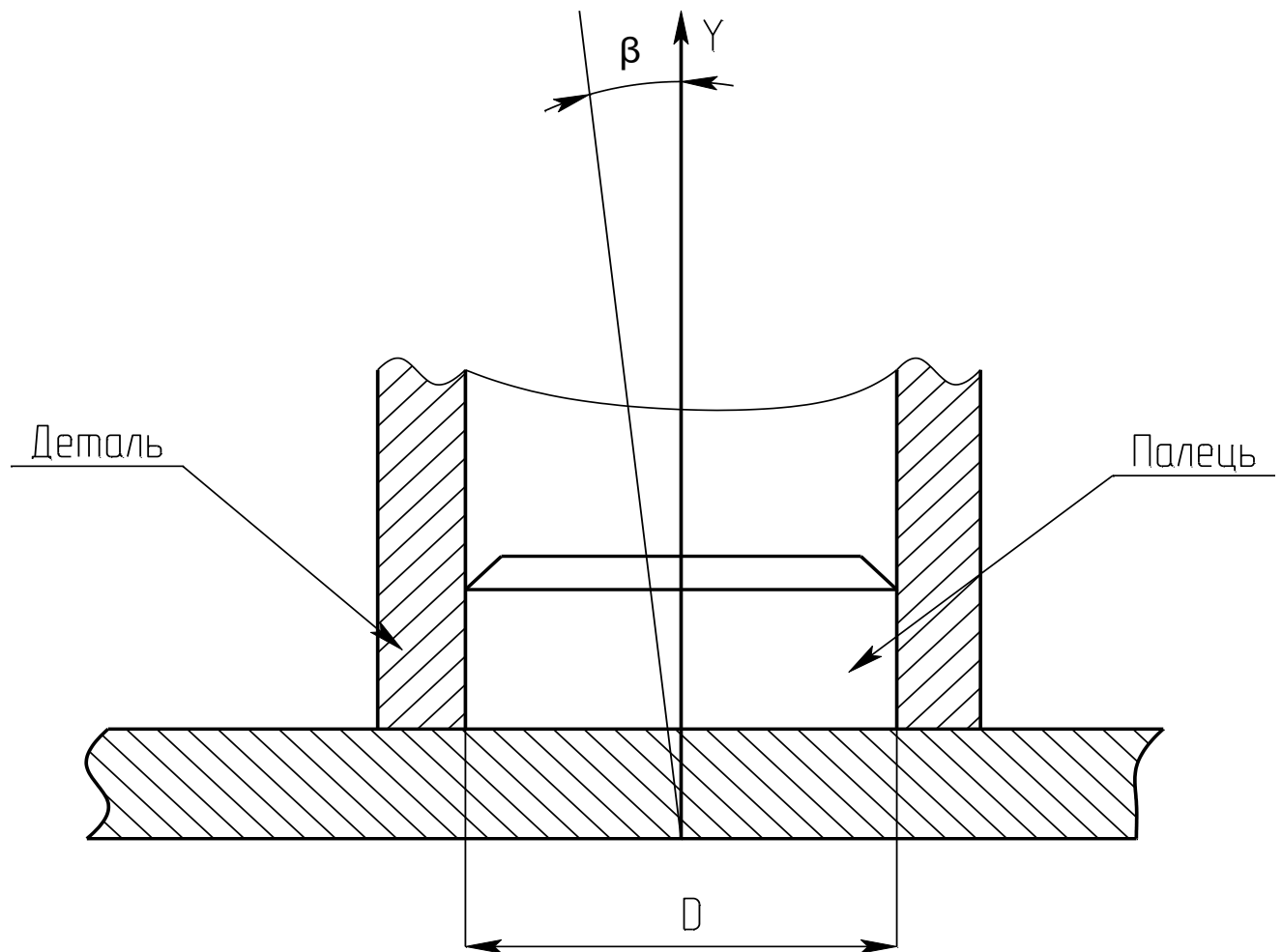


Рисунок 3.12 – Схема базування деталі при встановленні на палець при свердлінні

Визначимо похибку базування скориставшись рекомендаціями приведеними у [15]:

$$\beta = \frac{2 \arctg 0,01}{D}, \quad (3.29)$$

де D – діаметр пальця, мм;

$$\beta = \frac{2 \arctg 0,01}{62} = 0,56^\circ$$

Розрахунок сили затиску при свердлінні

Для розрахунку використаємо рекомендації приведені у [4].

