

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: «Розробка маршруту виготовлення порожнистого валу для передачі
обертового моменту»

КРБ.133ГМбд_31[2].12.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою

Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва _____
назва ОПП

спеціальності 133 Галузеве
машинобудування _____

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «бакалавр» групи 1

Тимошенко Олег
Юрійович _____

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: канд. техн. наук., доцент Басова
Юлія Олександрівна _____

Прізвище та ініціали керівника

Полтава – 2024 рік

ВСТУП

Актуальність теми. Механічна обробка деталі – поширений технологічний процес сучасного машинобудування. Механічна обробка знаходить широке застосування в галузях машинобудування завдяки можливості отримання деталей різної форми та конфігурації із заданими технологічними показниками.

З метою забезпечення високої ефективності виробництва та створення якісної продукції необхідна розробка таких технологічних процесів, які дозволяють з найменшими трудовими та матеріальними витратами забезпечити виготовлення продукції з необхідними параметрами, характеристиками та властивостями.

Ефективність того чи іншого технологічного процесу залежить від того, наскільки обґрунтовано було зроблено вибір основного інструменту, обладнання, оснастки. А також від методів отримання заготовки та режимів різання.

В даному дипломному проекті розроблено та обґрунтовано технологічний процес виготовлення заданої деталі з урахуванням забезпечення високої якості її отримання методами механічної обробки на реальному обладнанні та спроектовано кондуктор для свердління отвору у заданій деталі.

Зважаючи на важливість зазначених проблем **метою дослідження** є розробка маршруту виготовлення порожнистого валу для передачі обертового моменту.

Для досягнення мети були виконані наступні **завдання**:

- ознайомитися із критеріями працездатності та розрахунків валів;
- проаналізувати службове призначення вузла, охарактеризувати конструкційні матеріали, що застосовуються для виготовлення порожнистого валу для передачі обертового моменту;
- спроектувати технологічний маршрут виготовлення порожнистого валу;
- обґрунтувати вибір оснащення та розрахувати надійність закріплення заготовок;
- здійснити техніко-економічний аналіз, розглянути вимоги охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Об'єкт дослідження є процес виготовлення порожнистого валу. **Предмет дослідження** – розробка технологічних операцій виготовлення порожнистого валу для передачі обертового моменту.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1. Загальні відомості про вали

Окремі елементи машин, що здійснюють обертовий рух, розміщують на осях та валах, які забезпечують для цих елементів постійне положення геометричної осі обертання [1, 2].

Вал – деталь, призначена для передавання крутного моменту та підтримування елементів машини у їхньому обертovому русі. Вали за формою геометричної осі можуть бути прямолінійними або колінчастими. Колінчасті вали використовують у двигунах внутрішнього згорання, поршневих помпах. Різноманітністю валів із непрямої геометричною віссю є гнучкі дротяні вали, які також належать до спеціальних деталей.

За конструкцією прямолінійні вали можуть бути циліндричними постійного діаметра (рис. 1.1, а), ступінчастими (рис. 1.1, б) і з нарізаними на них зубчастими вінцями або шліцами (рис. 1.1, в).

Рисунок 1.1 – Конструкції валів

Ступінчасті вали і вали з нарізаними зубчастими вінцями більш складні за конструкцією та у виготовленні, але дають змогу більш просто здійснити різні посадки деталей на окремих ділянках, забезпечують створення упорів та буртиків для осової фіксації встановлених на валах деталей. Крім цього, змінюючи розміри перерізів, можна наблизити форму вала до найвигіднішої форми бруса рівного

опору, що особливо важливо для валів, навантажених змінними за довжиною згинальними та крутними моментами.

За видом поперечного перерізу вали можуть бути суцільними (рис. 1.2, а) або порожнистими (рис. 1.2, б), а за обрисом перерізу гладкими циліндричними, із шпонковим пазом, шліцевими або прямокутними (рис. 1.2, в, г, д). Із використанням порожнистих валів значно зменшується їхня маса. Наприклад, якщо відношення $d_0/d = 0,5 \dots 0,6$, то маса зменшується на 22–30 %.

Рисунок 2 – Форми поперечних перерізів валів

Для валів та осей використовують вуглецеві та леговані сталі. Заготовками для валів діаметром до 150 мм у більшості випадків є круглий прокат, а для валів більшого діаметра та фасонних валів – поковки. Поверхні валів, що призначені для спряження з іншими деталями, повинні бути точно і чисто оброблені різцями. Параметри шорсткості поверхонь: під підшипники кочення $Ra = (3,2 \dots 0,80)$ мкм, а під підшипники ковзання $Ra = (0,40 \dots 0,1)$ мкм.

Для валів, розміри поперечних перерізів яких вибирають за умовою жорсткості, переважно використовують сталі Ст5 і Ст6. Для більшості інших випадків застосовують сталі 45, 50, 40Х, 40ХН та ін. Вали з цих сталей піддаються нормалізації, поліпшенню або гартуванню з нагрівом СВЧ і низьким відпуском (шліцеві вали, вали, що працюють у підшипниках ковзання, та інші випадки).

1.2. Критерії працездатності та розрахунок валів та осей

У процесі роботи вали та осі відчувають постійні або змінні за величиною та напрямом навантаження. Міцність валів і осей визначається величиною і

характером напруги, що виникають у них під дією навантажень. Постійні за величиною і напрямом навантаження викликають у нерухомих осях постійні напруги, а в осях, що обертаються (і валах) – змінні [2, 3].

Характерною особливістю валів є те, що вони працюють при циклічному згинанні найбільш небезпечного симетричного циклу, який виникає внаслідок того, що вал, обертаючись, повертається до діючих згинальних навантажень то однією, то іншою стороною. При розробці конструкції валу має бути звернена найпильніша увага на вибір правильної його форми, щоб уникнути концентрації напруг у місцях переходів, причиною яких можуть бути втомні руйнування. З цією метою слід уникати:

- а) різких переходів перерізів;
- б) канавок та малих радіусів округлень;
- в) некруглих отворів;
- г) грубої обробки поверхні.

Для оцінки правильного вибору геометричної форми валу користуються гідравлічною аналогією, яка говорить: "Якщо контур деталі уявити як трубу, в якій рухається рідина, то там, де турбулентний потік, виникне концентрація напруг".

Поломки валів і осей, що обертаються, в більшості випадків носять втомний характер. Причини поломок:

- а) невдалий вибір конструктивної форми та неправильна оцінка впливу концентрації напруги, викликані цими формами;
- б) концентрація напруг, викликана обставинами технологічного чи експлуатаційного характеру: надрізи, сліди обробки та інших.
- в) порушення норм технічної експлуатації: неправильне регулювання затягування підшипників, зменшення необхідних зазорів.

Найчастіше поломки відбуваються в зоні розташування таких концентраторів напруги, як шпонкові пази, галтелі, поперечні глухі та наскрізні отвори. Критерієм міцності для більшості валів сучасних швидкохідних машин є витривалість. Втомні руйнування становлять 40-50% випадків виходу валів і осей з ладу.

Критерієм жорсткості валів є умови правильної роботи зубчастих передач та підшипників, а також вібростійкість. Таким чином, основними критеріями працездатності валів та осей є їхня міцність і жорсткість.

Нерухомі осі, в яких виникають постійні напруження, розраховують на статичну міцність.

Тихохідні осі та вали, що працюють з перевантаженням, повинні бути розраховані не тільки на витривалість, а й на статичну міцність.

Щоб знати попередні розміри валів, їх спочатку розраховують на статичну міцність, а потім на витривалість.

Для деяких конструкцій важливе значення має обмеження величини деформації кручення валів (трансмісійні вали механізмів пересування мостових кранів, шліцеві вали тощо). У цьому випадку розрахунком визначають дійсний кут закручування валу та порівнюють його з допустимим $[\varphi]$. Причиною виходу з ладу валів можуть бути їх коливання. Тому такі вали додатково розраховуються на вібростійкість. У цьому курсі ці питання не розглядаються.

Для працездатності валу або осі необхідно забезпечити:

- об'ємну міцність (здатність чинити опір $M_{виг}$ і $M_{крут}$);
- поверхневу міцність (особливо у місцях з'єднання з іншими деталями);
- жорсткість на вигин;
- крутильну жорсткість (особливо для довгих валів).

Усі вали обов'язково розраховують на об'ємну міцність.

З викладеного вище випливає, що в залежності від характеру напруги, що виникають у валах і осях, можливі два випадки розрахунку їх на міцність: на статичну міцність і на втомну міцність.

