

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: «Підготовка машинобудівного виробництва
з виготовлення валу колінчастого компресора»

КРБ.133ГМбд_41.08.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_41
КУЗЬМИЧ Артем

Керівник: докт. техн. наук, професор
ВЛАСОВЕЦЬ Віталій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Компресори у сільському господарстві знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи обробку сільськогосподарських культур, роботу з обладнанням та покращення умов зберігання. Розглянемо основні сфери застосування.

Пневматичні інструменти та обладнання. Компресори використовуються для приводу пневматичних інструментів, таких як пневмопістолети, пневматичні молоти, насоси та інші пристрої, які допомагають у процесі обробки сільськогосподарських матеріалів та обладнання.

Пневматичні машини можуть бути використані для очищення та подачі повітря у різні механізми.

Зрошення та розпилення. У сільському господарстві компресори часто використовуються для подачі повітря до системи краплинного зрошення, а також для розпилення добрив та хімічних препаратів (пестицидів, гербіцидів та інших засобів захисту рослин) за допомогою пульверизаторів.

Компресори дозволяють створити необхідний тиск для рівномірного розпилення рідин.

Зберігання та транспортування зерна. У деяких випадках компресори застосовуються для створення рухомих потоків повітря, що сприяє ефективнішому зберіганню зерна. Повітряні потоки можуть бути використані для охолодження або осушення зерна.

Вони також допомагають при транспортуванні зерна трубопроводами, створюючи потік повітря, що піднімає зерно та направляє його у потрібне місце.

Обслуговування сільськогосподарських машин. Компресори активно використовуються для обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки (наприклад, для підкачування шин тракторів та інших машин).

Також компресори можуть бути частиною систем очищення машин та обладнання, за допомогою яких видаляються забруднення та залишки.

Повітряні системи у тваринництві. У тваринництві компресори можуть використовуватися для забезпечення вентиляції та кондиціонування повітря в приміщеннях для утримання тварин, таких як корівники, свинарники та курники. Це допомагає підтримувати оптимальні умови для тварин, покращуючи їх здоров'я та продуктивність.

Системи охолодження та кондиціонування. У деяких випадках компресори використовуються в системах охолодження, наприклад, для зберігання молока та інших продуктів, що потребують низької температури. Також компресори можуть використовуватися для охолодження овочів та фруктів у процесі їх зберігання.

Отже, компресори відіграють важливу роль у сільському господарстві, сприяючи підвищенню ефективності роботи та зниженню витрат у різних процесах.

Деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною пневматичного поршневого компресора.

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є компресор поршковий пневматичний, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення колінчастого валу.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- проаналізувати службові призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційний матеріал, що застосовується для виготовлення деталі, а також визначити тип виробництва на підставі річної програми запуску виробу;
- здійснити відпрацювання на технологічність вузла та деталі, запропонувати маршрут обробки поверхонь деталі, а також визначити припуски та операційні розміри відомими методами;
- сконструювати затискне пристосування для реалізації процесу механічної обробки, а також здійснити його розрахунок.

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати технічні та організаційні заходи із охорони праці та захисту довкілля;

- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб підприємств галузевого машинобудування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

Поршневий компресор (рисунок 1.1) призначений для стиску та подачі повітря під тиском. Його основне призначення полягає у збільшенні тиску газу та переміщенні його у задане місце. Такі компресори широко використовуються у різних галузях, зокрема, і у сільському господарстві.

Основна технічна характеристика компресора наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика компресора ГНЗ 3,5

Назва параметра	Результат
Максимальний тиск нагнітання, МПа	1,17
Потужність на валу компресора, кВт	55
Початковий тиск всмоктування, МПа:	
- мінімальний	0,15
- максимальний	1,1
Частота обертання, об/хв.	735
Діаметр потоку, мм	26
Діаметр циліндра, мм	125
Число ступенів стиску	2
Число циліндрів:	
- 1-го ступеня	2
- 2-го ступеня	1
Габаритні розміри, мм	760×1745×1215
Маса, кг	820

Рисунок 1.1 – Компресор поршневий

До складу компресора входять: 1 – крейцкопф; 2 – циліндр; 3 – блок ущільнюючий; 4 – поршень; 5 – вузол сапуна; 6 – вузол манометра; 7 – вузол корпусу; 8 – вал колінчастий у зборі; 9 – вузол шатунів; 10 – клапан нагнітальний; 12 – насос масляний; 14 – клапан всмоктувальний; 21-23 – ліхтар; 24-26 – кільце; 13 – шток; 14, 15 – сітка; 16, 17 – напрямна; 18 – кришка задня; 19 – гайка; 20 – кришка; 27 – палець; 28 – гвинт; 29 – гайка; 30-34 – прокладка; 35 – табличка; 36 – шайба; 37 – олиговідбивач; 38 – манжета; 39, 40, 41 – прокладка; 42 – кільце стопорне та інші стандартні деталі, зазначені у специфікації.

Принцип роботи поршневого двоступеневого компресора можна пояснити як послідовний процес стиснення газу, що складається з двох стадій.