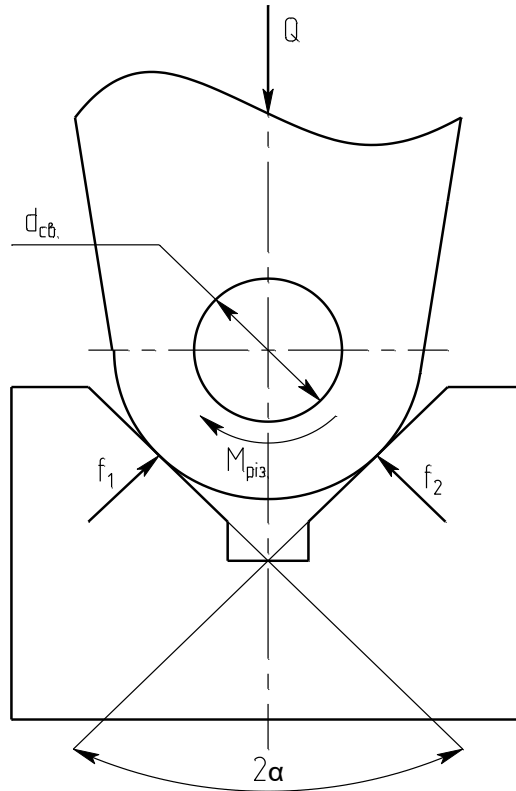


Рисунок 3.13 – Схема дії сил при свердлінні

Розрахуємо необхідне зусилля затиску [3]:

$$Q = \frac{2 \cdot k \cdot M_{\text{різ.}}}{\left((f_1 + f_2) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) \cdot d}, \quad (3.30)$$

де k – коефіцієнт запасу (для чавуну $k = 1,15$)

$M_{\text{різ.}}$ – крутний момент, який створює свердло, $\text{Н} \times \text{мм}$;

$f_1 + f_2$ – складові коефіцієнту тертя, ($f_1 + f_2 = f$);

d – діаметр свердла, мм ;

α – кут призьми;

Виберемо коефіцієнт тертя між сталлю і чавуном без мастила, $f = 0,30$;

Отримаємо:

$$Q = \frac{2 \cdot 1,15 \cdot 22,5}{0,30 \cdot \sin 45^\circ} \cdot 12 = 2927 \text{ Н}$$

Вибір методу і схеми контролю параметрів виробу

Для контролю точності розмірів даної деталі використовуються стандартні контрольно-вимірювальні прилади, проте для контролю шести отворів використовуємо спеціальний калібр, який дає змогу контролювати як діаметри просвердлених отворів, так і допуск на розміщення цих отворів відносно центральної осі деталі.

Конструкція калібру являє собою корпус 1 типу диска (див. відповідне креслення), вимірювальний палець 2 (6 шт.), який являє собою прохідну частину калібру-пробки, установочний палець 3, який входить в центральний отвір деталі.

Розрахуємо елементи калібру скориставшись рекомендаціями приведеними у [10].

Розрахуємо елементи прохідної частини калібру для отвору $\varnothing 12H12^{+0,180}$:
Значення H , z і y вибираємо по СТ СЕВ 144-75.