Вали і осі в основному відчувають напруги, що циклічно змінюються. Звідси випливає, що основним критерієм працездатності валів та осей є втомна міцність. Статична руйнація зустрічається дуже рідко. Воно відбувається під впливом випадкових короткочасних навантажень. Для валів розрахунок опір втоми

(уточнений розрахунок) вважається основним. Розрахунок на статичну міцність виконують як перевірочний.

Втомна міцність (витривалість) валів і осей оцінюється коефіцієнтом запасу міцності. Нерухомі осі при дії постійних навантажень розраховують лише на статичну міцність. Рухливі швидкохідні осі та вали розраховують на витривалість.

Тихохідні вали та осі, навантажені змінним навантаженням, розраховують на статичну міцність та витривалість.

Основними розрахунковими силовими факторами для осей і валів є згинальні M_n і M_k , що крутять (тільки для валів) моменти. Вплив сил, що розтягують і стискають, незначний, тому, як правило, в розрахунках не враховується. Методом оцінки міцності осей і валів є порівняння розрахункових напруг із допусканими за такими умовами міцності:

$$\sigma_u \leq [\sigma]_u ; \tau_u \leq [\tau]_k \quad (1.1)$$

де σ_u, τ_u – виникаючі (розрахункові) напруги вигину і кручення в небезпечному перерізі валу, осі;

$[\sigma]_u, [\tau]_k$ – напруги, що допускаються, на вигин і на кручення.

Спроектовані вали та осі з урахуванням забезпечення статичної або втомної міцності іноді виходять з ладу внаслідок недостатньої їх жорсткості або через вібрацію. Крім того, мала жорсткість порушує нормальну роботу зубчастих передач та підшипників. Вали та осі додатково розраховують на жорсткість та коливання.

Жорсткість валів та осей оцінюється величиною прогину в місцях установки деталей або кутом закручування перерізів; коливання - критичної кутової швидкості

1.3 Розрахункові схеми валів

Розрахункові схеми валів та осей зображають у вигляді балок на шарнірних опорах, які навантажені поперечними та осьовими силами, що виникають у зачепленні встановлених на них зубчастих коліс, від натягу віток пасової чи ланцюгової передачі, від дії власної ваги шківів, барабанів та інших встановлених на валу деталей. При складанні розрахункових схем валів та осей (рис. 1.3) необхідно із певним наближенням визначити відстань між опорами, місця розміщення деталей, через які передаються на вали та осі зовнішні навантаження [1-3].

Рисунок 1.3 – До складання розрахункових схем валів

При коротких опорах вала чи осі (підшипники кочення, підшипники ковзання з відношенням довжини цапфи до її діаметра $l/d < 0,6$) центр опори суміщають із серединою підшипника (рис. 5, а). При довгих опорах ковзання ($l/d > 0,6$) внаслідок нерівномірності розподілу навантаження по довжині підшипника теоретично центр опори вважають розміщеним приблизно на відстані $(0,25...0,30)l$ від краю підшипника з боку навантаженої частини вала чи осі (рис. 5, б). Вали, які передають навантаження від насаджених на нього деталей, передають навантаження у середньому перерізі по довжині посадочної поверхні. Це припущення можна брати, якщо відстань між опорами вала чи осі значно перевищує ширину b деталі. У противному разі слід враховувати закономірність розподілу навантаження вздовж посадочної

поверхні хоча б рознесенням зовнішнього навантаження F так, як показано на рис. 1.3, в.

Розрахункові схеми валів та осей можуть бути надзвичайно різноманітними.

Проаналізуємо розрахункову схему на прикладі двохопорних валів як статично визначеної системи. Власну вагу валів та встановлених на них деталей здебільшого у розрахунках не беруть до уваги при невеликих їхніх розмірах, хоча її врахування не створює принципових труднощів.

Рисунок 1.4 – Розрахункова схема двохопорного осі валу

Найпростішою є розрахункова схема осі (рис. 1.4, а), навантаженої однією (або кількома) поперечною силою F . Більш складними є розрахункові схеми валів. На (рис. 1.4, б, в) зображені розрахункові схеми валів відповідно циліндричної та конічної передач з розміщенням зубчастого колеса між опорами 1, 2 валу і консольним розміщенням колеса. В цих схемах вали навантажуються крутним моментом T , поперечними та осьовими силами F_t , F_r , F_a , що виникають у зачепленні зубців відповідної передачі. Крім сил у зачепленні на вал можуть діяти також *сили від натягу віток пасової чи ланцюгової передачі* (сила F на рис. 1.4 в) або *сили від взаємодії деталей муфт*, що з'єднують вали.

Рисунок 1.5 – Розрахункові схеми валів циліндричної та конічної передач

Розрахункові схеми проміжних валів багатоступеневих зубчастих передач представлені на рис. 1.5, г, д, е. Ці схеми відрізняються між собою взаємним розміщенням місць прикладання сил, що виникають у зачепленні зубчастих коліс, розміщених на валу. Під час аналізу таких схем навантаження валів слід розглядати окремо силові фактори в різних площинах, а відтак сумувати геометричне.

Із розглянутих схем видно, що вали в процесі роботи зазнають *деформацій згину, розтягу або стиску* і кручення. Сталість напруги поперечних щодо поздовжньої осі валу сил спричинює у валах, що обертаються, появу циклічно змінних напружень згину, а дія осьових сил – виникнення у перерізах валів напружень розтягу або стиску. Характер зміни дотичних напружень кручення відповідає характеру зміни в часі крутного моменту T .

Отже, різні перерізи валів знаходяться під дією змінних у часі нормальних і дотичних напружень. Тому для більшості валів сучасних швидкохідних машин такий критерій міцності, як стійкість валів проти втомного руйнування, має вирішальне значення. Втомне руйнування відбувається у 40–50 % випадків виходу валів із ладу. Для тихохідних валів або валів, що зазнають дії короткочасних пікових перевантажень, основним розрахунковим критерієм є також статична міцність.

Вали, що мають значні (порівняно з діаметром) відстані між опорами, можуть бути недостатньо жорсткими у поперечному напрямі. Це може спричинити порушення геометрії зачеплень зубчастих коліс, заклинювання валів в опорах або недопустимі поперечні коливання валів. Тому важливим критерієм розрахунку довгих валів є також умова достатньої жорсткості [1-6].

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1. Технологічний аналіз робочого креслення деталі та характеристика матеріалу заготовки деталі

Умови роботи деталі типу «Вал» для механічної обробки. Дана деталь відноситься до великого класу деталей. Під час роботи штовхач відчуває:

- напруги розтягування;
- на поверхнях різблення виникають контактні напруги, які можуть спричинити руйнування в зоні контакту;
- можливі теплові навантаження.

До деталі пред'являються такі вимоги:

1. Твердість поверхні Rc 32-40
2. Гострі кромки притупити R0,2.

Матеріал деталі – сталь 38ХА. Це легована високоякісна сталь. Склад цієї марки сталі наступний:

– кремній (Si)	0,17-0,37%
– марганець (Mn)	0,50-0,80%
– мідь (Cu)	трохи більше 0,30%
– нікель (Ni)	трохи більше 0,30%
– сірка (S)	не більше 0,025%
– вуглець (C)	0,35-0,42
– фосфор (P)	0,025
– хром (Cr)	0,80-1,10

Матеріал цементований, добре обробляється різанням лезовими інструментами до цементзації та загартування (коефіцієнт оброблюваності по відношенню до сталі 45 дорівнює 0,8), а після цієї термохімічної обробки обробляється абразивним інструментом методом шліфування. Крім цього, матеріал досить добре деформується у гарячому стані.

Механічні властивості матеріалу при азотуванні:

- межа міцності - $\sigma_{\sigma} \geq 95 \text{ кгс/мм}^2$,
- межа плинності $\sigma_m \geq 80 \text{ кгс/см}^2$,
- відносне подовження зразка при розриві $\delta \geq 10$,
- відносне звуження перерізу $\psi = 50\%$,
- ударна в'язкість $a_H = 8 \text{ кгс м/см}^2$

Необхідну твердість матеріалу деталі HRC-32 ... 40 отримують шляхом загартування за технологією термічного цеху (твердість матеріалу заготовки HRC - 27 ... 29). Зварюваність: важкозварювана, рекомендується зварювання плавленням із попереднім підігрівом та подальшою термообробкою.

Призначення сталі 38ХА: черв'яки, зубчасті колеса, шестерні, вали, осі, відповідальні болти та інші деталі, що покращуються.

