

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: Технологічно-конструкторська підготовка виготовлення деталі

«Кронштейн»

Пояснювальна записка

Виконав: студент 4 курсу, групи 4ІМ

Спеціальності 131-Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Пеек А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сімінченко І.П.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2025

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

- Інститут, факультет, відділення інженерії та транспорту
- Кафедра, циклова комісія Автоматизації, робототехніки і мехатроніки
- Освітньо-кваліфікаційний рівень _____
- Напрямок підготовки _____
- Спеціальність 131- Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії _____

_____ Д.О. Дмитрієв _____

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Пеек Анатолію Володимировичу

1. Тема проекту “Технологічно-конструкторська підготовка виготовлення деталі «Кронштейн»”

Керівник проекту (роботи) _____ Сімінченко Ігор Павлович _____

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

Затвердженні наказом вищого навчального закладу від 15 січня 2024 року № 17-с.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 10.06.2025 р.
3. .Вихідні дані по проекту (роботи) робоче креслення деталі кронштейн, технічні вимоги до конструкції деталі кронштейн, річна програма випуску 500 шт., типовий технологічний процес, спосіб отримання заготовки, вимоги до матеріалу деталі
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз технологічності конструкції деталі, проектування

конструкції заготовки, проектування технологічного процесу виготовлення деталі, визначення припусків для технологічних переходів, призначення режимів різання, нормування технологічних операцій, проектування верстатного пристрою металорізального інструменту.

5. **Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Аналіз службового призначення та умов роботи деталі "Кронштейн"	Сімінченко І.П.	28.02.24	
Конструкторська частина	Сімінченко І.П.	15.02.24	
Технологічна частина	Сімінченко І.П.	01.04.24	
Проектування та виготовлення пристосування	Сімінченко І.П.	30.04.24	
Охорона праці та пожежна безпека	Кузнецов С.І	05.04.24	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної Роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, постановка мети, аналіз призначення деталі	01.02 – 07.02	
2	Вибір матеріалу, типу виробництва, заготовки	08.02 – 14.02	
3	Розробка технологічного процесу	15.02 – 25.02	
4	Вибір обладнання, режимів, інструменту	26.02 – 07.03	
5	Проектування пристрою та його розрахунок	08.03 – 15.03	
6	Контроль якості, методи вимірювання	16.03 – 29.03	
7	Охорона праці та пожежна безпека	30.03 – 05.04	
8	Оформлення креслень	06.04 – 25.04	
9	Висновки, оформлення списку літератури	26.04 – 28.04	
10	Перевірка, редагування, остаточне оформлення	29.04 – 05.05	
11	Підготовка до захисту, подача дипломної роботи	06.05 – 10.05	

Студент _____ Пеек А.В.

Керівник роботи _____ Сімінченко І.П.

(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі я виконав повний цикл технологічно-конструкторської підготовки виготовлення деталі типу «Кронштейн», яка є відповідальним елементом у машинобудівних вузлах і виконує опорні та з'єднувальні функції. Головною метою мого проєкту було розробити ефективний технологічний процес механічної обробки даної деталі з урахуванням вимог до точності, жорсткості, якості та безпеки.

На початковому етапі я проаналізував конструкцію кронштейна та умови його роботи в складі механізму. Я обґрунтував вибір матеріалу — сірий чавун СЧ15, який забезпечує достатню міцність, віброізоляційні властивості та гарну

оброблюваність. Після цього я вибрав метод виготовлення заготовки — лиття по виплавлюваних моделях, оскільки він забезпечує високу точність литої форми, мінімальні припуски та відсутність грубих ливарних швів. Такий підхід дозволив зменшити витрати на механічну обробку й уникнути значних деформацій.

Для реалізації процесу обробки я розробив поопераційний технологічний маршрут і виконав наладку на горизонтально-фрезерному обробному центрі Mazak HCN-5000, який дозволяє з високою точністю виконувати фрезерування, свердління, зенкерування та розточування.

Під час наладки були виконані такі основні операції:

- центрування отвору під різьбу М5 за допомогою центрувального свердла (встановлювалось у свердлильний патрон 16-B18);
- свердління отвору Ø4.2 мм твердосплавним свердлом ВК6 довжиною 60 мм (ГОСТ 10902-77);
- нарізання різьби М5 мітчиком, встановленим у різьбонарізний патрон J4112;
- зенкерування отворів Ø16, Ø18, Ø21 та Ø23 мм відповідними зенкерами ВК8 (ГОСТ 14953-80), довжиною від 40 до 55 мм;
- розточування отворів Ø24 мм та Ø19 мм на одній установці за допомогою спеціальної розточувальної борштанги, оснащеної двома різальними вставками, відстань між якими становить 66 мм, загальна довжина оправки – 105 мм.

Надійне та точне закріплення деталі в процесі обробки забезпечується спеціальним пристроєм, який я також спроектував у межах даної роботи. Пристрій монтується на стіл верстата з Т-подібними пазами, у які фіксуються дві опорні балки. Деталь зажата між верхньою та нижньою балкою, які кріпляться до столу болтами з контргайками. Зверху передбачено швидкознімну шайбу, яка полегшує фіксацію. Для точного базування

встановлено пальці, що входять у відповідні базові отвори на деталі. Така система забезпечує жорстке кріплення, повторюваність установлення та точність позиціонування при багаторазовому використанні.

Я також розробив систему контролю якості, яка передбачає застосування ручних вимірювальних засобів (штангенциркулів, мікрометрів, нутромірів, калібрів), а також координатно-вимірювальної машини. Це дозволяє контролювати розміри отворів, співвісність, шорсткість та геометричні параметри згідно з технічними вимогами.

У розділі охорони праці я проаналізував виробничі ризики та описав заходи безпеки, які повинні бути реалізовані при роботі з обладнанням. Зокрема, передбачено використання засобів індивідуального захисту, вентиляції, аварійного вимкнення живлення, а також дотримання пожежних норм.

У результаті виконання цієї дипломної роботи я розробив повноцінний техпроцес виготовлення деталі «Кронштейн», який може бути впроваджений у серійне виробництво. Запропоновані рішення забезпечують високу точність, зменшення витрат на обробку, стабільність якості та безпечні умови праці. Додатково в межах роботи реалізовано програмування траєкторії інструмента у САМ-системі ADEM для верстатів з числовим програмним керуванням. Це дозволило оптимізувати фрезерування поверхонь, підвищити точність та стабільність обробки, а також скоротити час виготовлення за рахунок автоматизованого керування рухом інструмента.

ABSTRACT

In this thesis, I performed a full cycle of technological and design preparation for the manufacture of a part such as a “Bracket”, which is a critical element in machine-building assemblies and performs supporting and connecting functions. The main goal of my project was to develop an effective technological process for machining

this part, taking into account the requirements for accuracy, rigidity, quality, and safety.

At the initial stage, I analyzed the design of the bracket and the conditions of its operation as part of the mechanism. I substantiated the choice of material - gray cast iron CЧ15, which provides sufficient strength, vibration isolation properties and good machinability. After that, I chose the method of manufacturing the workpiece - investment casting, as it ensures high accuracy of the cast mold, minimal allowances and the absence of rough casting seams. This approach allowed me to reduce machining costs and avoid significant deformations.

To implement the machining process, I developed a step-by-step technological route and performed setup on the Mazak HCN-5000 horizontal milling machining center, which allows milling, drilling, countersinking, and boring with high accuracy.

The following main operations were performed during setup

centering the hole for the M5 thread using a centering drill (installed in a 16-B18 drill chuck)

drilling a Ø4.2 mm hole with a 60 mm long carbide drill bit VK6 (GOST 10902-77);

cutting an M5 thread with a tap installed in a J4112 threading chuck;

countersinking Ø16, Ø18, Ø21 and Ø23 mm holes with appropriate VK8 countersinks (GOST 14953-80), 40 to 55 mm long;

boring holes Ø24 mm and Ø19 mm on one machine using a special boring bar equipped with two cutting inserts, the distance between which is 66 mm, the total length of the mandrel is 105 mm.