Перший ступінь. Газ (повітря) надходить у компресор через впускний клапан. Він стискається першим поршнем у першому ступені. На цьому етапі тиск газу збільшується, але не до кінцевого значення. Газ виходить з першого ступеня при середньому тиску і надходить на другий циліндр.

Охолодження між ступенями. Після першого етапу стиснення газ, як правило, проходить через проміжний охолоджувач (або інтеркулер). Цей елемент служить для охолодження газу перед його надходженням до другого ступеня.

Другий ступінь. Газ надходить у другий циліндр, де відбувається додатковий стиск. Поршень другого ступеня стискає газ до високого тиску.

Після другого стискання газ виходить із компресора через випускний клапан при кінцевому, необхідному тиску.

Розглянемо переваги двоступеневого стиску. Підвищена ефективність, тому що другий ступінь стискає газ, вже охолоджений після першого ступеня. Найменший тепловий викид і, як наслідок, менший знос обладнання. Зменшення

потреби у енергії задля досягнення високого тиску, оскільки кожен поршень стискає газ на меншу величину, ніж одноступінчастий компресор.

Таким чином, двоступінчастий компресор дозволяє досягти більш високого тиску при меншому тепловому нагріві та вищій загальній ефективності роботи.

Деталлю, що виводиться на детальний розгляд, є колінчастий вал (рисунк 1.2).

Рисунок 1.2 – Вал колінчастий

Колінчастий вал у компресорі відіграє ключову роль у перетворенні енергії, яка передається від приводного механізму (електродвигуна) до механічного руху поршнів. Він виконує кілька важливих функцій.

Перетворення обертального руху на зворотно-поступальний. Колінчастий вал перетворює обертальний рух, що надходить від двигуна, у зворотно-поступальний рух поршнів компресора. Цей рух поршнів потрібний для стиснення повітря або газу.

На одному кінці колінчастого валу знаходяться шатуни, які з'єднані з поршнями. Коли вал обертається, він надає рух шатунам, які, у свою чергу, змушують поршні рухатися вперед і назад в циліндрі компресора.

Забезпечення синхронізації роботи поршнів. У компресорі з кількома поршнями колінчастий вал допомагає синхронізувати рух. Це важливо для забезпечення рівномірного стиснення газу на всіх циліндрах, що сприяє стабільній та ефективній роботі пристрою.

Передача потужності. Колінчастий вал служить сполучною ланкою між приводним двигуном та механізмом стиснення. Він передає механічну енергію від двигуна до поршнів компресора, що дозволяє створювати необхідний тиск.

Зниження вібрацій та навантаження. Колінчастий вал допомагає збалансувати роботу компресора, розподіляючи навантаження на різні циліндри та зменшуючи вібрації, які можуть виникнути під час роботи поршнів. Це сприяє більш стабільній та довговічній роботі компресора.

Отже, колінчастий вал у компресорі є важливою деталлю, яка забезпечує перетворення енергії, правильну роботу поршнів та ефективність роботи пристрою загалом. Вал виготовляють литвом із високоміцного чавуну марки ВЧ60 за ДСТУ 3925-99.

1.2 Аналіз параметрів точності

Аналіз параметрів точності деталі – це процес оцінки того, наскільки точно були виконані розміри, форма, розташування та інші характеристики деталі щодо необхідних значень. У цьому процесі розглядаються різні аспекти, включаючи відхилення від номінальних розмірів, а також параметри, що впливають на якість та функціональність виробу [3, 9, 14, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Основні етапи та параметри аналізу точності деталі наступні.

1. Розміри (довжина, ширина, висота та ін.). Оцінка точності розмірів включає перевірку того, наскільки фактичні розміри деталі відповідають заданим (номінальним) розмірам. Це може бути виконано за допомогою різних вимірювальних інструментів (штабелі, циркуль, мікрометр та ін.).

Допуски – допустимі відхилення від номінальних розмірів.

Точність розмірів – це мінімальне значення відхилення, яке може бути досягнуто у процесі виготовлення.

2. Форма. Оцінка форми деталі включає перевірку її геометрії (наприклад, прямолінійність, кругла форма, прямокутність). Відхилення від ідеальної форми можуть впливати на роботу деталі та її сумісність з іншими елементами.

Прямолінійність – відхилення від ідеально прямої лінії. Круглість – відхилення від ідеального кола. Площинність – відхилення від ідеальної площини.

3. Розташування (паралельність, перпендикулярність, співвісність). Ці параметри описують, наскільки елементи деталі розташовані відносно один одного.

Паралельність – відхилення від ідеального положення, коли дві поверхні мають бути паралельними. Перпендикулярність – відхилення від ідеалу, коли одна поверхня має бути перпендикулярна до іншої. Співвісність – перевірка того, наскільки точно осі двох або більше отворів чи інших геометричних елементів суміщені.