Для IT14 і інтервалу розмірів 12-18 мм значення становлять:

$$H = 4 \text{ мкм}, z = 4 \text{ мкм}, y = 4 \text{ мкм}.$$

Знайдемо значення максимальної прохідної частини калібру:

$$PP_{\max} = D_{\min} + z + \frac{H}{2}, \quad (3.31)$$

де D_{\min} – мінімальний діаметр отвору, мм;

$$PP_{\max} = 12 + 0,004 + \frac{0,004}{2} = 12,006 \text{ мм}$$

4.ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення основних і допоміжних площ цеху

Заточне відділення призначене для централізованого повторного заточування і поточного ремонту різального інструменту, який використовується в цеху. [7]

При укрупненому розрахунку кількість заточних верстатів загального призначення приймається рівною в потоковому виробництві 5% від кількості металорізального обладнання, яке обслуговується заточним відділенням.

$$N = 0,05 \cdot C_{\text{ЗАГ.}}, \quad (4.1)$$

де, N – кількість заточних верстатів;

$C_{\text{ЗАГ.}}$ - кількість обладнання механічного відділення.

$$N = 0,05 \cdot 80 = 4,$$

Отже, в заточному відділенні буде 4 заточних верстати.

Визначимо площу заточного відділення:

$$S_{\text{зат.}} = S_{\text{пит.}} \cdot N, \quad (4.2)$$

де, $S_{\text{зат.}}$ - площа заточного відділення, м^2 ;

$S_{\text{пит.}}$ - питома площа на один верстат, м^2 , $S_{\text{пит.}} = 14 \text{ м}^2$;

N – кількість заточних верстатів.

$$S_{\text{зат.}} = 14 \cdot 4 = 56 \text{ м}^2,$$

Ремонтні бази механічних цехів передбачають для проведення міжремонтного обслуговування виробничого обладнання, а також для виконання міжремонтних робіт, зміст яких залежить від прийнятої форми організації ремонтних робіт.

Кількість верстатів ЦРБ приймаємо рівною 5% від кількості верстатів, які є в механічному відділенні. Обчислимо кількість верстатів за формулою 6.9:

$$C_{\text{црб}} = 0,05 \cdot C_{\text{заг.}}, \quad (4.3)$$

де, $C_{\text{црб}}$ - кількість верстатів цехової ремонтної бази;

$C_{\text{заг.}}$ - кількість обладнання механічного відділення.

$$C_{\text{црб}} = 0,05 \cdot 80 = 4,$$

Отже, в цеховій ремонтній базі буде 4 верстати.

Визначимо площу цехової ремонтної бази:

$$S_{\text{црб}} = S_{\text{пит.}} \cdot C_{\text{црб}}, \quad (4.4)$$

де, $S_{\text{црб}}$ - площа цехової ремонтної бази, м^2 ;

$S_{\text{пит.}}$ - питома площа на один верстат, м^2 , $S_{\text{пит.}} = 31 \text{ м}^2$;

$C_{\text{црб}}$ - кількість верстатів цехової ремонтної бази.

$$S_{\text{црб}} = 31 \cdot 4 = 124 \text{ м}^2.$$

У відділенні цехової ремонтної бази повинен ще і бути склад запчастин, площа якого становить 38 м^2 .

Звідси загальна площа цехової ремонтної бази становить 162 м^2 .

Згідно рекомендацій площа відділення МОР становить 64 м^2

Площа складу масел становить 8 м^2 .

В механоскладальних цехах передбачається влаштування контрольних відділень, що входять до відділу технічного контролю (ВТК) заводу.

Кількість контролерів ВТК приймається в дрібносерійному виробництві 5...7% від кількості виробничих робітників механічного відділення. Кількість контролерів ВТК становить 9 чоловік. Площу відділення ВТК визначають з розрахунку 5...6 м^2 на одного контролера.

Площа відділення ВТК становить 54 м².

Для забезпечення нормальної роботи механоскладальних цехів в їх складі передбачають цілий комплекс складів. Сюди відносяться склади металу і заготовок, склади деталей, вузлів і комплектуючих виробів, склади готових деталей і виробів, проміжні склади, інструментально-роздавальні комори і комори технологічного оснащення.