Reliable and precise fixing of the workpiece during machining is ensured by a special device that I also designed as part of this work. The device is mounted on a machine table with T-shaped grooves in which two support beams are fixed. The part is sandwiched between the upper and lower beams, which are attached to the table with

bolts and lock nuts. A quick-release washer is provided on top to facilitate fixation. For precise positioning, the pins are fitted with corresponding base holes in the workpiece. This system ensures a rigid attachment, repeatable installation and precise positioning during repeated use.

I have also developed a quality control system that involves the use of hand-held measuring instruments (calipers, micrometers, gauges, gauges), as well as a coordinate measuring machine. This makes it possible to control hole sizes, alignment, roughness, and geometric parameters in accordance with technical requirements.

In the occupational health and safety section, I analyzed occupational risks and described the safety measures that should be implemented when working with the equipment. In particular, the use of personal protective equipment, ventilation, emergency power off, and compliance with fire regulations are provided for.

As a result of this thesis, I have developed a full-fledged technical process for the manufacture of the “Bracket” part, which can be implemented in mass production. The proposed solutions ensure high accuracy, reduced processing costs, quality stability, and safe working conditions. Additionally, the work included programming of the tool path in the ADEM CAM system for computer numerically controlled machines. This made it possible to optimize surface milling, improve machining accuracy and stability, and reduce production time through automated tool movement control.

ЗМІСТ

Вступ

1)Аналіз службового призначення та умов роботи деталі "Кронштейн"

- 1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація
- 1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі
- 1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу
- 1.4 Визначення типу виробництва

2)Конструкторська частина

- 2.1 Проектування конструкції заготовки
- 2.2 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу
- 2.3 Розрахунок жорсткості конструкції кронштейна

3)Технологічна частина

- 3.1 Проектування технологічного процесу
- 3.2 Вибір обладнання
- 3.3 Розрахунок припусків та режимів різання
- 3.4 Обґрунтування вибору інструментів і пристроїв
- 3.5 Огляд розточних інструментів
- 3.6 Розточні оправки
- 3.7 Обрана розточна оправка
- 3.8 Обґрунтування вибору інструменту

4)Проектування та виготовлення пристосування

- 4.1 Конструкція спеціального пристрою
- 4.2 Розрахунок пристрою на точність

5) Застосування ЧПУ в процесі обробки

- 5.1 Побудова траєкторії інструмента в САМ-системі
- 5.2 Переваги використання ЧПУ для обробки кронштейна

5)Контроль якості та технічне забезпечення пристосування

- 6.1 Види контролю
- 6.2 Прилади та методи контролю

7)Охорона праці та пожежна безпека

8)Висновки

Список використаної літератури

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні технологічна підготовка виробництва відіграє ключову роль у забезпеченні якості, точності та економічної ефективності виготовлення деталей. Постійне зростання вимог до надійності та функціональності виробів, розвиток верстатного парку, автоматизація процесів та використання новітніх матеріалів і інструментів висувають нові завдання перед інженерами-технологами. Однією з основ таких завдань є розробка технологічного процесу виготовлення конкретної деталі, який би забезпечував оптимальний баланс між високою точністю, стабільною якістю та мінімальними виробничими витратами.

Об'єктом дослідження даної дипломної роботи є деталь типу «Кронштейн», яка широко використовується у різних галузях техніки — від приладобудування до важкого машинобудування. Кронштейн виконує функції жорсткого з'єднання, опори або направлення елементів механізму, сприймаючи як статичні, так і динамічні навантаження. У процесі експлуатації деталь зазнає впливу вібрацій, тертя, температурних деформацій та можливих ударних навантажень, тому до неї висуваються підвищені вимоги щодо механічної міцності, зносостійкості та геометричної точності.

У ході виконання дипломної роботи було проведено детальний аналіз конструкції кронштейна, умов його роботи у вузлі, а також класифікацію та порівняння варіантів матеріалів, з яких доцільно виготовляти деталь. У результаті було обґрунтовано вибір сірого чавуну марки СЧ15 як конструкційного матеріалу завдяки його хорошим демпфувальним властивостям, високій оброблюваності та достатній міцності при помірних навантаженнях.

Особлива увага у роботі приділена розробці конструкції заготовки, що виготовляється методом лиття по виплавлюваних моделях. Такий спосіб дозволяє досягти високої точності заготовки, мінімізувати припуски на

механічну обробку та знизити собівартість виробництва. У технологічному маршруті виготовлення деталі враховано особливості геометрії кронштейна, розташування отворів, ребер жорсткості та посадочних поверхонь.

На основі аналізу обсягів виробництва, маси деталі та використовуваних верстатів встановлено, що тип виробництва є середньосерійним, що дозволяє використовувати універсальні пристосування з елементами спеціалізації, забезпечуючи при цьому гнучкість і економічну доцільність обробки.

У дипломному проекті також розроблено поопераційний технологічний процес, обґрунтовано вибір обладнання (включаючи ЧПК-центри MAZAK HCN-5000 і HAAS VF-6/50), підібрано необхідні інструменти та пристрої. Виконано розрахунок режимів різання для операцій фрезерування та розточування, що забезпечує оптимальну продуктивність при високій точності обробки.

Окрему увагу приділено питанням базування та точності пристрою, адже від них залежить відповідність параметрів обробки кресленням. Було виконано розрахунок сумарної похибки пристрою, що показав її допустимість для заданих умов обробки.

Метою дипломної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі "Кронштейн", що відповідає сучасним вимогам до точності, економічності та надійності обробки, з урахуванням усіх чинників, що впливають на кінцеву якість виробу.

Завдання, які вирішуються у роботі:

- виконати аналіз конструкції деталі та умов її експлуатації;
- вибрати оптимальний конструкційний матеріал і метод виготовлення заготовки;
- обґрунтувати тип виробництва;

- розробити технологічний процес механічної обробки;
- обрати верстати, інструмент, пристрої та режими різання;
- виконати розрахунок похибки пристрою на точність;
- оцінити економічну ефективність розробленого процесу;
- розглянути заходи з охорони праці при виконанні обробки.

Результати досліджень і розрахунків у дипломному проекті свідчать про можливість серійного виготовлення деталі «Кронштейн» із забезпеченням усіх вимог до геометрії, точності та якості обробки на сучасному високоточному обладнанні. Особливе місце в роботі займає розділ, присвячений застосуванню ЧПУ-обладнання. Було побудовано траєкторію інструмента в САМ-системі та змодельовано процес фрезерування в програмному середовищі ADEM. Це підвищило ефективність процесу, мінімізувало похибки та забезпечило високий рівень автоматизації обробки.

1)Аналіз службового призначення та умов роботи деталі "Кронштейн"

1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Загальний опис конструкції

Кронштейн – це конструктивний елемент, призначений для кріплення, підтримки або з’єднання різних механічних вузлів. Він широко застосовується у машинобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості, де необхідно забезпечити міцне з’єднання деталей та рівномірний розподіл навантаження. Деталь може виконувати функції опори для навантажених елементів механізмів, з’єднувати різні конструктивні частини виробу, забезпечувати передачу зусиль та гасити вібраційні навантаження. Конструкція кронштейна

повинна бути достатньо жорсткою, щоб витримувати експлуатаційні навантаження та мати високу зносостійкість для тривалого використання. Залежно від сфери застосування кронштейни можуть мати різну геометрію та конструктивні особливості. Деякі варіанти передбачають наявність отворів для болтового кріплення, спеціальних пазів для фіксації деталей або ребер жорсткості для підвищення міцності. Форма та розміри кронштейна визначаються виходячи з механічних навантажень, які діятимуть на деталь, а також із вимог до її зручності монтажу. Матеріалом для виготовлення кронштейнів можуть бути різні види чавуну, сталі та навіть сплави алюмінію, залежно від вимог до міцності, ваги та корозійної стійкості. У даному випадку використовується сірий чавун, який має гарні демпфувальні властивості, відносно високу міцність і відмінну оброблюваність. Завдяки цьому деталь може ефективно виконувати свої функції, не зазнаючи передчасного зносу або деформації.

Також важливим аспектом є спосіб виготовлення кронштейна. У промисловості можуть застосовуватися литі, штамповані або механічно оброблені кронштейни. Лиття є найбільш раціональним методом виготовлення, оскільки дозволяє отримати деталь зі складною геометрією та мінімальними витратами матеріалу. Подальша механічна обробка забезпечує високу точність і відповідність необхідним розмірам, що дозволяє використовувати кронштейн у відповідальних конструкціях. Крім того, слід враховувати експлуатаційні умови, в яких працюватиме кронштейн. Для роботи в агресивних середовищах може бути застосоване додаткове покриття для захисту від корозії, а для підвищення міцності можливе легування матеріалу або додаткова термообробка.