2.2. Опис конструкції та геометричних характеристик деталі

У конструкції валу порожнистого можна виділити такі елементи. Є 2 отвори $\varnothing 6 \text{ мм}$, які розташовані перпендикулярно до осі та 2 отвори, що йдуть крізь вал, один за одним, співвісно з віссю симетрій. Перший отвір $\varnothing 15 \text{ мм}$ на глибину 5 мм, другий $\varnothing 20 \text{ мм}$ на глибину 100 мм. Шорсткість для цих двох отворів Rz-2,5. Для інших поверхонь шорсткість Rz-40.

Конструкторські поверхні:

- різьбова поверхня $\varnothing 27$;
- поверхні А та Б.

Поверхні прості та доступні для обробки на універсальному обладнанні. Технічні вимоги до цих поверхонь легко забезпечити.

Для обробки отворів у заготовці використовують універсальне обладнання. Тому, технічні вимоги забезпечити не складно.

Технічні вимоги щодо твердості забезпечуються шляхом застосування загартування поверхні валу.

Обробка деталі буде проводитись від чорнових операцій до чистових, що дозволить досягти заданої точності геометричних розмірів. Поверхні, що мають задане обмеження биття будуть оброблятися в одній операції з тими поверхнями, щодо яких ці биття задані [7].

Поверхні деталі мають просту геометричну форму, що дозволяє використовувати їх як технологічні бази при виготовленні деталі на завершальній стадії обробки (рис 2.1).

Рисунок 2.1 – Конструкція та геометрія валу

Позначення поверхні деталі та їх опис наведено у табл. 2.1

№ поверхні	Технічні вимоги	Технологічні наслідки
1,7	Розмір (105°) (11 квалітет) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
2	Розмір (5x15°) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
3	Розмір (66) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
4	Розмір (32) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
5	Розмір (Ø27) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Нарізанння різьби Закалювання

Продовження табл 2.1

6	Розмір (Ø6) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Сверління
8	Розмір (Ø 15)(11 квалітет) Шорсткість поверхні (Rz2,5) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалка
9	Розмір (Ø 25) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
10	Розмір (100) (11 квалітет) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
11	Розмір (Ø 20) (11 квалітет) Шорсткість поверхні (Rz2,5) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
12	Розмір (Ø36) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалка
13	Розмір (R1) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання
14	Розмір (Ø25) Шорсткість поверхні (Rz40) Твердість поверхні (HRC 46-52)	Напівчистове точіння Закалювання

2.3. Загальна характеристика технологічності деталі

Аналіз технологічності конструкції порожнистого валу має на меті виявити можливості зменшення металомісткості деталі, трудомісткості її механічної обробки та використання високопродуктивних методів обробки.

У даної деталі малі перепади діаметрів, що дозволяє застосувати багато різцевих верстатів. У деталі передбачені фаски, що дозволяє проводити обробку в центрах. Конструкція деталі досить проста, що дозволяє обробляти поверхні стандартним різальним інструментом. Контроль більшості поверхонь здійснюється стандартним вимірювальним інструментом, без обмеження доступності, що робить її контролепридатною.

З аналізу конструкції деталі, можна сказати, що деталь технологічна.

2.4. Визначення типу виробництва

Проектування технологічного процесу та розробка його маршруту мають виконуватися з урахуванням типу організації виробництва. Розрізняють три основні типи машинобудівного виробництва: масове, серійне та одиничне.

Для оцінки типу виробництва можна скористатися характеристикою серійності, в основу якої покладено класифікацію деталей за їхньою масою та габаритами (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристика серійності виробництва

Тип виробництва	Кількість деталей одного найменування, що виготовляються за рік.		
	Тяжких (великих) масою понад 30 кг	Середніх масою	Легких (дрібних) масою до 6 кг.
Одиничне	До 5	До 10	До 100
Малосерійне	5..100	10...200	100...500
Серійне	100...300	200...500	500...5000
Крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
Масове	більше 1000	більше 5000	більше 50000

У нашому випадку річна програма випуску $N=240$ шт, та маса до 6 кг, за таблицею встановлюємо тип виробництва – дрібносерійне.

2.5. Вибір та економічне обґрунтування способу отримання заготівлі

Аналіз креслення деталі, тип виробництва дозволяють встановити вид, спосіб отримання заготівлі та точнісні характеристики заготовки [7].

У нашому випадку сталь 38ХА - сплав, що деформується. Конфігурація деталі – валик із невеликою різницею діаметрів. Вид виробництва – серійне. З умов заготівлю можна отримувати штампуванням на молотах, пресах, на гарячекатаних машинах.

Штамування на гарячекатаних машинах має такі переваги:

- можна легко штампувати деталі, які на іншому обладнанні раціонально виготовити не можна;
- досягається економія металу, так як штампування проводиться переважно в закритих штампах, а штампувальні ухили в ряді випадків відсутні;
- макроструктура поковок виходить сприятливою та забезпечує високу якість деталей;
- можливе застосування вставок для струмків, чим економиться штампувальна сталь;
- робота на гарячекатаних машинах легко автоматизується.

До недоліків штампування на гарячекатаних машинах належать:

- менша універсальність порівняно з молотами та пресами. Номенклатура поковок різко обмежена;
- низька стійкість штампів, яка пояснюється рядом причин. Штамп закритий, тому виникають навантаження в порожнині струмка;
- необхідність очищення нагрітого дроту від окалини, оскільки деформування відбувається за один хід, і вся окалина буде заштампована.

На рис 2 представлені ескізи одержання двох варіантів заготовок, чиста вага (маса) деталі 0,345 кг. У розмірах заготовки враховані припуски необхідні для забезпечення вказаної точності. Перший варіант (рис 2.2 а) - гарячекатана машина, вага заготовки $G_{\text{заг.1}} = 0,789$ кг. Другий варіант (рис 2.2 б) - пруток, вага заготовки $G_{\text{заг.2}} = 1,365$ кг.

Рисунок 2.2 - а) гарячекатана машина; б) круглий пруток

Застосування обох варіантів не потребує розробки принципово відмінних технологічних процесів виготовлення деталі. Отже, порівняльний економічний розрахунок наведений у розділі 4.1. даної роботи.

2.6. Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

2.6.1 Вибір технологічних баз

Вихідні технологічні бази – поверхні 3 і 4. Настановні бази – поверхні 5 і 9 (найбільш зручні для цієї мети). Більш правильне визначення технологічних баз і настановних поверхонь можливе після складання технологічного маршруту, тобто після встановлення комплексу оброблюваних поверхонь та проставлення операційних розмірів.

2.6.2 Встановлення послідовності обробки поверхонь заготовки

Усі елементарні поверхні деталі можна розділити на дві групи:

- торці (поверхні 1, 3, 4, 7, 10, 13);
- циліндричні (2, 5, 8, 9, 11, 12, 14);
- округлення 13;
- отвір 6.

Як першу чорнову базу приймаємо поверхні 3 і 9, так як поверхня 3 утворилася в порожнині матриці гарячекатаної машини та не має штампувальних ухилів.

Менш відповідальні поверхні обробляються етапі чорнового точіння. Необхідно обробити отвори та бічні поверхні до термообробки, так як після цієї операції можуть виникнути труднощі їх формоутворення лезовим інструментом. Після отримання готової деталі виконується контроль.

2.6.3 Формування принципової схеми технологічного процесу

Аналіз креслення деталі, заготовки, послідовності обробки поверхонь дозволяють сформувати наступну принципову схему технологічного маршруту та технологічного процесу загалом (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Етапи обробки заготовки и їх призначення

№ етапу	Найменування етапу	Призначення
Е1	Чорновий	Знімання зайвих напусків та припусків, формування вільних поверхонь
Е2	Чистовий	Знімання шару
Е3	Термічний	Загартування
Е4	Контрольний	Остаточний контроль геометричних параметрів та якості поверхневого шару

2.6.4 Формування структури технологічного процесу

Приналежність кожної елементарної поверхні етапів обробки принципової схеми технологічного процесу показано у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Ступені та вид обробки по кожній із поверхні

№ елементи поверхні	Кількість ступенів обробки	Етап обробки			
		Е1	Е2	Е3	Е4
1	2	+	—	+	+
2	2	+	—	+	+
3	2	+	—	+	+
4	2	+	—	+	+
5	2	+	—	+	+
6	2	+	—	+	+
7	2	+	—	+	+
8	3	+	+	+	+
9	2	+	—	+	+
10	3	+	+	+	+
11	3	+	+	+	+
12	2	+	—	+	+
13	2	+	—	+	+
14	2	+	—	+	+

Виділимо у кожному етапі групи поверхонь, які можна обробити однієї операції за одну установку заготовки, тобто. створимо технологічні комплекси.