4. Поверхнева структура. Оцінка якості поверхні деталі: наявність шорсткості або дефектів, які можуть впливати на роботу механізму або складання. Шорсткість – вимірювання мікронерівностей на поверхні деталі. Гладкість – ступінь полірування або відполірованості поверхні.

5. Якість складання. Оцінка того, як компоненти деталі поєднуються між собою (наприклад, наявність проміжків, перекося або неправильних з'єднань).

6. Використання точних вимірювань та технологій. Мікроскопія – для вимірювань на рівні мікрон. Координатно-вимірювальні машини – для більш точного контролю геометрії. Лазерне сканування – для створення 3D моделей та аналізу відхилень.

7. Методи контролю та випробувань. Важливо враховувати, які методи контролю використовуються для перевірки точності: калібрування інструментів; візуальні та контактні виміри; випробування на точність в умовах роботи (наприклад, на верстаті або механізмі).

8. Допуски та чистові відхилення. Оцінка допустимих відхилень, зазначених у технічних документах та стандартах (наприклад, за ДСТУ або ISO), дозволяє визначити, чи деталь відповідає необхідним вимогам.

Аналіз параметрів точності деталі – це важливий крок у процесі виготовлення, спрямований на контроль якості, підвищення довговічності та функціональності виробу. Кожне відхилення, навіть мінімальне, може вплинути на збирання та експлуатаційні характеристики кінцевого продукту.

Виконавши аналіз параметрів точності деталі (вал колінчастий) робимо висновок про те, що шорсткість поверхонь відповідає вимогам точності. Найточніший розмір мають поверхні з розмірами $\varnothing 90k6$. Найнижча шорсткість $Ra=0,8$ мкм. Деталь виготовляється тільки в умовах машинобудівного підприємства.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Для виготовлення валу колінчастого застосовується чавун ВЧ60 за ДСТУ 3925-99 [24, 37]. Чавун ВЧ60 – це марка високоміцного чавуну, який має належні механічні властивості, а також високу зносостійкість. Цей матеріал використовується в різних галузях, включаючи машинобудування, автомобілебудування, а також при виробництві деталей, схильних до зносу і навантажень.

Характеристики чавуну ВЧ60 наступні:

- вміст вуглецю: близько 3,0-3,3%;
- твердість: зазвичай у межах 180-220 НВ;
- міцність на розтяг: приблизно 300-400 МПа;
- межа текучості: близько 200-300 МПа;
- стійкість до зношування висока.

Чавун ВЧ60 характеризується гарною ливарною здатністю та придатний для литва складних форм. Він також відрізняється хорошими антифрикційними властивостями та може витримувати помірні температурні навантаження.

Хімічний склад чавуну марки ВЧ60 (сірий чавун) зазвичай включає такі елементи:

- вуглець (C): 3,0-3,3% – основний елемент, що визначає властивості чавуну. Вуглець знаходиться у вигляді графіту, що надає чавуну гарну ливарну здатність та хороші антифрикційні властивості;

- силіцій (Si): 1,8–2,5% – силіцій сприяє утворенню графіту в чавуні, покращуючи його ливарні властивості та механічну обробку;
- марганець (Mn): 0,5–0,8% – марганець покращує міцність та пластичність чавуну, а також сприяє усуненню сірки;
- сірка (S): 0,05% (максимум) – сірка може погіршувати механічні властивості та корозійну стійкість чавуну, тому її зміст контролюється та обмежується;
- фосфор (P): 0,1-0,2% – фосфор може підвищувати крихкість, але в деяких випадках покращує ливарні властивості та корозійну стійкість;
- мідь (Cu): до 0,3% – мідь покращує корозійну стійкість чавуну, але її вміст зазвичай обмежується.

Інші елементи (наприклад, нікель, хром, алюміній, залежно від конкретного виробника. Ці елементи можуть покращувати певні властивості чавуну, такі як його жароміцність, стійкість до зносу та корозії.

У якості замінника можемо рекомендувати марки ВЧ-45 або ВЧ-50. Вибір заміни для матеріалу ВЧ60 залежить від того, які характеристики важливі для конкретного застосування: міцність, зносостійкість, корозійна стійкість, термостійкість або інші параметри, що можуть покращити експлуатаційні характеристики у специфічних умовах.

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях вузла у кількості 150 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{\text{зап}} = (N_{\text{вип}} + N_{\text{зч}}) \cdot (1 + k_{\text{оп}}), \quad (1.1)$$

де $N_{\text{вип}}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{\text{зч}}$ – кількість виробів, що йдуть на заготовки, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од;

k_{op} – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути.

Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (150 + 0,04 \cdot 150) \cdot (1 + 0,025) = 160 \text{ (шт.)}.$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей вузла не перевищує 300 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – дрібносерійне.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності вузла та деталі – це процес оцінки конструктивних та технологічних рішень, що впливають на виробничі процеси, вартість, якість та ефективність виготовлення. Цей аналіз дозволяє виявити можливості для покращення продукції, зниження витрат та підвищення продуктивності на всіх етапах розробки, виробництва та експлуатації [13].

Основні аспекти, які враховуються під час аналізу технологічності.