Таким чином, кронштейн є важливим конструктивним елементом, який виконує низку ключових функцій у механізмах і конструкціях, забезпечуючи їхню надійність і довговічність. Завдяки використанню якісного матеріалу та правильно розробленої конструкції, деталь здатна ефективно працювати в умовах підвищених навантажень, вібрацій і температурних змін.

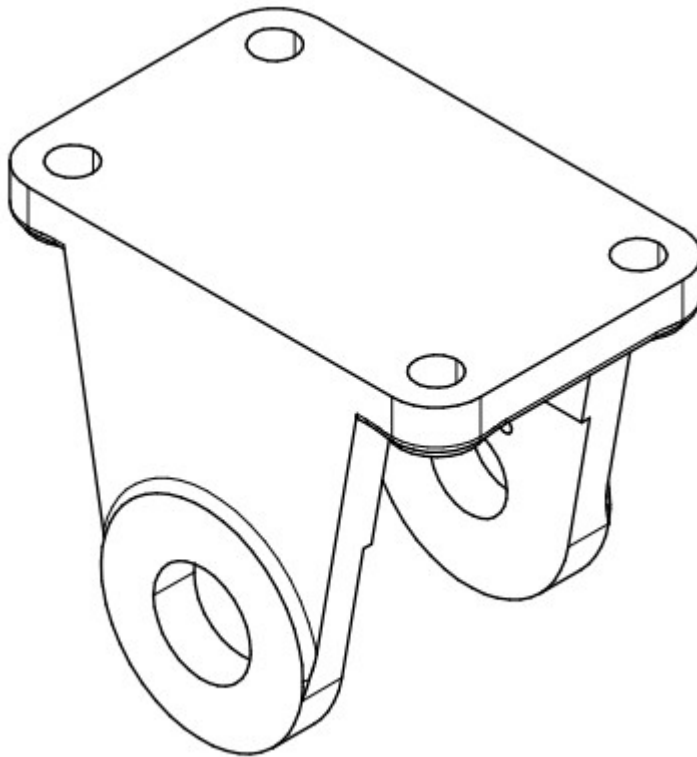


Рисунок 1 - 3Д модель Кронштейна

Геометричні особливості

Кронштейн має компактну, але міцну конструкцію, що включає:

- Основний корпус, який може мати Г-подібну, П-подібну або іншу складну форму в залежності від сфери застосування.
- Тонкі стінки (товщина змінюється в залежності від умов експлуатації) для підвищення жорсткості та зменшення ймовірності деформації при механічній обробці
- Отвори різного діаметра, які дозволяють встановлювати болтові з'єднання або осьові механізми.

Елементи конструкції

1. Отвори для кріплення – присутні різні діаметри отворів (D10, D16, D22, D19, D24), які забезпечують можливість використання різьбових та гладких з'єднань.

2. Базові поверхні – місця контакту з іншими деталями, які повинні відповідати вимогам точності та шорсткості ($Ra = 2,5 \text{ мкм}$).
3. Різьбові отвори М5 – застосовуються для фіксації різьби.
4. Посадкові місця для підшипників чи осей (D24, D19) , якщо кронштейн використовується в ролі опори для рухомих елементів.

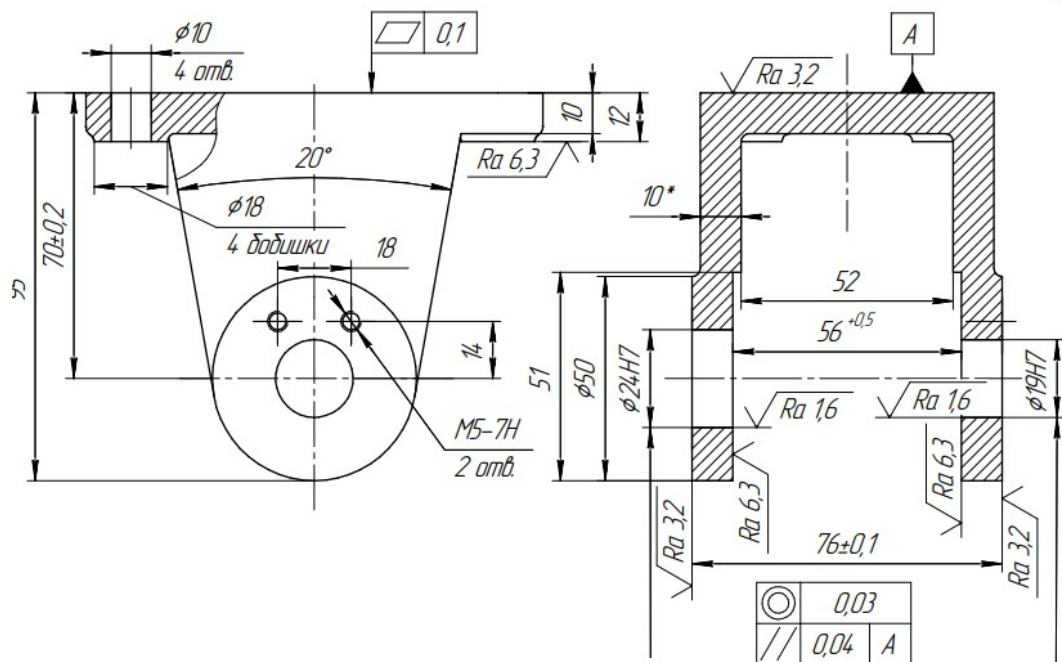


Рисунок 2 - Види кронштейна частина 1

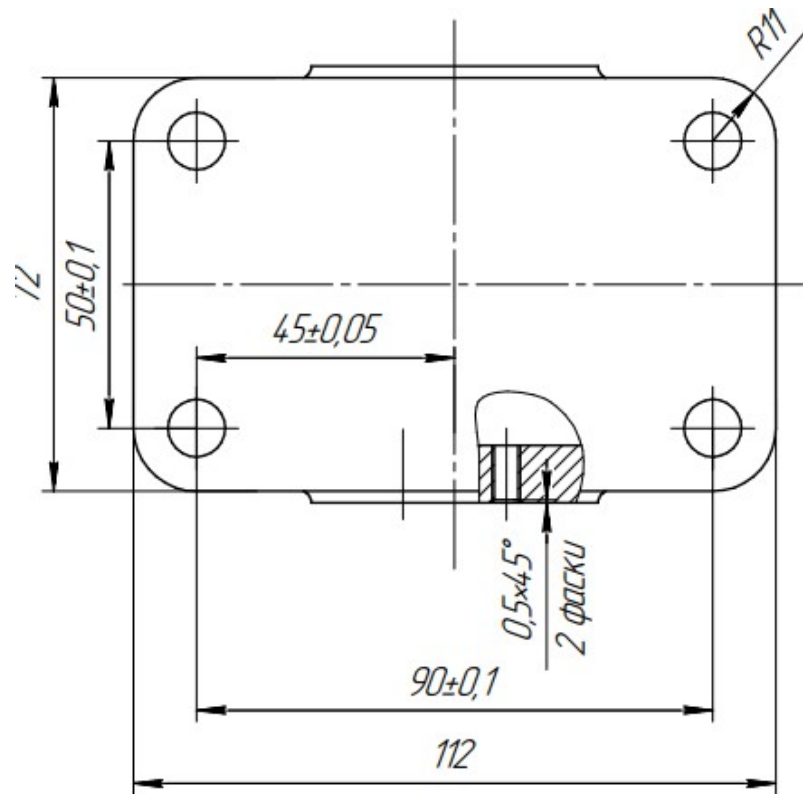


Рисунок 3 - Види кронштейна частина 2

Механічні характеристики та особливості експлуатації

Кронштейн піддається різним механічним навантаженням:

- Статичні навантаження, які виникають при фіксованому положенні.
- Динамічні навантаження, що з'являються під час роботи механізму (вібрації, удари, прискорення).
- Температурні впливи – у деяких випадках кронштейни експлуатуються в умовах підвищених температур або агресивного середовища, тому матеріал повинен мати відповідні термостійкі властивості.