Таблиця 2.5 – Розподіл поверхонь за етапами обробки

№ етапу	№ комплексу		
	1	2	3
E1	1, 2, 3, 8, 9, 12	4, 5, 7, 10, 11, 13, 14	6
E2	8, 10, 11		
E3	Все		
E4	Все		

2.6.5 Вибір методу обробки та типу обладнання

Для обробки елементарних поверхонь деталі застосуємо методи точіння поверхонь тіл обертання та свердління отворів. Технологічні можливості цих методів цілком відповідають вимогам щодо точності та якості поверхні.

З метою забезпечення найбільш високої продуктивності процесу обробки заготовки на чорновому етапі використовуємо верстат 16K20, а при свердлінні отворів універсальний верстат 2M112, так як завжди необхідна переустановка деталі з метою точного базування.

Токарно гвинторізний верстат 16K20 (рис 2.3.) призначений для виконання різноманітних токарних робіт: обточування та розточування циліндричних та конічних поверхонь, нарізування зовнішніх та внутрішніх метричних, дюймових, модульних та питних різьблень, а також свердління, зенкерування, розгортання тощо. Відхилення від циліндричності 7 мк, конусності 20 мк на довжині 300 мм, відхилення від прямолінійності торцевої поверхні діаметром 300 мм - 16 мк.

Рисунок 2.3 –Токарно гвинторізний верстат 16K20

Верстат оснащений механічним фрикціоном, приводом швидких переміщень супорта, задня бабка має аеростатичне розвантаження, напрямні станини загартовані HRc 49...57 та має наступні технічні характеристики

- найбільша довжина виробу, що обробляється, мм – 1000
- висота осі центрів над плоскими напрямними станини, мм – 215
- межі оборотів, об/хв – 12,5-1600
- межі подач, мм/об
 - поздовжні – 0,05-2,8
 - поперечних – 0,002-0,11
- потужність електродвигуна головного приводу, кВт – 11
- найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм – 400
- найбільший діаметр обробки над поперечними санчатами супорта, мм – 220
- найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір у шпинделі, мм – 50
- габаритний розмір верстата, мм
 - довжина – 2795
 - ширина – 1190
 - висота – 1500
- маса верстата, кг 3005

Технічні характеристики вертикально-свердлувального промислового верстата 2М112 (рис. 2.4) наведені у таблиці 2.6

Рисунок 2.4 – Верстат 2М112

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики вертикально-свердлувального промислового верстата 2М112

Найменування показника	Значення показника
Найбільший розмір свердління та різьбонарізання, мм	12 (до 16мм - сверлильний патрон в комплекті)
Нарізання різьблення (реверс)	M12
Виліт шпинделя (відстань від осі шпинделя до колони, що утворює), мм	190
Розмір конуса шпинделя зовнішній згідно з ДСТУ ГОСТ 9953.	B18
Найменування показника	Значення показника
Найбільша відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, <i>min-max</i> , мм	50-400
Найбільше переміщення шпинделя, мм	100
Ціна поділу лімба, мм	1
Подача при свердлінні	ручна
Кількість швидкостей шпинделя	5
Межі частоти обертання шпинделя, <i>min-max</i> , об/хв	450-4500
Потужність електродвигуна, кВт	0,55

Частота обертання електродвигуна, об/хв.	1500
Напруга трифазного електричного живлення, В	380
Розміри робочої поверхні столу, мм	200 x 250
Кількість Т-подібних пазів	3
Відстань між пазами, мм	50
Ширина пазів, мм	14
Габаритні розміри, мм	770x370x950
Маса, не більше, кг	120

2.6.6 Побудова ескізного технологічного маршруту

На підставі даних, наведених вище, розроблена маршрутна карта та технологічний маршрут виготовлення заданої деталі, складено альбом операційних карт та зображені у графічному вигляді та операції.

2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахуємо режими різання на обточування зовнішньої поверхні (10 операція), підрізання торця в операції 15 (токарна, чорнова), а також свердління отвору в операції 25. Розрахунок режимів різання ведемо методичних посібників [8, 9].

Матеріал, що обробляється 38ХА має $E=200000\text{Мпа}$ $\sigma_B \geq 950\text{МПа}$. За допомогою довідкового матеріалу встановлюємо, що при обробці конструкційних вуглецевих сталей рекомендується застосовувати швидкорізальний різець марки Р6М5.

2.7.1. Розточування циліндричної поверхні (операція 10)

За довідковим матеріалом [10] виявляємо, що при обробці конструкційних вуглецевих сталей рекомендується застосовувати швидкорізальний різець марки Р6М5. Розточування зовнішньої поверхні проводитимемо прохідним різцем.

Верстат 16К20 допускає застосування різців з максимальним розміром перерізу державки 25x25, тому за довідковим матеріалом вибираємо різець з параметрами $B \times H = 16 \times 25\text{ мм}$, $L=120\text{ мм}$.

Геометрію різця вибираємо за довідковим матеріалом [10]. Форма передньої поверхні плоска з фаскою .

2.7.1.1 Вибір глибини різання

Для поверхні 9 згідно з ескізом маршруту технологічного процесу $\Delta = 1$ мм. Виробляємо обробку в один прохід. Отже, приймаємо $t = 1$ мм.

Шорсткості оброблюваних поверхонь $R_z = 40$ мкм. Обробку рекомендується проводити в один прохід. Приймаємо $t = 1$ мм.

Розрахунок подачі за міцністю механізму подачі верстата

Використовуємо формулу 2.1

$$S_1 \leq Y_{PZ} \sqrt{\frac{Q_{M.II}}{K_1 C_{PZ} t^{X_{PZ}} V^{Z_{PZ}}}} \quad (2.1)$$

За технічними характеристиками станка 16K20 $Q_{M.II} = 3530$ Н

За табличними значеннями для сталі 38ХА:

- механічні характеристики: $E = 210\,000$ МПа, $\sigma_s \geq 950$ МПа
- значення коефіцієнтів і показників: $C_{PZ}^I = 2000$; $X_{PZ} = 1,0$; $Y_{PZ} = 0,75$;
 $K_{\phi PZ} = 1,0$; $K_{r PZ} = 1,0$; $K_{h PZ} = 1,0$

Для різців с $\gamma > 0^\circ$ приймаємо $K_1 = 0,45$ и приблизно $V = 60$ м/хв.

Визначаємо $C_{PZ} = C_{PZ}^I K_{\phi PZ} K_{r PZ} K_{h PZ} = 2000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2000$.

$$S_1 \leq \sqrt[0,75]{\frac{3530}{0,45 \cdot 2000 \cdot 1^{1,0} \cdot 60^0}} = 3,77 \text{ мм/об.}$$

2.7.1.2. Розрахунок подачі по міцності державки різця

Використовується формула 2.2

$$S_2 \leq Y_{PZ} \sqrt{\frac{B \cdot H^2 [\sigma_u]}{K_2 \cdot 6 \cdot l \cdot C_{PZ} \cdot t^{X_{PZ}} \cdot V^{Z_{PZ}}}} \quad (2.2)$$

Було прийнято: $B = 25$ мм; $H = 16$ мм; $[\sigma_u] = 260$ МПа; $K_2 = 1,5$; $l = 35$ мм.

$$\text{Отримаємо: } S_2 \leq \sqrt[0,75]{\frac{25 \cdot 16^2 \cdot 260}{6 \cdot 1,5 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 1^{1,0} \cdot 60^0}} = 2,22 \text{ мм/об}$$

2.7.1.3. Розрахунок подачі по заданій шорсткості

Використовуємо формулу 2.3

$$S_3 \leq \frac{C_s \cdot R_z^y \cdot r^n \cdot \gamma^{0,3} \cdot \alpha^{0,25}}{t^x \cdot (\phi \cdot \phi_1)^Z \cdot h_3^{0,2}} \cdot K_S \quad (2.3)$$

За довідковими матеріалами [10] знаходимо, що при обробці сталі: $C_s = 0,007$; $n = 0,7$; $X = 0,3$; $y = 1,4$; $Z = 0,35$.