Цеховий склад матеріалів і заготовок призначений для забезпечення безперервного постачання верстатів і потокових ліній матеріалами та заготовками, але не для зберігання матеріалу і заготовок, які надходять на завод великими партіями.

Площа інструментально-роздавальної комори становить:

$$S_{\text{ірк}} = S_{\text{пит}} \cdot C_{\text{заг}}, \quad (4.5)$$

де, $S_{\text{ірк}}$ - площа інструментально-роздавальної комори, м²;

$S_{\text{пит}}$ - питома площа на один верстат, $S_{\text{пит}} = 2,2$ м²;

$C_{\text{заг}}$ - кількість верстатів.

$$S_{\text{ірк}} = 2,2 \cdot 80 = 176 \text{ м}^2,$$

У заготівельному відділенні здійснюється розрізання і центрування заготовок з пруткового матеріалу, обдирання прутків і труб, з яких виготовляються деталі в механічному відділенні.

Заготівельне відділення, якщо немає централізованого загальнозаводського цеху, розташовується суміжно зі складом матеріалів і заготовок.

Для виконання робіт у заготівельному відділенні передбачається застосування специфічного обладнання, до якого відносяться токарно-відрізні, дискові, ножівкові і циркулярні пили, фрезерно-центрувальні верстати, преси та інше устаткування. [7]

У невеликому цеху в заготівельному відділенні встановлюють до 10 верстатів. Площа заготівельного відділення приймається укрупнено 25 м² на один верстат.

Площа заготівельного відділення становить 250 м².

На службово-побутовій площі розташовують конторські та побутові приміщення. До конторських приміщень відносять площу, зайняту адміністративно-конторськими службами цеху. В цю ж площу входить також площа, зайнята конструкторськими і технологічними бюро. Побутовою називається площа приміщень, призначених для задоволення гігієнічних та санітарно-побутових потреб працюючих

При укрупнених розрахунках площу службово-побутових приміщень приймають рівною 25...30 % загальної площі цеху.

Площа службово-побутових приміщень становить - 60 м².

За результатами обрахунку площ всіх відділень цеху складаємо відомість площ цеху:

Таблиця 4.5 – Відомість площ цеху

№ п/п	Назва відділення	Площа, м ²
1	Механічне	1800
2	Складальне	550
3	Заготівельне	250
4	Контрольне	54
5	Заточне	56
6	ЦРБ	124
7	Для приготування МОР	72
8	Відведення та переробки стружки	85
9	ІРК, склад заготовок	176
	Всього	3167
10	Магістральні проїзди (12...15% від площі всіх відділень цеху)	475
	Всього	3642
11	Службово-побутові приміщення	60

4.2 Розробка планів компоновки цеху та розміщення обладнання на ділянці

При проектуванні цеху велике значення має вибір типу виробничої будівлі, його компоновки, розмірів в плані. [7]

Для цеху вибираю одноповерхову будівлю, з світло аераційними ліхтарями, кранову, з використанням колісного транспорту. За формою в плані цех буде прямокутним.

Каркас будівлі складається з фундаменту, колон, підкранових і обв'язувальних балок. Фундамент вибираю монолітний. На фундамент опираються колони і фундаментні балки.

Підкранові балки призначені для розміщення на них рейок мостових кранів.

Для перекриття прольоту і підтримування настилу покрівлі використовую несучі конструкції, які на машинобудівних підприємствах частіше всього використовуються у вигляді залізобетонних ферм.

Висота прольоту визначається виходячи з максимальної висоти обладнання, мінімальної відстані між обладнанням і вантажем, а також висоти транспортованих вантажів.

Компонувальний план являє собою схематичний план будівлі із зображенням на ньому цехів, відділень, ділянок, допоміжних і обслуговуючих приміщень без розстановки обладнання.