Класифікація кронштейна

Кронштейн можна класифікувати за кількома критеріями:

1. За конструктивними особливостями:
 - Монолітні (суцільнолиті або оброблені з однієї заготовки)
 - Збірні (з'єднані з декількох частин за допомогою зварювання або болтових з'єднань)
2. За методом виготовлення:

- Литі (виготовлені литтям у формах, зокрема у піщано-глинистих формах)
 - Штамповані (отримані методом пластичної деформації металу)
 - Оброблені (виготовлені шляхом механічної обробки на верстатах)
3. За способом монтажу:
- Фіксовані (жорстко закріплені на конструкції)
 - Знімні (кріпляться на болтах або інших швидкокороз'ємних з'єднаннях)
4. За функціональним призначенням:
- Опорні (використовуються для підтримки деталей або механізмів)
 - Кріпильні (служать для жорсткого з'єднання елементів конструкції)
 - Напрямні (забезпечують певну траєкторію руху деталей механізму)

1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Кронштейн є важливим елементом конструкції, який працює в умовах значних механічних навантажень, забезпечуючи підтримку або кріплення інших компонентів. В залежності від конструктивного призначення, кронштейн може зазнавати як статичних, так і динамічних навантажень. Під статичними навантаженнями розуміються сили, що діють на деталь у нерухомому стані, наприклад, вага механізму або деталі, що спирається на кронштейн. Динамічні навантаження виникають у процесі руху деталей, передаючи вібрації, поштовхи та змінні механічні навантаження, що можуть призводити до поступового зношування та деформацій матеріалу.

Кронштейн піддається не тільки навантаженням на вигин, а й розтягуванню, стиску та зсуву в залежності від місця його встановлення. Важливу роль відіграє правильний вибір матеріалу, адже від нього залежить довговічність та надійність роботи деталі в умовах під дією навантажень. Сірий чавун, який використовується для виготовлення кронштейна, має високу твердість та міцність, що дозволяє витримувати великі механічні впливи.

Умови роботи кронштейна залежать від конкретного вузла, в якому він використовується. Наприклад, якщо кронштейн встановлюється у механізмах з високою вібрацією, необхідно забезпечити його належне кріплення, щоб уникнути послаблення з'єднань. Вібрації можуть призводити до поступового руйнування різьбових з'єднань або появи мікротріщин у матеріалі. Якщо кронштейн використовується у вузлах, що працюють в умовах підвищених температур, необхідно враховувати можливість теплового розширення матеріалу, яке може спричинити зміни у посадці деталей або втрату точності кріплення. Також важливо оцінити дію навколишнього середовища: у випадках роботи у вологих або агресивних середовищах Сірий чавун може піддаватися корозійним процесам, що потребує застосування спеціальних захисних покриттів.

Вона повинна відповідати жорстким вимогам щодо точності обробки та шорсткості поверхонь, оскільки навіть незначні відхилення можуть впливати на коректність роботи всього механізму. Наприклад, при використанні кронштейна як опорної конструкції для рухомих частин, важливо забезпечити ідеальне вирівнювання, інакше це може призвести до прискореного зношування сусідніх елементів через нерівномірний розподіл навантаження. Крім того, у випадках, коли кронштейн виконує роль несучого елемента для речей, що зазнають ударних навантажень, необхідно передбачити достатній запас міцності, щоб уникнути раптового руйнування.

В процесі експлуатації важливе значення має також технологія кріплення кронштейна. Якщо використовується болтове з'єднання, необхідно ретельно контролювати момент затягування та забезпечувати рівномірний розподіл навантажень по всій площині контакту. Використання зварних з'єднань може підвищити жорсткість конструкції, але при цьому виникає ризик утворення внутрішніх напружень у матеріалі, що в подальшому може негативно позначитися на його міцності. У випадку, коли кронштейн є змінним елементом, необхідно передбачити можливість його швидкої заміни без значних трудовитрат.

Отже, аналіз умов роботи кронштейна у вузлі показує, що деталь працює в умовах високих навантажень, динамічних впливів та можливих зовнішніх факторів, які можуть впливати на її експлуатаційні характеристики. Вибір матеріалу, конструктивні рішення, правильний монтаж та дотримання технологічних параметрів відіграють ключову роль у забезпеченні надійної та довговічної роботи у складальному вузлі.

1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Вибір конструкційного матеріалу для виготовлення кронштейна є одним із ключових етапів проектування, оскільки саме від матеріалу залежать експлуатаційні характеристики, довговічність, міцність та технологічність обробки деталі. При виборі матеріалу необхідно враховувати такі фактори, як механічні властивості, зносостійкість, корозійна стійкість, економічна доцільність та технологічність виготовлення.

Кронштейн працює в умовах значних механічних навантажень, тому матеріал повинен мати високу міцність, жорсткість і зносостійкість. Крім того, важливим є його здатність протистояти ударним навантаженням та вібраціям, що можуть впливати на довговічність деталі. Враховуючи ці вимоги, існує кілька варіантів матеріалів, серед яких Сірий чавун, конструкційна сталь, нержавіюча сталь та алюмінієві сплави. По завданню кронштейн виготовляється з сірого чавуну СЧ15

Цей матеріал має високу твердість та зносостійкість завдяки значному вмісту карбідів заліза (Fe_3C) у своїй структурі. Він забезпечує високу міцність при статичних і динамічних навантаженнях, що особливо важливо для деталей, які працюють у вузлах із високими механічними впливами. (ГОСТ 1412-85. Чавун сірий. Марки — для технічних характеристик СЧ15.)

Основними перевагами сірого чавуну є:

- Висока міцність (250-400 МПа), що дозволяє витримувати значні механічні навантаження без деформацій.

- Гарна вібро- та шумопоглинаюча здатність, що робить його ідеальним для деталей, які працюють в умовах високих динамічних навантажень.
- Відмінна оброблюваність, що дозволяє значно зменшити витрати на механічну обробку у порівнянні з іншими типами чавуну.
- Висока термостійкість, що забезпечує стабільність розмірів навіть при значних коливаннях температури.
- Низька собівартість, що робить його економічно вигідним матеріалом для масового виробництва.

Проте сірий чавун також має певні недоліки:

- Помірна крихкість, через що він менш ударостійкий у порівнянні з ковким чавуном.
- Менша зносостійкість у порівнянні з білим чавуном, що може вимагати додаткових методів зміцнення поверхні при експлуатації у важких умовах.

Враховуючи всі вищенаведені фактори, сірий чавун (СЧ15) є оптимальним матеріалом (механічні характеристики наведені у таблиці 1) для виготовлення кронштейна. Він забезпечує достатню міцність, гарну вібро- та шумопоглинаючу здатність, економічну доцільність та простоту механічної обробки. Це робить його ідеальним вибором для деталей, що працюють у вузлах із помірними навантаженнями, вібраціями та змінами температурного режиму. Завдяки своїм властивостям, сірий чавун дозволяє збільшити термін служби деталі та забезпечити її стабільну роботу в умовах експлуатації. (Бухало В.С., Коржик В.М. *Технологія конструкційних матеріалів* — для загальних властивостей чавуну.)

Таблиця 1 — Механічні характеристики сірих чавунів

Марка	Міцність на розтяг (МПа)	Твердість (НВ)	Ударна в'язкість (кДж/м²)	Модуль пружності (ГПа)	Зносостійкість

СЧ10	150-200	120-160НВ	2,5-4,0	80-100	Низька
СЧ15	200-250	140-180НВ	3,5-5,5	90-110	Середня
СЧ20	250-300	160-200НВ	4,0-6,5	100-120	Середня
СЧ25	300-350	180-220НВ	4,5-7,0	110-130	Висока
СЧ30	350-400	190-240НВ	5,0-8,0	120-140	Висока
СЧ35	400-450	200-260НВ	5,5-9,0	130-150	Висока
СЧ40	450-500	210-280НВ	6,0-10,0	140-160	Дуже висока

Таблиця 2 - Хімічний склад сірого чавуну

Химический состав в % материала СЧ15 ГОСТ 1412 - 85				
C	Si	Mn	S	P
3.5 - 3.7	2 - 2.4	0.5 - 0.8	до 0.15	до 0.2

Кожен з цих елементів виконує важливу роль у формуванні властивостей матеріалу:

- Вуглець (C) – основний елемент, що визначає структуру чавуну. Високий вміст (3.5–3.7%) сприяє утворенню графіту, що надає матеріалу високу вібро- та шумопоглинальну здатність. Це особливо важливо для деталей, що працюють в умовах механічних коливань, таких як кронштейн.
- Кремній (Si) – підвищує здатність до графітизації та сприяє формуванню пластинчастого графіту. Це покращує ливарні властивості та забезпечує хорошу механічну оброблюваність.
- Марганець (Mn) – зміцнює феритну складову та зменшує крихкість. Його вміст у межах 0.5–0.8% дозволяє збалансувати міцність та пластичність чавуну.
- Сірка (S) – небажаний елемент, оскільки утворює тендітні сполуки. Її вміст обмежений до 0.15%, що запобігає надмірній крихкості матеріалу.