Вибраний різець має $\gamma = 20^0$; $\alpha = 12^0$; $\phi = 45^0$; $\phi_1 = 10^0$; $r = 1,025\text{мм}$; $h_3 = 1\text{ мм}$, таким чином, $S_3 \leq \frac{0,007 \cdot 40^{1,4} \cdot 1,025^{0,7} \cdot 20^{0,3} \cdot 12^{0,25}}{1^{0,3} \cdot (45 \cdot 10)^{0,35} \cdot 1^{0,2}} \cdot 1,0 = 0,22\text{мм/об}$.

2.7.1.4. Вибір найбільшої технологічно допустимої подачі

Із усіх подач найменшою є S_3 . З наявних у верстата подач, вибираємо найближчу меншу або рівну їй. Для верстата 16K20 $S_{ст}=0,2\text{ мм/про}$, отже, $S_{опт.}=0,2\text{ мм/об}$.

2.7.1.5. Вибір швидкості різання

Частота обертання шпинделя верстата визначається за формулою 2.4

$$n \leq \frac{1000 \cdot C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S_o^{yv} \cdot \pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.4)$$

За довідковими матеріалами приймаємо: $T=45\text{ хв}$, $D=75\text{ мм}$.

Знаходимо $C_v^I = 87,5$; $X_v=0,25$; $Y_v=0,33$; $m=0,125$; $K_{\phi v}=1,0$; $K_{\phi_{1v}}=1,0$; $K_{u_v}=0,95$; $K_{n_v}=1,0$; $K_{m_v}=0,63$; $K_{o_v}=0,8$.

Визначаємо: $C_v = C_v^I \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi_{1v}} \cdot K_{u_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{m_v} \cdot K_{o_v} = 87,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,63 \cdot 0,8 = 41,895$.

$$\text{Таким чином } n \leq \frac{1000 \cdot 41,895}{45^{0,125} \cdot 1,45^{0,25} \cdot 0,2^{0,33} \cdot \pi \cdot 75} = 654,6 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для станка 16K20 за довідковими матеріалами:

- $n_x=630$ об/хв;
- $n_{x+1}=800$ об/хв.

Порівняти хвилинні подачі для цих ступенів:

$$S_X = S_0 \cdot n_X; \quad S_{X+1} = S_0^I \cdot n_{X+1};$$

$$S^I \leq S_0 \cdot \sqrt[0.15]{\frac{n}{n_{X+1}}} = 0,2 \cdot \sqrt[0.15]{\frac{654,6}{800}} = 0,053 \frac{\text{мм}}{\text{об}}.$$

Найближча менша, яка є на верстаті

$$S_0^I = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{об}}, \quad S_X = 0,2 \cdot 630 = 126 \frac{\text{мм}}{\text{хв}},$$

$$S_{X+1} = 0,05 \cdot 800 = 40 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}, \quad S_{X+1} < S_X.$$

Таким чином, найвигіднішим режимом різання буде: $t=1$ мм; $S=0,2$ мм/об; $n=630$ об/хв.

$$\text{Справжня швидкість різання: } V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28 \cdot 630}{1000} = 55,39 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

2.7.2. Підрізка торця (операція 15)

Здійснюємо підрізування торцевої поверхні. Будемо використовувати прохідний упорний прямий різець.

Верстат 16K20 допускає застосування різців з максимальним розміром перерізу державки 25х25, приймаємо такий же різець, як для обточування циліндричних поверхонь, з параметрами:

Головний кут у плані $\phi = 45^\circ$, допоміжний кут у плані $\phi_1 = 10^\circ$, радіус при вершині різця $r = 0,025(H+B) = 0,025(16+25) = 1,025$ мм, попередній кут $\gamma = 20^\circ$, задній кут $\alpha = 12^\circ$, задній допоміжний кут $\alpha_1 = 12^\circ$, фаска на передній поверхні $f = 0,015(H+B) = 0,015(16+25) = 0,615$ /мм, кут на фасці $\gamma_\phi = 5^\circ$, кут нахилу головного ріжучого краю $\lambda = -2^\circ$, допустима величина зносу $h_3 = 1$ мм.

2.7.3. Вибір глибини різання

Для поверхні 7 згідно з ескізом маршруту технологічного процесу $\Delta_3=1,5$ мм. Виробляємо обробку в один перехід. Таким чином, приймаємо $t=1,5$ мм.

2.7.4. Розрахунок подачі за міцністю механізму подачі станка

Використовується формула 2.5

$$S_1 \leq \sqrt[0,75]{\frac{Q_{M.II}}{K_1 C_{P_Z} t^{X_{P_Z}} V^{Z_{P_Z}}}} \quad (2.5)$$

За паспортними даними верстата 16К20: $Q_{M.II} = 3530 \text{ Н}$

За довідковими матеріалами [10] для сталі 38ХА:

- механічні характеристики: $E = 210\,000 \text{ МПа}$, $\sigma_s \geq 950 \text{ МПа}$
- значення коефіцієнтів та показників: $C_{P_Z}^I = 2000$; $X_{P_Z} = 1,0$; $Y_{P_Z} = 0,75$;

$$K_{\phi P_Z} = 1,0; K_{r P_Z} = 1,0; K_{h P_Z} = 1,0;$$

Для різців с $\gamma > 0^\circ$ приймаємо $K_1 = 0,45$ і орієнтовно $V = 60 \text{ м/хв}$.

Визначаємо $C_{P_Z} = C_{P_Z}^I K_{\phi P_Z} K_{r P_Z} K_{h P_Z} = 2000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2000$.

$$S_1 \leq \sqrt[0,75]{\frac{3530}{0,45 \cdot 2000 \cdot 0,5^{1,0} \cdot 60^{0,75}}} = 6,19 \text{ мм/об.}$$

2.7.5. Розрахунок подачі по міцності державки різця

Використовується формула 2.6

$$S_2 \leq \sqrt[0,75]{\frac{B \cdot H^2 [\sigma_u]}{K_2 \cdot 6 \cdot l \cdot C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot V^{Z_{P_Z}}}} \quad (2.6)$$

За вихідними даними: $B = 25 \text{ мм}$; $H = 16 \text{ мм}$; $[\sigma_u] = 260 \text{ МПа}$; $K_2 = 1,5$; $l = 35 \text{ мм}$.

$$\text{отримаємо : } S_2 \leq \sqrt[0,75]{\frac{25 \cdot 16^2 \cdot 260}{6 \cdot 1,5 \cdot 35 \cdot 2000 \cdot 0,5^{1,0} \cdot 60^{0,75}}} = 3,65 \text{ мм/об.}$$

2.7.6. Розрахунок подачі за заданою шорсткістю

Використовується формула 2.7

$$S_3 \leq \frac{C_S \cdot R_z^y \cdot r^n \cdot \gamma^{0,3} \cdot \alpha^{0,25}}{t^x \cdot (\phi \cdot \phi_1)^Z \cdot h_3^{0,2}} \cdot K_S \quad 2.7$$

За довідковими матеріалами [10] знаходимо, що при обробці сталі: $C_S = 0,007$; $n = 0,7$; $X = 0,3$; $y = 1,4$; $Z = 0,35$.

Вибраний різець має $\gamma = 20^0$; $\alpha = 12^0$; $\phi = 45^0$; $\phi_1 = 10^0$; $r = 1.025\text{мм}$; $h_3 = 1\text{мм}$, таким чином, $S_3 \leq \frac{0,007 \cdot 40^{1,4} \cdot 1,025^{0,7} \cdot 20^{0,3} \cdot 12^{0,25}}{0,5^{0,3} \cdot (45 \cdot 10)^{0,35} \cdot 1^{0,2}} \cdot 1,0 = 0,25 \text{ мм/об.}$

2.7.7. Вибір найбільшої технологічно допустимої подачі

З усіх подач найменшою є S_3 . З наявних у верстата подач, вибираємо найближчу меншу або рівну їй. Для верстата 16K20 $S_{\text{ст}}=0,2 \text{ мм/об.}$, таким чином, $S_{\text{опт}}=0,2 \text{ мм/об.}$

2.7.8. Вибір швидкості різання

Частота обертання шпинделя верстата визначається за формулою 2.8

$$n \leq \frac{1000 \cdot C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S_o^{yv} \cdot \pi \cdot D} \text{ об/хв} \quad 2.8$$

За довідковими матеріалами [10] приймаємо: $T=45 \text{ хв}$, $D=75 \text{ мм}$.

Знаходимо $C_V^I = 87,5$; $X_v=0,25$; $Y_v=0,33$; $m=0,125$; $K_{\phi_v}=1,0$; $K_{\phi_{1v}}=1,0$; $K_{u_v}=0,95$; $K_{n_v}=1,0$; $K_{M_v}=0,63$; $K_{o_v}=0,8$.