1. Конструктивні особливості. Простота форми та геометрії: Чим простіше форма деталі, тим легше її обробляти, що знижує витрати на виробництво. Наприклад, деталі із симетричними та простими геометричними формами легше обробляються з використанням стандартних методів.

Мінімізація кількості операцій: Чим менше операцій необхідно для виготовлення деталі, тим швидше і дешевшим буде процес. Застосування багатозадачних процесів чи комплексних операцій може значно скоротити час та вартість.

Використання стандартних деталей та вузлів: Зниження кількості унікальних або нестандартних компонентів дозволяє спростити виробництво та зменшити витрати на проектування та виготовлення.

2. Матеріали та вибір вихідних заготовок. Матеріали повинні відповідати функціональним вимогам, але бути доступними за вартістю і технологічними для обробки. Наприклад, матеріали з хорошими механічними властивостями, але складні для обробки можуть збільшувати витрати на виробництво.

Оптимізація вибору заготовок. Вибір заготовки, яка мінімізує відходи матеріалу (наприклад, прямолінійні або прості геометричні форми), є важливим аспектом підвищення технологічності.

3. Процес обробки та виробництво. Використання автоматизованих процесів: Застосування високотехнологічних верстатів, автоматичних ліній та роботів може значно підвищити технологічність, скоротити час та витрати на виробництво.

Мінімізація витрат на час переналагодження обладнання. Ефективні методи переналагодження дозволяють скоротити час простою обладнання та підвищити продуктивність.

Складність обробки та доступність обладнання. Чим простіше деталь у виробничому плані, тим менше кількості необхідного обладнання та часу на її виготовлення. Також важливо враховувати наявність у підприємства необхідного устаткування виробництва деталей.

4. Конструктивно-технологічні особливості вузла.

Модульність та збірність. Вузли, які легко монтуються та демонтуються, легше обслуговувати та ремонтувати. Вони повинні бути спроектовані так, щоб мінімізувати кількість кріпильних елементів та операцій зі збирання.

Спрощення складання. Якщо вузол складається з безлічі дрібних деталей, кількість операцій зі складання зростає, що знижує технологічність. Процес складання можна оптимізувати використанням модульних рішень.

5. Технологічна адаптація та інновації

Застосування нових технологій. Сучасні методи, такі як 3D друк, лазерне різання, роботизовані системи та інші інновації, можуть підвищити технологічність вузла або деталі за рахунок зменшення кількості операцій, покращення точності та скорочення відходів.

Використання універсальних комплектуючих. Застосування стандартних комплектуючих, таких як різьбові з'єднання, стандартні підшипники, електроніка тощо знижує вартість і складність виготовлення.

6. Екологічні та економічні фактори.

Екологічність виробництва. Вибір технологій, які мінімізують відходи та енергоємність виробництва, підвищує загальну технологічність.

Зниження вартості. Важливо, щоб розробка та виробництво деталей та вузлів не тільки задовольняли технічним вимогам, а й були економічно вигідними для виробника та кінцевого споживача.

Отже, аналіз технологічності допомагає як оптимізувати виробничі процеси, так й поліпшити показники якості продукції, підвищити її конкурентоспроможність і знизити кінцеву вартість для споживача.

У процесі аналізу креслення деталі було виявлено, що вал колінчастий практично повністю відпрацьований на технологічність для дрібносерійного типу виробництва, оскільки витрати на налагодження верстатів будуть порівняно невеликі з економією матеріалу та часу.

Результати аналізу на технологічність валу колінчастого наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність валу колінчастого

№ п/п	Показники і вимоги до технологічності	Висновки по показниках технологічності	Заходи до покращення технологічності
1	2	3	4
1.	Необхідна наявність зручних технологічних баз, які забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки.	Деталь має зручні технологічні бази: на першій операції механічної обробки – отвір та уступи на подальших операціях – нижня площина деталі. Таким чином забезпечується необхідна орієнтація і закріплення заготовки.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2.	Конструкція деталі повинна дозволяти установку і закріплення її простими пристроями.	Конструкція деталі дозволяє установку і закріплення її простими пристроями: пневматичними або ручними щипцями.	Не потрібні.
3.	Отвори в деталі повинні бути такими, щоб їх можна було обробити на прохід.	Деталь не має глухих отворів.	Не потрібні.
4.	В деталях необхідно уникати отворів $L > (8 \dots 10)D$	У даному випадку такі отвори відсутні.	Не потрібні.
5.	Розміри розташування отворів повинні допускати багатошпиндельну обробку, для цього відстань між осями повинна бути не менше 30...40 мм.	Розміри розташування отворів допускають багатошпиндельну обробку.	Не потрібні.
6.	Не потрібно застосовувати дрібні різьбові отвори.	У конструкції деталі застосовуються отвори М6, але збільшити діаметр не дозволяє конструкція.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
7.	Не бажана наявність глухих шліфованих поверхонь.	Деталь не має глухих шліфованих поверхонь.	Не потрібні.
8.	Припуски на заготовку повинні бути мінімальні.	Виходячи з виробничої програми і методу отримання заготовки – припуски на заготовку мінімальні.	Не потрібні.
9.	При аналізі креслення необхідна перевірка співвідношення між допуском і шорсткістю.	Співвідношення між полями допусків і шорсткістю є задовільними.	Не потрібні.
10.	Для автоматизованого складання необхідно застосувати елементи для самовстановлення і центрування поверхонь.	Конструкція корпусу має елементи для самовстановлення і центрування поверхонь – фаски, радіуси закруглень.	Не потрібні.