- Фосфор (P) – покращує рідкоплинність чавуну, але у великій кількості може робити його крихким. Тому його вміст не перевищує 0.2%. (*Матеріалознавство. Підручник за ред. Панченка В.П. — для хімічного складу.*)

Таким чином, Сірий чавун було обрано як оптимальний матеріал для виготовлення кронштейна, оскільки він забезпечує необхідний баланс між міцністю, зносостійкістю, технологічністю та економічною ефективністю. Для мінімізації його недоліків, таких як крихкість та складність обробки, передбачено використання відповідних режимів різання та захисних покриттів для збільшення терміну служби деталі. (*ГОСТ 1412-85 — підтвердження значень хімічних елементів.*)

1.4 Визначення типу виробництва

Визначення типу виробництва є ключовим етапом технологічної підготовки виготовлення кронштейна, оскільки від цього залежить вибір обладнання, технологічних процесів, організація виробництва та економічна ефективність усього циклу виготовлення. Тип виробництва визначається за такими параметрами, як обсяг випуску деталей, рівень уніфікації конструкції, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, а також можливості автоматизації процесів.

Згідно з прийнятою класифікацією виробничих процесів, існує кілька основних типів виробництва: одиничне, дрібносерійне, серійне та масове. Для вибору оптимального типу виробництва необхідно враховувати плановий річний обсяг випуску кронштейна, що становить 500 штук. Такий обсяг випуску свідчить про те, що виробництво належить до малосерійного або серійного типу, що має значний вплив на технологічну підготовку. (Давиденко І.В. *Технологічна*

підготовка машинобудівного виробництва. — для пояснення типів виробництва і їх впливу на вибір процесу.)

Середньо серійне виробництво передбачає випуск обмеженої кількості однакових деталей протягом певного періоду часу. Характерними ознаками цього типу є застосування універсального обладнання, використання стандартного інструменту та пристосувань, а також можливість внесення змін у технологічний процес без значних витрат. У випадку кронштейна, який виготовляється в кількості 1000 штук, можливе використання як універсальних верстатів, так і обладнання з ЧПК для підвищення точності та зменшення часу обробки.

Таблиця 3 – Аналогові дані для визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт		
	легкі, масою до 20 кг	середні, масою 20...30 кг	важкі, масою більше 30 кг
Одиничний	до 100	до 10	1...5
Малосерійний	101...500	11...200	6...100
Середньо серійний	501...5000	201...1000	101...300
Велико серійний	5001...50000	1001...5000	301...1000
Масовий	більше 50000	більше 5000	більше 1000

У серійному виробництві спостерігається повторюваність технологічних операцій та виготовлення деталей у певних обсягах протягом визначеного часу. Для серійного виробництва характерне використання спеціалізованого обладнання та автоматизованих систем контролю, що підвищує продуктивність і зменшує відходи матеріалу. У випадку виготовлення кронштейна цей підхід може бути економічно вигідним, оскільки дозволяє оптимізувати витрати на виробництво та підвищити якість деталей завдяки точнішому контролю за параметрами обробки.

Одним із важливих факторів визначення типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій ($K_{зо}$), який показує, скільки різних технологічних операцій виконується на одному робочому місці. Для малосерійного виробництва цей коефіцієнт знаходиться в межах 10-20, що передбачає використання багатофункціонального обладнання, тоді як для серійного виробництва $K_{зо}$ є нижчим, оскільки операції розподіляються між спеціалізованими робочими місцями.

При визначенні типу виробництва необхідно враховувати також можливості використання гнучких виробничих систем (ГВС) та верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Використання ЧПК дозволяє зменшити трудомісткість виробничого процесу, скоротити час на переналагодження обладнання та підвищити точність обробки кронштейна. Це особливо важливо у випадку малосерійного та серійного виробництва, оскільки дозволяє знизити собівартість деталей без втрати якості.

Ще одним важливим фактором є вибір методів контролю якості. У малосерійному виробництві основна увага приділяється вхідному контролю матеріалів та міжопераційному контролю, який здійснюється операторами верстатів. Для серійного виробництва характерне використання автоматизованих систем контролю, які забезпечують високу повторюваність параметрів та мінімізують вплив людського фактора.

Таким чином, на основі аналізу обсягу випуску, технологічних можливостей та вимог до точності обробки було визначено, що оптимальним варіантом для виготовлення кронштейна є середньо серійне з елементами серійного підходу. Це дозволяє поєднати високу гнучкість виробничого процесу з ефективністю використання обладнання та оптимізувати витрати на виготовлення деталей. Вибір цього типу виробництва також забезпечує можливість оперативного коригування технологічного процесу без значних витрат на переналагодження обладнання та зміни оснастки, що є важливим фактором для збереження конкурентоспроможності продукції.

Конструкторська частина

2.1 Проектування конструкції заготовки

Проектування конструкції заготовки є одним із найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва, оскільки правильний вибір форми та розмірів заготовки впливає на собівартість виготовлення деталі, ефективність її механічної обробки, а також на якість кінцевого виробу. У випадку виготовлення кронштейна заготовка повинна відповідати всім вимогам щодо точності, міцності та технологічності, що забезпечить мінімальні відходи матеріалу і скоротить час обробки.

Методи лиття, що розглядаються

Існує кілька технологій лиття, які можуть бути використані для виготовлення заготовки кронштейна. Серед основних методів розглядаються:

Лиття у піщано-глинисті форми

Цей метод є одним із найпоширеніших у ливарному виробництві, особливо для виготовлення деталей із сірого чавуну. Він передбачає створення разової ливарної форми з формувальної суміші, що складається з кварцового піску, глини та води. Процес лиття у піщано-глинисті форми має такі переваги:

- Можливість виготовлення деталей будь-якої складності завдяки формуванню за допомогою моделей.
- Висока економічність – матеріали для формовки є дешевими і легко переробляються.
- Гарна якість відливок при відповідному контролі параметрів лиття.
- Гнучкість виробництва, що дозволяє виготовляти як поодинокі, так і серійні деталі.

Проте цей метод має певні недоліки, зокрема необхідність обробки поверхонь після лиття для досягнення заданих параметрів точності та шорсткості.

Метод лиття по виплавленим моделям

Ця технологія передбачає використання тимчасових моделей, виготовлених із легкоплавких матеріалів, найчастіше з воску або пінополістиролу. Процес виготовлення деталей цим методом включає наступні етапи:

1. Створення воскової моделі, яка точно повторює форму майбутньої деталі.
2. Покриття моделі керамічною оболонкою для створення ливарної форми.
3. Виплавлення воску та випал форми, що утворює порожнину для заливання металу.
4. Заливка розплавленого чавуну та подальше охолодження.
5. Видалення керамічної оболонки та фінішна обробка виливка.

Метод лиття по виплавленим моделям дозволяє отримувати деталі з високою точністю та якісною поверхнею, що значно зменшує обсяги механічної обробки.