Визначаємо

$$C_V = C_V^I \cdot K_{\phi_v} \cdot K_{\phi_{1v}} \cdot K_{u_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{M_v} \cdot K_{o_v} = 87,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,63 \cdot 0,8 = 41,895.$$

$$\text{Тоді } n \leq \frac{1000 \cdot 41,895}{45^{0,125} \cdot 0,5^{0,25} \cdot 0,6^{0,33} \cdot \pi \cdot 75} = 730,77 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Для станка 16K20 за довідковими матеріалами [10]: $n_x=630 \text{ об/хв}$; $n_{x+1}=800 \text{ об/хв}$.

Порівняти хвилинні подачі для цих щаблів ступенів: $S_x = S_0 \cdot n_x$; $S_{x+1} = S_0^I \cdot n_{x+1}$; $S^I \leq S_0 \cdot \sqrt[0,15]{\frac{n}{n_{x+1}}} = 0,6 \cdot \sqrt[0,15]{\frac{730,77}{800}} = 0,082 \frac{\text{мм}}{\text{об.}}$

Найближча менша, яка є на верстаті $S_0^I = 0,075 \frac{\text{мм}}{\text{об.}}$, $S_x = 0,2 \cdot 630 = 126 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$, $S_{x+1} = 0,075 \cdot 800 = 60 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$, $S_{x+1} < S_x$.

Таким чином, найвигіднішим режимом різання буде: $t=0,5 \text{ мм}$; $S=0,2 \text{ мм/об.}$; $n=630 \text{ об/хв}$.

$$\text{Дійсна швидкість різання: } V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28 \cdot 630}{1000} = 55,39 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

2.7.3. Свердління отвору (операція 25)

Свердління робимо за 1 перехід. При свердлінні отвору Ø 6 мм, глибиною $t = 2,5$ мм для свердлильних операцій вибираємо: $S_{OT} = 0,18$, $v_T = 25,6$.

З урахуванням поправочних коефіцієнтів за формулою 2.9

$$S_1 = S_{OT} \cdot K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \quad 2.9$$

де K_{S1} – коефіцієнт, що враховує групу подач,

K_{S2} – коефіцієнт враховує глибину отвору,

K_{S3} – коефіцієнт залежить від матеріалу.

$$S_1 = 0,18 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1,6 = 0,216 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання з урахуванням поправочних коефіцієнтів 2.10

$$v_1 = v_T \cdot K_{V1} \cdot K_{V2} \cdot K_{V3} \quad (2.10)$$

де K_{V1} – обираємо залежно від глибини отвору;

K_{V2} – залежно від відношення довжини свердла до його діаметру,

K_{V3} – обираємо залежно від твердості матеріалу.

З урахуванням усіх факторів швидкість різання буде:

$$V_1 = 25,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,15 = 29,44 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

2.5 Нормування операцій

Розрахуємо нормування токарної операції 10 під час роботи прохідного різця.
Визначимо машинний час обробки за формулою 2.11

$$T_{\text{маш}} = \frac{y + l + y_1}{S \cdot n}, \quad (2.11)$$

Приймаємо $y = 0,5$ мм; $l = 66$ мм; $y_1 = 1,2$ мм; $S = 0,22$ мм/об; $n = 315$ об/хв,

$y = t \operatorname{ctg} \varphi$;

$y_1 = 1 + 0,2t$ – величина пробігу різця;

l – довжина поверхні, що обробляється.

$$T_{\text{маш}} = \frac{0,5 + 66 + 1,2}{0,22 \cdot 315} = 0,49 \text{ хв.}$$

Нормування операції провадимо за формулою 2.12

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{ПЗ}}, \quad \text{я} \quad (2.12)$$

де $T_{\text{шт.к}}$ - норма часу на операцію,

$T_{\text{шт}}$ – трудомісткість операції, по формулі 2.13,

$T_{\text{ПЗ}}$ – підготовчо-заключний час, $T_{\text{ПЗ}} = 15\text{-}20\%$ від $T_{\text{осн.}}$

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}} + T_{\text{отд}} + T_{\text{обсл}}, \quad (2.13)$$

де $T_{\text{опер}}$ – операційний час, по формулі 2.14

$T_{\text{отд}}$ – час на відпочинок та особисті потреби, $T_{\text{отд}} = 8\%$ від $T_{\text{осн.}}$,

$T_{\text{обсл}}$ – час на обслуговування робочого місця, $T_{\text{обсл}} = 10\%$ від $T_{\text{осн.}}$

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}}, \quad 2.14$$

де $T_{\text{осн}}$ – основний (машинний) час, $T_{\text{осн}} = 0,49$ хв,

$T_{\text{всп}}$ – допоміжний час $T_{\text{всп}} = 1$ хв.

$$T_{\text{опер}} = 0,49 + 1 = 1,49 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 1,44 + 0,03 + 0,04 = 1,51 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к}} = 1,51 + 0,074 = 1,58 \text{ хв.}$$

Нормування для операції 15.

$$\text{Для точіння: } t_O = \frac{L \cdot i}{n \cdot S_O};$$

де L - розрахункова довжина шляху ріжучого інструменту м/хв;

i – число ходів;

n – частота обертання шпинделя об/хв;

S_O – подача на оборот шпинделя, мм.

$$t_O + t_{B\Pi} = t_{O\Pi}$$

$$t_{\text{шт}} = t_{O\Pi} \cdot \left[1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100} \right],$$

де коефіцієнти α, β, γ враховують складові t_{TO} , $t_{OB} = t_{TO} + t_{OO}$, t_{Π} і чисельно дорівнюють:

$$\alpha = (2 \dots 10)\% \rightarrow t_{TO};$$

$$\beta = (1 \dots 8)\% \rightarrow t_{OO};$$

$$\gamma = (1 \dots 5)\% \rightarrow t_{\Pi};$$

Штучно-калькуляційний час $t_{\text{шт-к}}$ застосовують в умовах серійного та одиничного виробництва, коли на одному робочому місці протягом зміни виконується кілька операцій і коли підготовку робочого місця та налагодження виконує робочий верстатник: $t_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n} + t_{\text{шт}}$.

Визначаємо технічну норму часу на операцію:

$$t_O = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{66 + 41,8 + 10}{300 \cdot 0,3} = 0,75 \text{ хв};$$

$$t_B = 0,45 \text{ хв (визначаємо за довідковою літературою [10]);}$$

$$t_{O\Pi} = t_O + t_B = 0,75 + 0,45 = 1,2 \text{ хв};$$

$$t_{\text{шт}} = t_{O\Pi} \cdot \left[1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100} \right] = 1,2 \cdot \left[1 + \frac{2 + 1,5 + 4}{100} \right] = 1,29 \text{ хв};$$

При визначенні $t_{\text{шт-к}}$ прийmemo, що $T_{\text{пз}} = 24$ хв.

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} = 1,29 + \frac{24}{300} = 1,37 \text{ хв}.$$

Нормування для операції 25.

За паспортом станка $n_{\text{шт}} = 782$ об/хв. (станок 2М112);

Для свердління:

$$T_M = \frac{L + y_1}{S_0 \cdot n} = \frac{14 + 2,5}{0,18 \cdot 782} = 0,12 \text{ хв.}$$

Час на встановлення, зняття деталі: 0,35 хв;

Час на вимір: 0,4 хв;

Час, пов'язаний із переходом: 0,32 хв;

$T_{\text{опер}} = 0,12 + 0,35 + 0,4 + 0,32 = 1,19 \text{ хв};$

За заводськими нормами $T_{\text{опер}} = 3,762 \text{ хв};$

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1. Вибір та обґрунтування конструкції пристосування

Заготовка, що обробляється в даній операції, являє собою ступінчастий вал, виготовлену зі сталі 38ХА.

В операції 25 проводиться свердління отворів 2 Ø6мм. Базування заготовки на операції проводиться по відстані 10 мм від торця 7.

Обробка отворів проводиться свердлом Ø6h6, матеріал P18.

Режими обробки при свердлінні $S=0,05\text{мм/об}$, $n=180\text{об/хв}$

У цій операції застосовується вертикально-свердлильний верстат 2М112.

Використовуємо кондуктор. Його особливість полягає в тому, що втулки кондукторні розміщуються в корпусі пристосування.