До компоувального плану додається поперечний переріз прольоту. На плані наносять координатні осі, які продовжують за контур зображення і закінчують колами, в яких проставляють марки (позначення) осей.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок в проектуваному цеху

Більшість обладнання механоскладального цеху працює на електричній енергії. Для безпечної експлуатації електроустановок потрібно дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з електроустаткуванням.

Застосовувані в електроустановках захисні заходи умовно можна поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок і ті, що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи. [4]

З метою забезпечення надійної роботи ізоляції здійснюються профілактичні заходи. Перш за все слід врахувати механічні пошкодження, зволоження, хімічний вплив, запилення. Але навіть за нормальних умов експлуатації ізоляція постійно втрачає свої початкові властивості, тобто старіє. З часу виникають дефекти місцевого типу, тоді як наслідок, опір ізоляції починає різко знижуватись, а струм втрат – зростати. Відповідно, ізоляція вигорає, а в місці дефекту з'являються часткові розряди. В результаті, відбувається так зване пошкодження або пробій ізоляції, внаслідок чого виникає коротке замикання, котре може призвести до пожежі або ураження електричним струмом. З метою запобігання пожеж та наслідків, до яких вони приводять здійснюється періодичний і безперервний контроль ізоляції. Періодичний контроль ізоляції включає вимірювання активного опору ізоляції у відповідності до встановлених правил терміни, а також при виявленні ефектів. Вимірювання опору ізоляції здійснюється на вимкненій електроустановці за допомогою мегомметра.

5.2 Розрахунок місцевого освітлення для вертикально-свердлильного верстату моделі 2Н150

Для розрахунку місцевого освітлення для верстату використовується точковий метод визначення місцевого освітлення [22].

В основі розрахунку лежить рівняння 5.1:

$$E = \frac{J_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{r^2}, \quad (5.1)$$

де, E - освітленість, лк;

J_{α} - сила світла в напрямку до джерела на дану точку робочої поверхні, кд;

α - кут між нормаллю робочої поверхні і напрямом до розрахункової точки;

r - відстань від світильника до розрахункової точки, м.

Для практичного використання вводимо в рівняння 8.1 коефіцієнт запасу

k і замінюємо r на $\frac{H_p}{\cos \alpha}$, звідси:

$$E = \frac{J_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{k \cdot H_p^2}, \quad (5.2)$$

де, E - освітленість, лк;

J_{α} - сила світла в напрямку до джерела на дану точку робочої поверхні, кд;

α - кут між нормаллю робочої поверхні і напрямом до розрахункової точки;

k - коефіцієнт запасу;

H_p - висота підвішування світильника над робочою поверхнею, м.

$$E = \frac{115 \cdot \cos^3 120^\circ}{1,5 \cdot 0,8^2} = 842 \text{ лк},$$

Знайдемо необхідний світловий потік:

$$\Phi = E \cdot S, \quad (5.3)$$

де, Φ - світловий потік, лк;

E - освітленість, лк;

S - площа світлюваної поверхні (прийmemo укрупнено $S = 1 \text{ м}^2$), м^2 .

$$\Phi = 842 \cdot 1 = 842 \text{ лк}$$

Необхідному світловому потоку відповідає лампа розжарювання типу МО 12-60 потужністю 60 Вт, [22, с.91, табл. 4].

Отже, для місцевого освітлення вертикально-свердлильного верстату моделі 2Н150 вибираємо світильник місцевого освітлення типу АМО для ламп розжарювання МО.

5.3 Заходи, що зменшують небезпеку виникнення вибухів і пожеж в проектуваному цеху

Вогнестійкість – це основний чинник, що впливає на розвиток пожежі в будівлі цеху [5]

Відповідно до визначення, вогнестійкість – це здатність елементів та конструкцій будівель зберігати свою несучу здатність, а також здатність чинити опір нагріванню до критичної температури, враховуючи утворення наскрізних тріщин та поширенню вогню. Вогнестійкість конструкцій та елементів будівель характеризується критерієм - межею вогнестійкості.