Розглянувши таблицю, можна зробити висновки, що в цілому деталь вал колінчастий за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Аналіз технологічного процесу виготовлення колінчастого валу поршневого компресора при великосерійному виробництві включає докладну оцінку всіх етапів, від проєктування і вибору матеріалів до механічної обробки та контролю якості. Поршневий компресор є високонавантаженим пристроєм, де колінчастий вал відіграє ключову роль у перетворенні енергії, і його виробництво вимагає точності, довговічності та ефективності.

1. Попередня підготовка (проєктування та вибір матеріалів).

1.1 Проєктування колінчастого валу. Колінчастий вал поршневого компресора був спроектований з урахуванням специфіки роботи пристрою: впливу циклічних навантажень, вібрацій та температурних коливань. Це наклало вимоги на форму, розміри та розташування шийок, а також наявність канавок для мастила та інших елементів.

Були враховані такі параметри, як розміри шатунних та опорних шийок, наявність фланців та каналів для змащування, що вплинуло на вибір технологій та обладнання.

Модульність. Для підвищення технологічності конструкції були використані стандартні компоненти, зазначені у специфікації, що спростило процес складання та знизиле витрати.

1.2 Вибір матеріалу. Матеріал для колінчастого валу обрано правильно. Для виготовлення колінчастих валів поршневих компресорів зазвичай використовують високоміцні чавуни, що володіють хорошими механічними властивостями, стійкістю до зносу та корозії. Найважливішим аспектом є здатність матеріалу витримувати циклічні навантаження, вібрації і перепади температури.

Технологія термообробки. Матеріал піддається термообробці для підвищення міцності, зносостійкості та запобігання корозії.

2. Процес виготовлення колінчастого валу поршневого компресора.

2.1 Заготовки для колінчастого валу можуть бути або ковані, або литі. У нашому випадку застосовано литво. Заготовка має розміри, що дозволяють з урахуванням припусків провести всі необхідні операції механічної обробки та термообробки.

2.2 Механічна обробка. Процес механічної обробки колінчастого валу складається з декількох етапів, кожен з яких включає певні технології для забезпечення високої точності та якості поверхні.

2.2.1 Токарна обробка. Первинна обробка на токарних верстатах: На цьому етапі формуються основні контури колінчастого валу, такі як шийки та фланці. Це бажано виконувати на високочивідкісних токарних верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ), що дозволяє досягти точних розмірів та форм.

2.2.2 Шліфування шийок. Для отримання високої точності та покращення якості поверхні шийок (осорних та шатунних) проводиться шліфування. На цьому етапі досягається необхідна точність для підшипників та інших вузлів, що працюють у зоні високих напружень. Використання високоточних шліфувальних верстатів із ЧПК гарантуватиме мінімальні відхилення від номінальних розмірів.

2.2.3 Фрезерування канавок та отворів. У процесі фрезерування обробляються канавки для змащування, отвори для підшипників, а також інші елементи, що визначають конструкцію та складання колінчастого валу.

2.2.4 Свердління та розточування. На цьому етапі обробляються отвори для кріплень, фланців та інших з'єднань, а також виконуються розточувальні роботи для встановлення підшипників. Застосовуються свердлильні та розточувальні верстати з високою точністю.

2.3 Термообробка. Для покращення міцності та зносостійкості колінчастого валу використовується низькотемпературне відпалювання.

Загалом при аналізі діючого технологічного процесу видно, що він розроблений грамотно і до нього важко зробити які-небудь значні доповнення. Єдине, що не задовольняє – це те, що даний технологічний процес написаний для масового типу виробництва, а при сьогоденній економічній ситуації недоцільно

налагоджувати виробництво на масовий тип, так як асортимент продукції постійно змінюється, а тому основною задачею є перехід на дрібносерійний тип виробництва. Це означає, що обов'язково необхідно зробити зміни у технологічному обладнанні. У базовому технологічному процесі використовуються переважно агрегатні верстати. Вони мають велику вартість, більшу собівартість налагодження та дуже велику складність переналагодження на іншу продукцію (практично неможливо). Тому при проектуванні даного технологічного процесу необхідно замінити всі агрегатні верстати на верстати з ЧПК. З одного боку це дещо збільшить час на обробку деталей, але у порівнянні з витратами на підготовку виробництва в цілому дасть значний економічний ефект. Крім того, при сьогодиншій нестабільності в економіці і виробництві, при зміні асортименту продукції, що випускається переналагодження верстатів не буде викликати особливих витрат.