У збірному корпусі запресовано 2 втулки. Вал встановлюється в пристосування з упором прилеглий торець. Після встановлення заготовки опускається та фіксується верхня частина кондуктора двома болтами. Поздовжнє переміщення заготовки засобами затиску. Під час обробки отворів кондуктор встановлюється на опорних поверхнях. Для обробки наступного отвору необхідно повернути кондуктор і зафіксувати отриманий перший отвір фіксатором (штифтом).

Похибка, пов'язана з методом обробки ω_0 , призводить до зміщення осі свердла щодо кондукторної втулки кондукторною втулкою та похибкою зносу ω_i .
Діаметр свердла Ø6h6(), діаметр отвору кондукторної втулки Ø6F7(), $\omega_0=0,03\text{мм}$:

$$\begin{aligned}\omega_0 &= S \left(\frac{1}{2} + \frac{a}{H} \right) (S_r + T_{DV} + T_{из} + T_{св}) \left(\frac{1}{2} + \frac{a}{H} \right)_{max} \\ &= (0,01 + 0,012 + 0,03 + 0,008) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{13} \right) = 0,044\text{мм}\end{aligned}$$

Похибка базування дорівнює найбільшому зазору між діаметрами заготовки та настановною поверхнею:

$$\omega_6 = S_{max} = S_r + T_d + T_D = 0,009 + 0,019 + 0,062 = 0,087 \text{ мм.}$$

Для цього способу закріплення приймаємо.

Похибка пристосування $\omega_{\text{пр}}$ в нашому випадку буде складатися з похибки виготовлення $\omega_{\text{изг}}$ осі отвору пристосування, похибки не збігу осі отвору постійної втулки та осі отвору пристосування $\omega_{\text{з1}}$, рознесеності постійної втулки $\omega_{\text{с1}}$, і похибки установки між заготовлю та настановною втулкою $\omega_{\text{уз}}$ по формулі 3.1

$$\omega_y = 1,2 \cdot \sqrt{\omega_{\text{уз}}^2 + \omega_{\text{з}}^2 + \omega_{\text{пр}}^2} \quad (3.1)$$

$$\omega_{\text{уз}} = 0 \text{ мм},$$

$$\omega_{\text{з}} = 0 \text{ мм},$$

$$\omega_{\text{пр}} = \omega_{\text{изг}} + \sqrt{3 \cdot \omega_{\text{у.з.}}^2 + \omega_{\text{у.пр}}^2} = 0,012 + \sqrt{3 \cdot 0^2 + 0^2} = 0,012 \text{ мм}$$

Тоді похибка установки ω_y дорівнює:

$$\omega_y = 1,2 \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,012^2} = 0,014 \text{ мм}$$

Сумарна результуюча похибка:

$$\omega = 0,044 + 0,014 = 0,058$$

Бачимо, що кондуктор забезпечує задану точність, оскільки $\omega = 0,058 < T = 0,1$.

3.2. Розрахунок надійності закріплення заготовки

При свердлінні отвору виникає окружна сила різання, яку для зручності розглядають що складається з горизонтальної складової зусилля різання - P_n , і P_v - вертикальної складової. Ці сили створюють момент різання, який намагається повернути заготовлю. Утримувати заготовлю буде момент закріплення від сили затиску – Q (100Н) та сили тертя – $T \cdot Q$, де T – коефіцієнт тертя рівний 0,2.

З умови рівноваги заготовлі, рівняння моментів має вигляд 3.2:

$$M_{закр} = K \cdot M_{рез}, \quad (3.2)$$

де K – коефіцієнт надійності закріплення, дорівнює 1,5.

Тоді:

$$Q = \frac{K \cdot P_z \cdot D}{\frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}} = \frac{1,5 \cdot 100 \cdot 20}{\frac{2}{3} \cdot 50 \cdot \frac{20^3 - 5,5^3}{20^2 - 5,5^2}} = 425 \text{ Н}.$$

Перевіряємо, чи може забезпечити цю силу затиску обраний для пристосування затискний болт:

$$Q_{\delta} = \frac{P_u \cdot l}{0,1 \cdot d_p + 0,15 \cdot \text{Ctg} \frac{\psi}{2}} = \frac{100 \cdot 50}{0,1 \cdot 14 + 0,15 \cdot \text{Ctg} \frac{120}{2}} = 2466$$

де $P_u = 100$ Н – максимальне вихідне зусилля, яке робітник може докласти до рукоятки по ДСТУ ГОСТ 122029 [11];

$l = 50$ мм – плече (довжина рукоятки затискного механізму);

$d_{\delta} = 14$ мм – діаметр болта затискного механізму.

Таким чином, $Q_{\delta} = 2466 \text{ Н} > Q = 425 \text{ Н}$, отже даний механізм затиску може забезпечити зусилля, необхідне надійного закріплення заготовки в пристосуванні.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Техніко-економічний аналіз

Порівняльний економічний розрахунок проведемо за вартістю наведених варіантів одержання заготівлі [12]. З урахуванням коефіцієнтів, наведених у параграфі 2.6. Основні дані можна звести в таблицю 4.1.

Таблиця 4 1 – Основні дані для розрахунку вартості заготовок

№ з.п.	Найменування показників	Позначення і одиниці вимірювання	1 варіант	2 варіант
			ГКМ	Пруток
1	Вага (маса) заготівлі	$G_{\text{заг}}, \text{кг}$	0,789	1,365
2	Вага (маса) деталі	$G_{\text{дет}}, \text{кг}$	0,345	0,345
3	Базова вартість однієї тонни штампувань	$C_1, \text{грн.}$	6435	6435
4	Коефіцієнт, що враховує клас точності заготівлі	K_T	1	1
5	Коефіцієнт, що враховує марку матеріалу	K_M	2	2
6	Коефіцієнти, що залежать від групи складності та ваги заготовок та від обсягу виробництва	K_C	1	1
		K_B	1,42	1
		K_{II}	1	1
7	Вага (маса) відходів	$(G_{\text{заг}} - G_{\text{дет}}), \text{кг}$	0,444	1,020
8	Вартість 1т. відходів	$S_{\text{отх}}, \text{руб.}$	610	610

Розрахунок вартості заготовок першого та другого варіанта проведемо за формулою 4.1

$$S_{\text{заг}} = \frac{C_1}{1000} \cdot G_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} - (G_{\text{заг}} - G_{\text{дет}}) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (4.1)$$

Визначимо вартості заготовок за допомогою формули 4.1 за першим та другим варіантами:

$$S_{\text{заг}} = \frac{14\,175}{1000} \cdot 0,789 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,42 \cdot 1 - (0,444) \cdot \frac{1\,341}{1000} = 31,16 \text{ грн}$$

$$S_{\text{заг}} = \frac{14\,175}{1000} \cdot 1,365 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 - (1,020) \cdot \frac{1\,341}{1000} = 37,15 \text{ грн}$$

Дані розрахунку зведемо до таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Результати розрахунку вартості заготівлі за варіантами

№ з.п.	Найменування показників	Один.вим.	1 варіант	2 варіант
1	Спосіб отримання заготовки	-	ГКМ	Пруток
2	Матеріал заготовки	-	Сталь 38ХА	
3	Чиста вага (маса) деталі	кг	0,345	
4	Вага (маса) заготовки	кг	0,789	1,365
5	Економія матеріалу на:			
	а) одну заготівлю	кг.	1,365-0,789=0,576	
	б) на річну програму N=240 шт.	кг.	0,576·240=138,24	
6	Коефіцієнт використовуваного матеріалу	-	0,416	0,176
7	Вартість заготівлі	грн.	14,15	16,87
8	Економія на одну заготівлю	грн.	16,87-14,15=2,55	
9	Економія на річну програму	грн.	2,55·240=612	

На підставі виконаних розрахунків можна стверджувати, що з двох обраних для порівняння варіантів найкращим є перший варіант заготовки (заготовка на гарячекатаних машинах), що має меншу вартість і більший коефіцієнт використовуваного матеріалу.

4.2. Заходи з охорони праці

4.2.1 Заходи з електробезпеки

Все електричне обладнання, апаратура для проведення контрольно-вимірювальних операцій, а також апаратура системи управління повинні бути виконані згідно з вимогами "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" [13] та СНіП 3.05.06-"Електротехнічні пристрої" [14].

Електроживлення на підприємстві є 380В змінного струму, 3 фази, частота 50Гц, відповідно до чого підібрано обладнання, розраховане на електроживлення від цієї мережі. Норма якості використовуваної електроенергії має відповідати ГОСТ 13109-97 «Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення» [15].