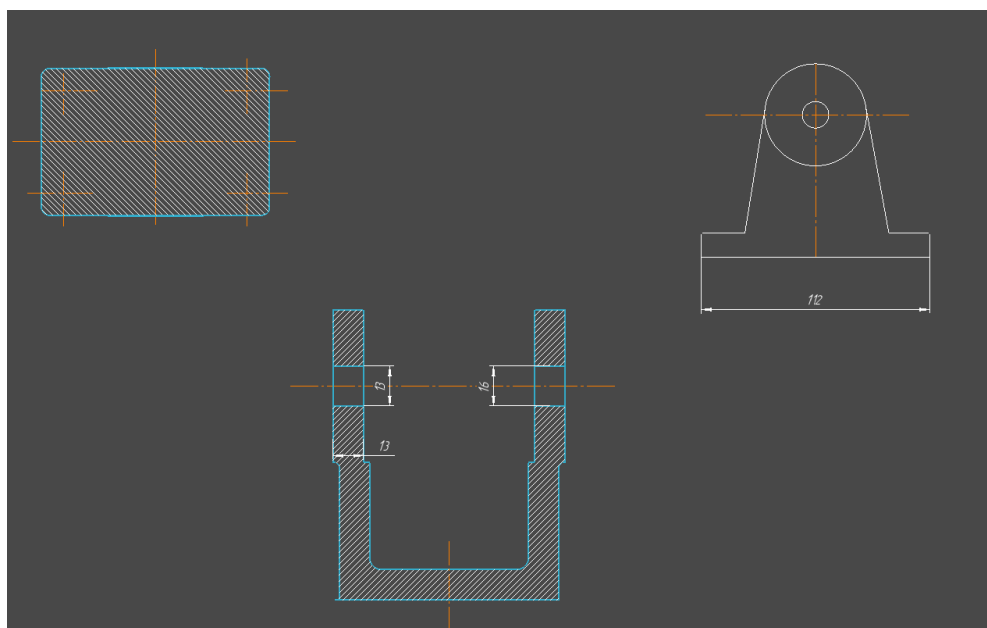


Рисунок 3 — Креслення заготовки

Аналізуючи можливі методи лиття, було обрано Метод лиття по виплавленим моделям. Він забезпечує оптимальне співвідношення економічності, технологічності та якості, що робить його найкращим варіантом для виготовлення заготовки кронштейна.

Завдяки цьому методу можна отримати виливок, який потребує мінімальних припусків на механічну обробку, що значно знижує виробничі витрати та скорочує цикл виготовлення деталі.

Таблиця 4

Конструктивні форми деталей

Код ми (КФ	фор Основні конструктивні ознаки деталі	Приклади конструкцій
3	<i>Призматичні деталі</i>	
31	Деталі простої форми, які складаються з гладких або ступінчастих площин, циліндричних або комбінованих поверхонь з наявністю буртів, ребер, бобишок, фланців та отворів	Плити, кронштейни, фланці, накривки, щоки
32	Коробчасті рознімні корпусні деталі з установочною поверхнею, яка паралельна або перпендикулярна до площини рознімання, які мають одну або більше базових поверхонь, а також ребра, заглиблення та виступи	Корпуса редукторів та варіаторів, коробок швидкостей, коробок подач
33	Деталі закритої та частково відкритої циліндричної і коробчастої форми. Зовнішні поверхні можуть мати плоску та криволінійну форму з кронштейнами, фланцями, патрубками та іншими елементами. Внутрішні поверхні	Станини металорізальних верстатів, столи верстатів, супорти, блоки циліндрів двигунів

	найчастіше мають складну форму з значними виступами та заглибленнями	внутрішнього згоряння, корпуси газових та водяних насосів, корпуси електродвигунів
--	--	--

При розробці конструкції заготовки враховуються такі ключові параметри:

- Габаритні розміри – вони повинні бути оптимальними для забезпечення мінімальних витрат матеріалу, але при цьому мати достатні припуски на обробку.
- Форма заготовки – повинна відповідати формі майбутнього кронштейна з урахуванням технологічних вимог.
- Товщина стінок – має бути достатньою для забезпечення міцності, але не надлишковою, щоб уникнути зайвих витрат матеріалу.
- Ливарні ухили та технологічні припуски – необхідні для зручного витягання заготовки з форми та подальшої обробки.

Одним із головних завдань проектування є визначення технологічних припусків, які забезпечують можливість подальшої механічної обробки без значних витрат часу і ресурсів. Для цього необхідно враховувати точність лиття, а також особливості технологічного процесу. Оптимальні припуски повинні дозволяти досягати необхідної точності при мінімальних зусиллях.

Окрім цього, при проектуванні заготовки враховуються такі аспекти:

- Розташування ливникової системи – правильний вибір місця подачі розплавленого металу мінімізує ризик утворення дефектів у заготовці, таких як газові раковини, тріщини або пористість.
- Охолодження та термічна обробка – процеси, які впливають на кінцеві механічні властивості деталі. У випадку сірого чавуну важливо уникнути

надмірного утворення карбідів, які можуть знизити ударну в'язкість матеріалу.

- Оброблюваність заготовки – конструкція заготовки повинна бути такою, щоб забезпечити зручне базування та кріплення при подальшій механічній обробці.

Вибираємо метод по виплавляємим моделях, він також має свої особливості. Для забезпечення рівномірного охолодження металу та запобігання внутрішнім напруженням передбачається відповідна товщина стінок, плавні переходи між елементами конструкції та оптимальне розташування ребер жорсткості. Це дозволяє уникнути деформацій заготовки під час її подальшої обробки та експлуатації.

Таблиця 1.4 — Економічна точність розмірів та параметри шорсткості поверхонь заготовки, які виготовлені різними видами та способами

Код	Вид та способи виготовлення заготовок	Точність розмірів, IT	Параметр шорсткості, R_a , мкм
1	<i>Литтям</i>		
11	<i>Лиття в піщано-глинисті форми</i>		
111	ручне формування за дерев'яними моделями	17	80-20
112	ручне формування за металевими моделями	16-17	40-10
113	машинне формування за металевими моделями	14-16	20-5
12	<i>Лиття в оболонкові форми</i>	13-14	10-5
13	<i>Лиття в кокілі</i>	12-15	20-5
14	<i>Відцентрове лиття</i>	12-14	40-10
15	<i>Лиття під тиском</i>	9-12	10-2,5

16	Лиття за моделями, що	11-12	10-2,5
----	-----------------------	-------	--------

При визначенні точності виготовлення заготовки враховуються допуски на ливарне виробництво. Відповідно до стандартів, для Сірого чавуну точність лиття може коливатися у межах IT12-IT14, що є прийнятним для подальшого точного фрезерування та свердління. Поверхні, які будуть оброблятися різальним інструментом, повинні мати припуски в межах 2-5 мм залежно від типу обробки. (Давиденко І.В. Технологічна підготовка машинобудівного виробництва — розділи про лиття.)

На заключному етапі проектування конструкції заготовки проводиться її моделювання у спеціалізованих програмних засобах, таких AutoCAD. Це дозволяє оцінити розподіл напружень у заготовці, спрогнозувати можливі деформації після лиття та визначити оптимальні точки кріплення для механічної обробки.

Таким чином, правильне проектування конструкції заготовки дозволяє зменшити витрати матеріалу, скоротити час механічної обробки, забезпечити високу якість кінцевої деталі та оптимізувати виробничий процес. Вибір лиття у піщано-глинисті форми є найбільш доцільним варіантом для виробництва кронштейна з сірого чавуну, оскільки цей метод забезпечує необхідну точність, міцність і технологічність заготовки. (ГОСТ 26645-85. Припуски на механічну обробку — для таблиць та діапазонів.)

2.2 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу

Вибір баз для технологічного процесу є важливим етапом у розробці технології виготовлення кронштейна, оскільки від правильного базування залежить точність обробки, стабільність розмірів та якість кінцевого виробу. Базування визначає спосіб розміщення заготовки на верстаті або пристосуванні, а також спосіб фіксації деталі під час обробки. Для ефективної механічної обробки

необхідно правильно вибрати та закріпити технологічні бази, що дозволить мінімізувати похибки та забезпечити відповідність кресленням.

При виборі баз для технологічного процесу враховуються такі основні фактори:

- Точність взаємного розташування поверхонь;
- Забезпечення жорсткості фіксації заготовки;
- Зручність доступу різального інструменту до всіх оброблюваних поверхонь;
- Мінімізація похибок, що виникають під час перевстановлення деталі між операціями;
- Спрощення технологічного процесу шляхом використання єдиної системи базування на всіх етапах обробки.