Межа вогнестійкості – це період часу від початку вогневого стандартного випробування зразків до доведення одного з граничних станів елементів та конструкцій. В лабораторних умовах межі вогнестійкості та максимальні межі розповсюдження вогню визначаються експериментальним шляхом дослідження у спеціальних печах під певним навантаженням.

Межа розповсюдження вогню враховує максимальний розмір пошкоджень, до яких відноситься обвуглення або вигорання матеріалу, що визначається візуально.

Існують певні протипожежні перешкоди, які застосовують для попередження розповсюдження вогню. При проектуванні та будівництві

промислових підприємств передбачаються заходи, які запобігають поширенню вогню зазначеними шляхами:

- поділу будівлі протипожежними перекриттями на пожежні відділи;
- поділу будівлі протипожежними перегородками на секції;
- влаштування протипожежних гребенів, бортиків для обмеження поширення вогню по конструкціях, по горючих матеріалах;
- влаштування протипожежних дверей і воріт;
- влаштування протипожежних розривів між будівлями.

Протипожежний захист об'єкта повинна досягатися застосуванням одного з наступних способів або їх комбінацією:

- застосуванням засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки;
- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння;
- застосуванням основних будівельних конструкцій і матеріалів, в тому числі використовуваних для облицювання конструкцій, з нормованими показниками пожежної небезпеки;
- застосуванням просочення конструкцій об'єктів антипіренами і нанесенням на їх поверхні вогнезахисних фарб (складів);
- пристроями, що забезпечують обмеження поширення пожежі;
- організацією за допомогою технічних засобів, включаючи автоматичні, своєчасного оповіщення та евакуації людей;
- застосуванням засобів колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі;
- застосуванням засобів протидимного захисту.

Кожен об'єкт повинен мати таке об'ємно-планувальне і технічне виконання, щоб евакуація людей з нього була завершена до настання гранично допустимих значень небезпечних факторів пожежі.

Для забезпечення евакуації необхідно: встановити кількість, розміри і відповідне конструктивне виконання евакуаційних шляхів і виходів, забезпечити можливість безперешкодного руху людей по евакуаційним шляхам, організувати при необхідності управління рухом людей по евакуаційним шляхам.

На кожному об'єкті має бути забезпечено своєчасне оповіщення людей і сигналізація про пожежу в його початковій стадії технічними або організаційними засобами. Перелік та обґрунтування достатності для цільової ефективності засобів оповіщення та сигналізації на об'єктах узгоджується в установленому порядку.

Засоби колективного та індивідуального захисту повинні забезпечувати безпеку людей протягом всього часу дії небезпечних факторів пожежі. Колективний захист слід забезпечувати за допомогою пожежобезпечних зон та інших конструктивних рішень.

Система протидимного захисту об'єктів повинна забезпечувати незадимлену, зниження температури і видалення продуктів горіння і термічного розкладання на шляхах евакуації протягом часу, достатнього для евакуації людей і колективний захист людей і матеріальних цінностей.

У будівлях і спорудах необхідно передбачити технічні засоби (сходові клітини, протипожежні стіни, ліфти, зовнішні пожежні драбини, аварійні люки та ін.), які мають стійкість при пожежі і вогнестійкість конструкцій не менше часу, необхідного для порятунку людей під час пожежі і розрахункового часу гасіння пожежі .