Крім зміни технологічного обладнання ще одне зауваження. На 025 операції здійснюється свердління ступінчастого отвору під масловказівний цуг за два переходи. Більш доцільно буде свердлити цей отвір за один прохід – ступінчастим свердлом.

2.3 Маршрути обробки поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та іншими критеріями [3, 6, 9, 11, 13, 18, 21]. Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_z}{T_d} = \frac{T_1}{T_1} \cdot \frac{T_2}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_{i-1}}{T_i} \cdot \dots \cdot \frac{T_{n-1}}{T_n} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

P – число ступенів обробки;

T_z, T_d, T_i – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини уточнення $\varepsilon < 6$; для проміжних ступенів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$; для ступенів чистої обробки $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.2)$$

Приклад для обробки цапфи $\varnothing 90k6$. Допуск за кресленням 0,022 мм, допуск заготовки 1,0 мм. Загальне уточнення складає

$$\varepsilon = \frac{1,0}{0,022} = 45,5.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 45,5}{0,46} \approx 3,6.$$

Отже, передбачаємо 4 етапи обробки для даної поверхні, а саме:

- точіння чорнове;
- точіння проміжне;
- точіння чистове;
- шліфування.

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки валу колінчастого

2.5 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та табличний [29, 40, 48]. Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це розмір $\varnothing 90k6$ та $\varnothing 45H7$ мм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку зовнішньої чи внутрішньої поверхонь обертання

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.3)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційні) і у деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$z_{0 \max} - z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}, \quad (2.4)$$

де $\delta_{\text{заг.}}$, $\delta_{\text{дет.}}$ – допуск заготовки та деталі відповідно.

Карта розрахунку припусків на обробку та граничні розміри по технологічних переходах наведені у таблиці 2.3, 2.4.

Таблиця 2.2 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці Ø90k6 мм

Технол. перехід	Елемент припуску, мкм			Розр. прип. $2Z_{\min}$ мкм	Розр. розмір, d_p , мм	Доп. δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	T	ρ				$D_{\max}$	$D_{\min}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Литтво	200	200	939	-	92,001	870	93,87	93,0	-	-
Точіння чорнове	50	50	0	2678	90,323	350	90,67	90,32	3200	2680
Точіння проміжне	25	25	0	200	90,123	140	90,26	90,12	410	200
Точіння чистове	5	5	0	100	90,023	54	90,074	90,02	186	100
Шліфування	0,63	0	0	20	90,003	22	90,025	90,003	49	17
Усього									3845	2997

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_2 - \delta_d \quad (2.5)$$

$$3845 - 2997 = 870 - 22$$

$$848 = 848.$$

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці Ø45H7 мм

Технол. перехід	Елемент припуску, мкм			Розр. прип. $2Z_{\min}$ мкм	Розр. розмір, d_p , мм	Доп. δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	T	ρ				$D_{\max}$	$D_{\min}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Литво	200	100	90	-	91,004	1200	44,0	43,8	-	-
Розточування чорн.	92	92	5	780	91,784	190	44,8	44,6	1800	800
Розточування чист.	20	20	3	210	91,994	46	44,95	44,9	300	150
Розточування тонке	5	5	-	86	92,03	30	45,03	45,0	100	80
Усього									2200	1030

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_z - \delta_d \quad (2.5)$$

$$2200 - 1030 = 1200 - 30;$$

$$1170 = 1170.$$

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки валу колінчастого (фрезерування шпонкового пазу) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [2, 36, 38, 39]. Складальне креслення пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосовування складається із наступних елементів: 1 – пневмоциліндр; 2 – механізм пневмоциліндру; 3 – шток; 4 – шпонка; 5 – планка; 6 – рука; 7 – основа; 8, 9 – призма; 10 – гвинт; 11 – гайка.

3.2 Розрахунок зусилля затиску та параметрів силового приводу

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску

W, використовуючи положення [12, 36, 38, 39].

На даній операції максимальна сила різання P_z при чорновому фрезеруванні верхньої площини деталі.

Сила P_z намагається виштовхнути заготовку паралельно площині закріплення. Складемо рівняння рівноваги у вигляді $\sum F_{iy}$:

$$F_{TP} - K \cdot P_z; \quad (3.1)$$

$$F_{TP} = 0.$$

$$F_{TP} = W \cdot f,$$

де f – коефіцієнт тертя.

Тоді рівняння (3.1) прийме вигляд:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0,$$

звідки

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f},$$

де $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$ – коефіцієнт запасу.

$K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує стан поверхні деталі;

$K_2 = 1,4$ – коефіцієнт, який враховує затуплення різального інструменту;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує постійність сили затискання;

$K_5 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань;

$K_6 = 1,0$.

Тоді К дорівнює:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 3,6 .$$

$f = 0,1$ – коефіцієнт тертя.