У процесі виготовлення кронштейна застосовується принцип єдиної технологічної бази, що означає використання одних і тих самих базових поверхонь на всіх етапах обробки. Це дозволяє зменшити похибки, що виникають при повторному встановленні деталі, а також забезпечити високу точність остаточних розмірів. (*Ковальов С.Ф. Технологічне оснащення верстатів — для методів базування.*)

Для базування кронштейна було вибрано такі базові поверхні:

1. Основна опорна поверхня – використовується як головна технологічна база для першочергового базування деталі на фрезерному верстаті. Вона забезпечує жорстке встановлення заготовки та гарантує точність розташування інших поверхонь відносно неї.
2. Отвори для кріплення – деякі технологічні операції виконуються з використанням отворів заготовки як баз, що дозволяє мінімізувати похибки при подальших етапах обробки.

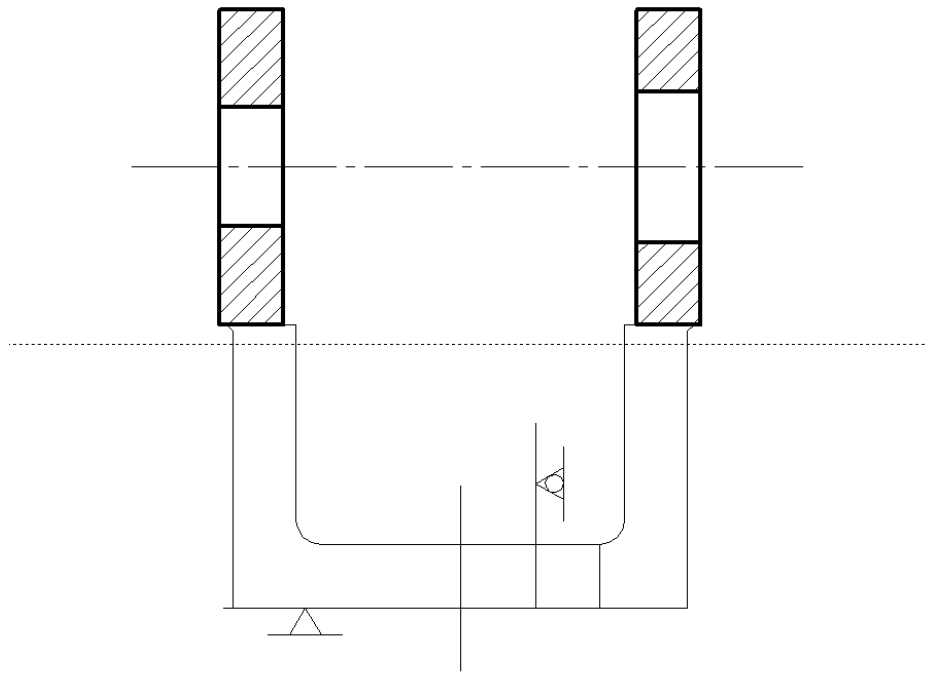


Рисунок 4 - Основна технологічна база

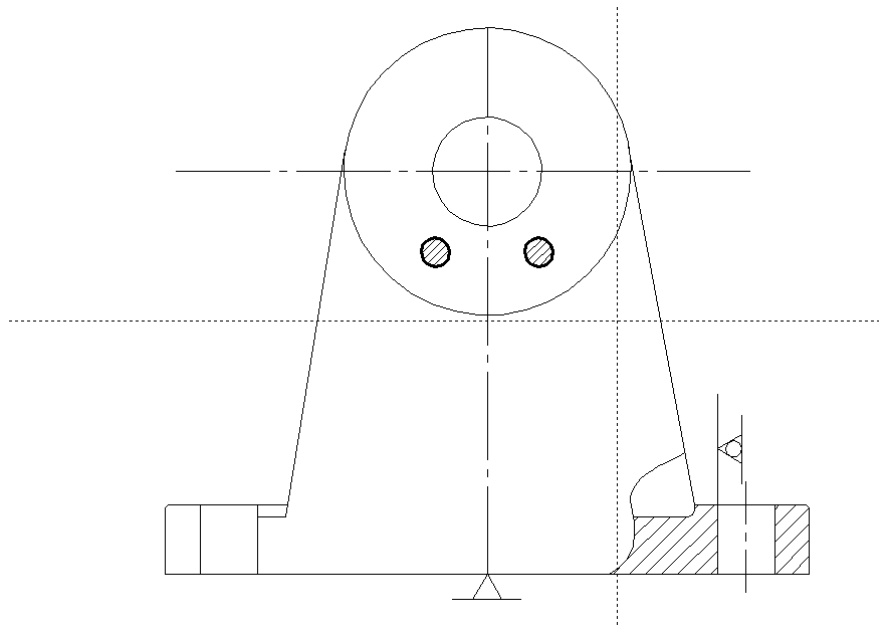


Рисунок 5 - Отвори для кріплення

Важливим аспектом є вибір технологічного оснащення для базування та закріплення заготовки. Використовуються універсальні затискні пристрої, які забезпечують надійне кріплення деталі без її деформації. Для операцій, що вимагають підвищеної точності, можливе використання спеціалізованих

пристосувань із точними напрямними базами. (ГОСТ 22267-76. Базування та встановлення заготовок при механічній обробці.)

Застосування правильно вибраних баз дозволяє зменшити припуски на механічну обробку, знизити кількість браку та підвищити продуктивність процесу. Також вибір єдиної базової системи сприяє підвищенню точності обробки за рахунок усунення похибок, що виникають при багаторазовому встановленні деталі. В результаті використання цих баз у технологічному процесі виготовлення кронштейна забезпечує високу якість кінцевого виробу та відповідність всім заданим технічним вимогам.

2.3 Розрахунок жорсткості деталі

Кронштейни є досить поширеними елементами у машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві та інших технічних сферах. Вони слугують для кріплення та підтримки різноманітних вузлів і агрегатів, забезпечуючи просторову фіксацію та передачу навантажень. Залежно від призначення, кронштейни можуть виготовлятися з різних матеріалів (чавун, сталь, алюміній, полімери) та мати різноманітну геометричну форму — від простих прямокутних до складних просторових конструкцій з ребрами жорсткості. У даній курсовій роботі розглядається кронштейн з сірого чавуну, що має відносно просту форму з прямокутним поперечним перерізом. Такий тип кронштейна характерний для конструкцій, де від деталі не вимагається надвисока точність, однак необхідна достатня механічна міцність і стабільність під навантаженням.

З метою аналізу механічної поведінки деталі було вирішено виконати розрахунок жорсткості однієї зі сторін кронштейна, яка, відповідно до умов роботи, зазнає зовнішнього навантаження. Обрана сторона умовно розглядається як консольний елемент, що виступає з тіла кронштейна і навантажується на вільному кінці.

Враховуючи симетричність конструкції, інша сторона кронштейна має аналогічні геометричні та силові характеристики, тому розрахунок для однієї сторони дозволяє зробити обґрунтовані висновки для всієї деталі в цілому. Основна мета розрахунку — визначити фактичну жорсткість деталі при реальних навантаженнях та оцінити, наскільки обрана конструкція здатна протистояти деформаціям. Це особливо важливо у випадках, коли кронштейн служить опорою для точного інструмента або елементів, що не повинні зміщуватись під дією навантажень.

Для спрощення моделі приймаємо, що дана сторона кронштейна є консольною балкою прямокутного поперечного перерізу. Основні розміри та параметри:

- Довжина консолі: $l = 56 \text{ мм}$
- Ширина поперечного перерізу: $b=10 \text{ мм}$
- Висота поперечного перерізу: $h=10 \text{ мм}$
- Матеріал: сірий чавун, модуль пружності $E=100\,000 \text{ МПа}$
- Навантаження: $F=150 \text{ Н}$. $\delta_{\square} = \frac{F * L^3}{3 * E * I}$

Геометричні параметри та умови навантаження

$$\delta_{\square} = \frac{F * L^3}{3 * E * I} \quad (2)$$

де:

δ – прогин на вільному кінці (мм),

I – момент інерції поперечного перерізу відносно осі вигину:

$$I = \frac{b h^3}{12} \text{ (для прямокутного перерізу)}$$

Жорсткість елемента визначається як:

$$k = \frac{F}{\delta} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{10 * 10^3}{12} \approx 833 \quad (2.2)$$

$$\delta = \frac{150 * 56^3}{3 * 100000 * 833,3} = 0,105 \text{ мм}$$

Жорсткість:

$$k = \frac{150}{0,105} = 1428,6 \text{ Н/мм}$$

Отримане значення жорсткості становить 1428,6 Н/мм, що свідчить про здатність конструкції протистояти деформації при навантаженні. Це означає, що для викликання прогину в 1 мм необхідно прикласти силу приблизно 1428 Н (≈ 145 кг).