Схема підключення обладнання гарантує виконання послідовного пуску електроприводів, включає в себе акустичну та оптичну попереджувальну передпускову сигналізацію. Забезпечує одночасну аварійну зупинку агрегатів комплексу. Схема підключення обладнано активними датчиками, що дозволяють відстежувати навантаження основних агрегатів.

Для виключення влучення електричних розрядів блискавки до будівлі комплексу, воно має бути забезпечене блискавкозахисними пристроями.

Блискавкозахист є комплексом процедур і конструкцій, призначених для захисту будинків, споруд, машин і матеріалів від вибухів, загорянь та руйнувань, які можуть виникнути при попаданні блискавок.

Для всіх будівель та споруд, що не мають зв'язку з виробництвом та складуванням вибухонебезпечних речовин, конструювання та створення блискавкозахисту має виконуватися з дотриманням «ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд [16].

Будівлі та споруди за рівнем захисту від впливу атмосферного статичної

електрики блискавкозахист ділиться на три категорії.

Категорія блискавкозахисту залежить від функцій будівель та споруд, середнього числа днів із грозою в році, а також ймовірністю поразки будівлі блискавкою в рік.

Очікуване річне число поразок блискавкою прямокутних будівель та споруд розраховується за формулою (4.2):

$$N = (S + 6h3d) (L - 6h3d) - 7,7h23dnl0 - 6, \quad (4.2)$$

де S, L – габарити будівлі за периметром, м;

$h3d$ – максимальна висота будівлі або конструкції, м;

n - питома щільність ударів блискавок у землю на 1 км² площі на місці розташування будівель чи споруд. Інформація зберігається у місцевих відділеннях Держпродспоживслужби.

Зони захисту створюються завдяки використанню одиночного, подвійного та багаторазових стрижневих блискавковідводів. Відповідність їх вимогам щодо безпеки перевіряється електриком, ним же контролюються методи забезпечення електробезпеки.

Необхідно, щоб для електроустаткування було забезпечено заземлення. за нульовим контуром. У трифазних чотирипровідних мережах із заземленою нейтраллю застосовують захист занулення під напругою до 1000В. У будівництві та промисловості ці мережі знаходяться під напругою 380/220 та 220/127 В, але в окремих випадках 660/380 В. Однофазні мережі змінного струму зануляють із заземленого висновку. Занулення називається з'єднання по нульовому захисному провіднику металевих нетоковедучих частин, яких можлива можливість опинитися під напругою.

Захист занулення діє на основі ефекту появи на металеві частини електроустановки небезпечної напруги. Результатом даної події є замикання на корпусі і коротке замикання між фазним та нульовим захисними провідниками.

Коротке замикання спричиняє виникненню великої сили струму, скільки потрібно для спрацьовування запобіжників у фазних живильних проводах та знеструмлення електроустановки. Безпека від ураження струмом виконується опором заземлювального пристрою, дія якого чинить захисну функцію.

Як запобіжники можуть використовуватися плавкі запобіжники, максимальні автомати, комбінований пристрій розподілу та управління та ін., спрацьовування яких відбувається за частки секунди.

Якщо зробити повторне заземлення нульового дроту, це може убезпечити людину від ураження струмом при виникненні замикання фази на корпус та одночасно обриву нульового дроту. Це робиться шляхом установки заземлення на відстані 250 м та закінчення проводів та відгалужень із довжиною понад 200 м. За виконання цієї операції Струм стікатиме в землю, з якої потраплятиме на заземлення нейтралі. Так утвориться контур для здійснення короткого замикання

4.2.2. Заходи щодо пожежної безпеки

Приміщення та будівлі за рівнем вибухопожежонебезпеки поділяються на 5 категорій:

А – вибухопожежонебезпечні: коли тих. процеси виробляються з виділенням горючих газів або легкозаймистих рідин з температурою спалаху пари до 28 °С, при тиску вище 5 кПа;

Б - приміщення, в яких технологічні процеси здійснюються при використанні легкозаймистих рідин з температурою спалаху понад 28 °С, що мають можливість створення вибухонебезпечних та пожежонебезпечних складів, із запаленням яких утворюється надлишковий тиск вибуху понад 5 кПа, температура спалаху менше 28 °С;

В – пожежонебезпечна: приміщення, в яких технологічні процеси здійснюються при використанні горючих і важко горючих рідин, твердих горючих речовин, здатних тільки горіти при взаємодії один з другом або киснем, що знаходиться в повітрі. Ці речовини не повинні відноситися до категорій А, Б;

Г – приміщення та будівлі, в яких технологічні процеси здійснюються при використанні негорючих речовин та матеріалів що знаходяться в гарячому, розжареному або розплавленому стані;

Д – приміщення та будівлі в яких технологічні процеси здійснюються при використанні твердих негорючих речовин та матеріалів за стану кімнатної температури (механічна металообробка).

Вибухо- та пожежонебезпечні зони приміщення групуються відповідно із шостим виданням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» [13]. Пожежонебезпечна зона – певне місце у приміщенні або за його межами, що містить у своїй зоні горючі речовини, як за звичайного виконання тих. процесу, і при його порушенні.

Параметри виробничих приміщень для використання електроустаткування:

- група вибухонебезпечних сумішей – Т2;
- пожежонебезпечність тих. процесу – група;
- приміщення з утворенням вибухонебезпечних сумішей – група II-ІІа;
- вогнестійкість будівель та споруд – група III.

Виробниче приміщення повинно мати автоматичне протипожежну сигналізацію та автоматичне пожежогасіння.

Схема протипожежної сигналізації має передбачати датчики температури саморозігріву та температури спалаху вибухонебезпечних матеріалів у випадках подрібнення та зберігання продуктів переробки. Усі елементи обладнання що виробляють рух та обертання повинні бути закриті спеціальними огорожами.

В результаті виконаної роботи були розроблені заходи щодо електробезпеки, а також заходи та засоби зі створення безпечних та нешкідливих умов праці.

4.3. Вплив на навколишнє середовище

Машинобудівні підприємства можуть мати значний вплив на навколишнє середовище через свою виробничу діяльність. Ось деякі аспекти цього впливу:

1. Викиди та забруднення повітря. Виробничі процеси, такі як зварювання, фарбування, і робота з металом можуть призводити до викидів шкідливих речовин у повітря, таких як вуглеводні, оксиди азоту і сірки. Це може спричиняти забруднення повітря і впливати на якість атмосфери в регіоні.

2. Водопостачання та стічні води. Виробничі процеси також можуть викликати забруднення водних ресурсів через викиди стічних вод зі спеціальними хімічними речовинами і відходами.

3. Відходи та утилізація. Машинобудівні підприємства можуть генерувати значні обсяги відходів, включаючи металеві відходи, хімічні відходи та інші матеріали. Правильна утилізація цих відходів може бути складною і вимагати спеціалізованих технологій.

4. Енергоефективність. Виробництво на машинобудівних підприємствах часто потребує значних кількостей енергії. Удосконалення енергоефективності може допомогти зменшити викиди парникових газів і інший негативний вплив на довкілля.

5. Забудова та зміна природних ландшафтів. Розширення машинобудівних підприємств може вимагати забудови на природних територіях, що може призвести до знищення екосистем і зміни природних ландшафтів.

Отже, машинобудівні підприємства мають важливе завдання зменшення свого впливу на навколишнє середовище шляхом впровадження технологій очищення викидів, оптимізації використання ресурсів та утилізації відходів.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дипломного проєкту зроблено наступні висновки.

1 Визначено службове призначення порожнистого вал для передачі обертового моменту. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі - сталь 38ХА, здійснено визначення типу виробництва – дрібносерійне.

2 Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Здійснено проєктування маршруту виготовлення валу порожнистого.

3 Здійснено вибір та обґрунтування конструкції пристосування та розраховано надійність кріплення заготовки, що складає $Q_6=2466 \text{ Н} > Q=425 \text{ Н}$, тобто даний механізм затиску може забезпечити зусилля, необхідне надійного закріплення заготовки в пристосуванні

4 Здійснено порівняльний економічний розрахунок вибору отримання заготовок і зроблено висновок, що варіант заготовки (заготовка на гарячекатаних машинах), має меншу вартість і більший коефіцієнт використовуваного матеріал. Проаналізовано заходи із охорони праці, а саме заходи з електробезпеки та пожежної безпеки. Визначено фактори впливу на навколишнє середовище.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик насосу, кресленик валу та складальний кресленик затискного пристосування.