Силу різання P_z визначимо за формулою [7, 28]:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} K_p, \quad (3.2)$$

де $t = 2,0$ мм – глибина різання;

$S = 0,3$ мм/зуб – подача;

$B = 74$ мм – ширина фрезерування;

$z = 12$ – кількість зубів фрези;

$D = 120$ мм – діаметр фрези;

$n = 600$ хв⁻¹ – частота обертання фрези;

$K_p = 1,1$ – загальний поправочний коефіцієнт.

$C_p = 825$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $u = 1,1$; $q = 1,3$; $\omega = 0,2$ – коефіцієнт та показники степеню.

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{825 \cdot 2,0^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 74^{1,1} \cdot 12}{120^{1,3} \cdot 600^{0,2}} \cdot 1,1 = 50 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення:

$$W = \frac{50 \cdot 3,6}{0,1} = 1800 \text{ (Н)}.$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,5} + 15^2} = 55 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $D = 63 \text{ мм}$.

3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Розрахунок проведемо для вісі, що з'єднує шток пневмоциліндра та важелі.
Розрахунок робиться на зріз по формулам опору матеріалів:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{F_{\min}} \leq [\tau], \quad (3.3)$$

де

$$P_{\max} = Q_{\max} - \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta, \quad (3.4)$$

$$P_{\max} = Q_{\max} - \frac{3,14 \cdot (63^2 - 15^2)}{4} \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 1350 \text{ (Н)};$$

$[\tau] = 70 \text{ МПа}$ – допустиме напруження на зріз;

$F_{\min}$ – площа поперечного перерізу вісі;

$$F_{\min} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ (мм)}.$$

Тоді:

$$\tau = \frac{1350}{78,5} = 27,3 \text{ (МПа)}.$$

$$27,8 < 70.$$

Отже робимо висновок, що міцність вісі достатня.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі «Вал колінчастий», що виготовляється з чавуну марки ВЧ60 способами: литво в піщано-земляні форми та литво у кокіль [1, 4, 34].

Проведемо економічну оцінку добору способу виготовлення заготовки, методом порівняння собівартості одержання заготовок по варіантах [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Точність розмірів при литві у піщані форми 15...19 кв., шорсткість поверхні за $R_z =$ до 80, коефіцієнт використання матеріалу заготовки 0,7.

Точність розмірів при литві у кокіль 14...17 кв., шорсткість поверхні за $R_z = 85...40$, коефіцієнт використання матеріалу заготовки 0,85.

При отриманні деталі методом литва у піщані форми маса заготовки буде становити:

$$m_{\text{заг}} = \frac{m_0}{k_i}; \quad (4.1)$$

де m_0 – маса деталі;

k_i – коефіцієнт використання матеріалу.

$$m_{\text{заг}} = \frac{42,5}{0,7} = 60,7 \text{ кг.}$$

При литві у кокіль:

$$m_{\text{заг}} = \frac{42,5}{0,85} = 50 \text{ кг.}$$

Проведемо порівняння методів отримання заготовки за собівартістю

виготовлення.

Собівартість виготовлення заготовки визначається за формулою:

$$C = \left(\frac{S_3 Q_3}{1000} K_1 K_C K_B K_{M3} K_{B6} \right) - (Q_3 - q_d) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (4.2)$$

де S_3 – базова вартість 1 т заготовок, 125000 грн.;

$K_1, K_C, K_B, K_{M3}, K_{B6}$ – коефіцієнти, які залежать відповідно від класу точності, класу складності, маси заготовки, марки матеріалу від обсягу виробництва;

q_d – маса деталі, кг;

$S_{відх}$ – вартість 1 т відходів, грн.

У піщані форми:

$$C = (125 \cdot 60,7 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1) - (60,7 - 42,5) \cdot 10 = 14006,6 \text{ грн.}$$

У кокіль:

$$C = (125 \cdot 50 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1) - (50 - 42,5) \cdot 10 = 11612,5 \text{ грн.}$$

Таким чином, порівнюючи отримані значення ціни заготовки, видно, що з економічної сторони, нам вигідно застосовувати литво у кокіль. Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (14006,6 - 11612,5) \cdot 150 = 359115 \text{ (грн.)}$$

Висновок: проаналізувавши два методи виготовлення заготовки обираємо метод виготовлення заготовок литвом у кокіль, оскільки собівартість виготовлення заготовки даним методом менша на 2394,1 грн. за одиницю у порівнянні з виготовленням заготовки у піщані форми.

4.2 Розрахунок місцевого освітлення точковим методом

Умовами для використання точкового методу є розрахунок освітлення у великих приміщеннях, або на відкритих майданчиках у будь – якій точці на робочих поверхнях. Принцип розрахунку за даним методом полягає у визначенні освітлення однієї характерної точки на робочій поверхні від точкового джерела світла за номограмою розподілення освітленості даного світильника залежно від висоти та відстані (або за розрахунковими формулами). Загальна освітленість визначається методом суперпозиції (тобто сумування освітленості, що створюють різні джерела). [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Розрахуємо освітленість точковим методом при таких умовах. Відстань у плані $\lambda=6$ м; $c=1,5$ м; лампи типу Б 220 потужністю 750 Вт; $H=5$ м; $h_p=0,8$ м; $h_c=0,3$ м.