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної було прийнято ряд технологічних рішень, а саме використання нового обладнання, яке дозволяє обробляти деталь на більш продуктивних режимах різання. Результатом прийнятого рішення являється скорочення часу на механічну обробку деталі, економія технологічних ресурсів, таких як електроенергія, мастильно-охолоджуючі рідини, стиснуте повітря. Вибір правильного методу одержання заготовки дало змогу зменшити припуски на механічну обробку, а отже – економія матеріалу. Для завантаження і розвантаження металорізальних верстатів використовується промисловий робот, це сприяє автоматизації технологічного процесу виготовлення деталі і скорочення фізичних зусиль працівників. Для досягнення заданої точності обробки деталі було спроектовано ряд спеціальних різальних інструментів. Для контролю точності отриманих розмірів було спроектовано спеціальний вимірювальний інструмент, який дає змогу контролювати дотримання всіх розмірів. У порівнянні з базовим технологічним процесом спроектований технологічний процес економить фінансові кошти і собівартість виготовлення самої деталі, що ілюструють відповідні графіки.

Проаналізувавши отриманий технологічний процес можна дійти висновку, що побудова операцій отримана правильно, і даний технологічний процес носить реальний характер та забезпечує отримання якісної деталі у відповідності з робочим кресленням та технічними вимогами і може бути використаний в умовах діючого виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготованок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
2. Методические указания к курсовой работе «Проектирование и производство металлорежущего инструмента» - Тернополь, 1986.
3. Григурко І. О., Брендуля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
4. Курсовое проектирование по технологи машиностроения под редакцией Горбачевича А.Ф. – Издание 3-е, дополненное и переработаное, издательство «Вышэйшая школа», Минск, 1975.
5. Джигерей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Вид. 2-ге, стер. Київ : Знання, 2002. 203 с.
6. Жарков Н. В., Прокди Р. Г., Финков М. В. AutoCAD 2014 : посібник. Санкт-Петербург : Наука и техника, 2014. 624 с.
7. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В., Дячун А. Є. Механоскладальні дільниці та цехи : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 40 с.
8. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
9. Киселев И.А. Моделирование динамики процесса фрезерования тонкостенных сложнопрофильных деталей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Москва, 2013. - 243 с.
10. Кушак О.М. Методичні вказівки для виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 5.05050302 «Технологія обробки матеріалів на верстатах і автоматичних лініях». Тернопіль: Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2018. 19 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей

12. Пилипець М., Ногачівський Н. Визначення дослідження особливості процесу обробки зовнішніх циліндричних поверхонь Зб. Тез Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.: ТНТУ, 2020. С.111.
13. Петраков Ю В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. УкрНДІАТ, К.: 2004.– 384 с.
14. Маталин А.А. Технология машиностроения.– Л. – М., 1985. – 496 с.
15. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 207. 275 с.
16. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. 199 с.
17. Локтев А. Д. Общемашиностроительные нормативы режимов резания : справочник. В 2 т. Москва : Машиностроение, 1991.
18. Суслов А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с
19. Сушко О. В. Порівняльний аналіз процесів шліфування та лезвійної обробки інструментами з ПСТМ на основі нітриду бору / О. В. Сушко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2015. - Вип. 212(1). - С. 229-
20. Солнцев Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. 784 с.
21. Хоменко Ж.М. Аналіз можливостей використання середовищ комп'ютерної математики для розв'язку задач оптимізації систем// Вісник – Житомир: ЖДТУ, 2018. Вип. № 2 (82). – С. 174-178
22. І. С. Афтаназів, Я. М. Кусий Аналіз та вибір оптимальних фінішних операцій технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних деталей/ І. С. Афтаназів// Оптимізація виробничих процесів і

технологічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2000.
– № 412 [25] Вісник Національного університету "Львівська політехніка",
с.3-11

23. R.N. Arnold, The mechanism of tool vibration in the cutting of steel, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 154 - 1946. - P. 261-284.
24. E. Turkes, S. Orak, S. Neseli, Linear analysis of chatter vibration and stability for orthogonal cutting in turning // Journal of Refractory Metals and Hard Materials - 2011. - P. 163-169.
25. G. Totis, M. Sortino. Robust Analysis of Stability in Internal Turning // Proceda Engineering. - 2014. - Vol. 69. - P. 1306-1315.