Визначимо висоту підвіски світильника:

$$h=H-h_p-h_c, \quad (4.3)$$

$$h=5-0,8-0,3=3,9.$$

Визначимо проекції відстаней, м, від світильників до розрахункової точки:

$$d_1 = \sqrt{1,5^2 + 16,5^2} = 16,57;$$

$$d_2 = \sqrt{1,5^2 + 10,5^2} = 10,61;$$

$$d_3 = \sqrt{1,5^2 + 4,5^2} = 4,74;$$

$$d_4 = \sqrt{1,5^2 + 1,5^2} = 2,12;$$

$$d_5 = \sqrt{7.5^2 + 16.5^2} = 18.2 ;$$

$$d_6 = \sqrt{7.5^2 + 10.5^2} = 12.9 ;$$

$$d_7 = \sqrt{7.5^2 + 4.5^2} = 8.75 ;$$

$$d_8 = \sqrt{7.5^2 + 1.5^2} = 7.65 .$$

Освітлюваність у контрольній точці, лк, створювана всіма світильниками визначається за формулою:

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi_{\text{факт}} \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n (e_i \cdot \eta_i)}{1000 \cdot K} \quad (4.4)$$

$$E_{\text{факт}} = \frac{13100 \cdot 1,0 \cdot 15,5}{1000 \cdot 1,3} = 156,2 .$$

Дані розрахунки показали що місцеве освітлення робочої зони є достатнім, отже, забезпечуються усі правила охорони праці на підприємстві, зокрема, в цеху на даній ділянці.

4.3 Вплив роботи компресорного обладнання на довкілля

Компресорна техніка, що використовується у різних галузях промисловості, значно впливає на екологію. Її вплив можна розділити на кілька ключових аспектів.

1. Викиди вуглекислого газу (CO_2).

Багато компресорів, особливо поршневі і гвинтові моделі, працюють на зрізаних вуглеводневих газах або електриці. Якщо воно надходить від джерел, які використовують викопне паливо (наприклад, вугілля або нафта), викиди CO_2 також залишаються актуальними.

2. Шумове забруднення.

Компресори, особливо великі, роблять високий рівень шуму. Це може негативно вплинути на здоров'я людей і тварин поблизу установок.

3. Використання хімічних речовин.

Для роботи деяких типів компресорів (наприклад, холодильних або кондиціонерних) використовуються хладагенти, що можуть бути хімічно небезпечними. Сучасні холодоагенти, такі як HFC, мають менший вплив на озоновий шар, але може бути парниковими газами.

4. Проблеми з утилізацією.

Комплексна робота компресорної техніки призводить до утворення різних відходів, таких як олії, фільтри, елементи зношених систем, що вимагають правильної утилізації.

5. Енергетична ефективність.

Низька енергетична ефективність компресорної техніки може призвести до збільшення споживання енергії, що в свою чергу впливає на екологічну ситуацію.

6. Вплив на екосистеми.

Деякі види компресорів (наприклад, системи охолодження та вентиляції у виробничих процесах) можуть бути пов'язані з екологічними ризиками, такими як витік холодоагенту або забруднення води у разі витоків.

Для зниження негативного впливу розглянемо наступні заходи.

1. Використання екологічних холодоагентів. Перехід на більш безпечні для озонового шару та клімату холодоагенти (наприклад, гідрофторолефіни або вуглекислий газ).

2. Енергоефективність. Сучасні компресори з високою енергоефективністю та технологічні покращення можуть знизити загальний споживання енергії та викиди вуглекислого газу.

3. Технічне обслуговування та утилізація відходів. Регулярне технічне обслуговування компресорної техніки для запобігання витоку та правильно організована утилізація відходів.

4. Використання відновлюваних джерел енергії. Коли компресори працюють на електриці, використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітряні установки, може зменшити вплив на екологію.

Таким чином, компресорна техніка має як негативний, так і позитивний вплив на екологію.

ВИСНОВКИ

Відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1 Визначено службове призначення компресора поршневого. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу колінчастого. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замітника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – дрібносерійний.

2 Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу колінчастого. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні зовнішньої $\varnothing 90_{-0.06}^{+0.06}$ мм та внутрішньої $\varnothing 45_{-0.01}^{+0.01}$ мм розрахунково-аналітичним методом.

3 Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції механічної обробки валу колінчастого (фрезерування). Визначені параметри силового приводу. Розраховано слабку ланку на міцність.

4 Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу колінчастого пневматичного компресора. Річний економічний ефект для програми випуску 150 шт. склав 359115 грн. Окрім того, здійснено розрахунок освітлення робочого місця. Приділено увагу впливу компресорного обладнання та довкілля.

5 У графічній частині роботи наведено складальний кресленик поршневого компресора, кресленик валу колінчастого, кресленик заготовки валу колінчастого, складальний кресленик затискного пристосування для виконання операції механічної обробки деталі фрезеруванням.