У порівнянні з іншими типами деталей та вузлів, така жорсткість є відносно низькою. Для високоточних конструкцій (інструментів, супортів, напрямних) типові значення жорсткості у десятки разів більші.

Таблиця 7. Порівняльна таблиця жорсткості різних конструкцій

Тип конструкції	Орієнтовна жорсткість (Н/мм)	
Прецизійний станковий вузол (напрямні, супорти)	10 000 – 100 000	Надвисока жорсткість
Сталевий масивний кронштейн	3 000 – 8 000	Конструктивна жорсткість
Ріжучий інструмент	>100 000	Супержорсткий, прогин мікрони
Кронштейн із сірого чавуну	1428,6	Відносно м'який елемент

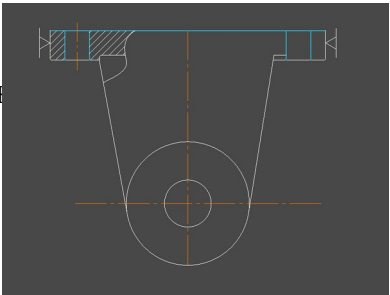
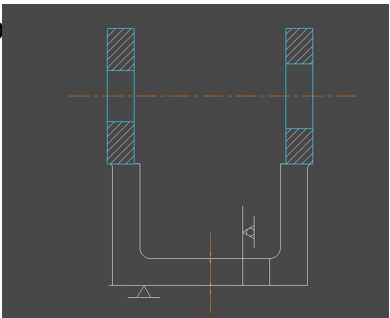
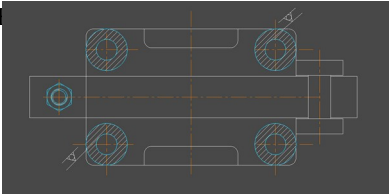
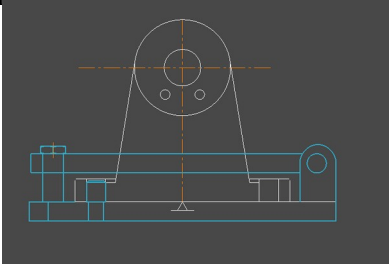
Технологічна частина

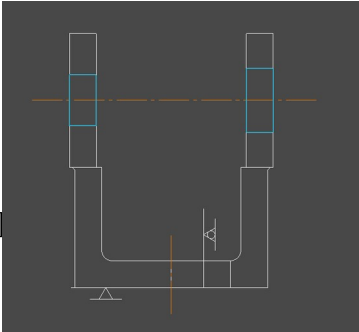
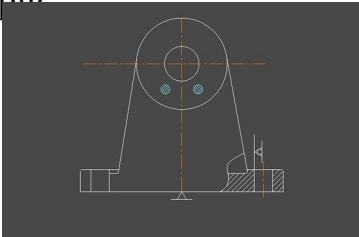
3.1 Проектування технологічного процесу

Проектування технологічного процесу виготовлення кронштейна є ключовим етапом у забезпеченні якості, точності та економічної ефективності виробництва. Грамотно спроектований технологічний процес дозволяє мінімізувати виробничі витрати, забезпечити оптимальну послідовність обробки та гарантувати відповідність деталі всім технічним вимогам.

Процес виготовлення кронштейна включає кілька основних стадій: підготовку заготовки, механічну обробку, контроль якості та фінальні операції. Основна мета проектування технологічного процесу – забезпечити стабільність розмірів, точність обробки та мінімізацію похибок при виконанні всіх операцій.

Таблиця 5 - Технологічний процес

Назва операції	Операційний ескіз	Обладнання, інструмент
1)Горизонтально-фрезерна операція - Фрезерування поверхні та свердління отворів - Розточування отвору D10 (мм)		Горизонтально-фрезерний обробний центр MAZAK HCN-5000; фреза торцева фрезерний різець „Свердло спіральне D10 Універсальні тиски зі спец губками
2)Горизонтально-фрезерна операція - Чорнове фрезерування зовнішніх поверхонь - Чистове фрезерування зовнішніх поверхонь - Фрезерування внутрішніх поверхонь	  	Горизонтально-фрезерний обробний центр MAZAK HCN-5000; фреза кінцева , базування пальцем та кріплення Координатно-вимірювальна машина Mitutoyo CRYSTA-Apex

1. фрезерування внутрішніх бобишок		S 776
3)Горизонтально фрезерний центр Обробка отворів 1. Зенкерування отворів D16 , D21 (мм) 2. Зенкерування отворів D18,D23 (мм) 3. Розгорткування отворів D19 , D24 (мм) Свердління та обробка отворів M5 1. Свердлимо 4.2 (мм) 2. Нарізка різьби M5 (мм)	 	Горизонтально-фрезерний обробний центр MAZAK HCN-5000 Спеціальна розточувальна борштанга Різець розточувальний, Свердла , зенкери базування пальцем Координатно- вимірювальна машина Mitutoyo CRYSTA-Apex S 776 різець розточувальний, Свердло спіральне Універсальні тиски зі спец губками та базування пальцем

Технологічний процес виготовлення кронштейна включає такі основні етапи:

1. **Отримання заготовки** – виготовлення заготовки методом по виплавляємим моделях. Це дозволяє отримати деталь, яка максимально

наближена за формою до кінцевого виробу, що зменшує обсяги механічної обробки.

2. **Остаточне фрезерування для формування базової поверхні** – первинне фрезерування опорних площин для формування базових поверхонь. На цьому етапі використовуються універсальні фрезерні верстати або верстати з ЧПК, що забезпечують достатню точність обробки.
3. **Свердління та розточування отворів** – виконання операцій свердління отворів відповідних діаметрів (D8, D10, D16, D22, D19, D24). Використовуються свердлильні верстати та обробні центри, що гарантують відповідність розмірів і точності розташування отворів згідно з кресленнями.
4. **Напівчистова обробка** – виконання додаткових операцій для досягнення необхідних параметрів точності та підготовка поверхонь до чистової обробки. На цьому етапі здійснюється обробка внутрішніх бобишок, додаткове фрезерування допоміжних поверхонь.
5. **Чистова механічна обробка** – остаточне фрезерування контактних поверхонь, доведення отворів до необхідних допусків, шліфування та контроль якості поверхонь. Використовуються високоточні обробні центри, що дозволяють досягти мінімальних значень шорсткості.
6. **Різьблення та фінальна обробка** – виконання операцій нарізання різьби в отворах, контрольні вимірювання та перевірка геометричних параметрів виробу.
7. **Контроль якості** – проводиться повна перевірка відповідності кронштейна всім технічним вимогам, зокрема контроль геометричних розмірів, якості обробки, відповідності посадкових місць та загальної точності обробки.

Розробка технологічного процесу також враховує заходи щодо мінімізації відходів та підвищення продуктивності виробництва. Використання сучасного

інструменту та оптимізація режимів різання дозволяють досягти максимальної ефективності обробки. Правильне проектування технологічного процесу гарантує стабільність якості, скорочення виробничого циклу та зниження собівартості виготовлення кронштейна.

1. Перша операція Фрезерування поверхні та свердління отворів

На першому етапі виконується фрезерування поверхні. Ця операція є важливою, оскільки вона визначає базову геометрію деталі. Оскільки потрібна точність 14 квалітету, немає необхідності в чорновій обробці – достатньо чистової фрезерної обробки, що дозволяє отримати необхідну якість поверхні та відповідність кресленням. Для цього використовується фрезерний верстат, оснащений відповідним інструментом, який забезпечує необхідну точність і якість обробки.

Після цього виконується розточування отвору D10 мм. Тут також необхідна точність 14 квалітету, тому чорнова обробка не потрібна – достатньо чистової обробки одним проходом. Ця операція дозволяє отримати необхідний діаметр отвору з мінімальними відхиленнями, що критично для подальшого складання виробу.

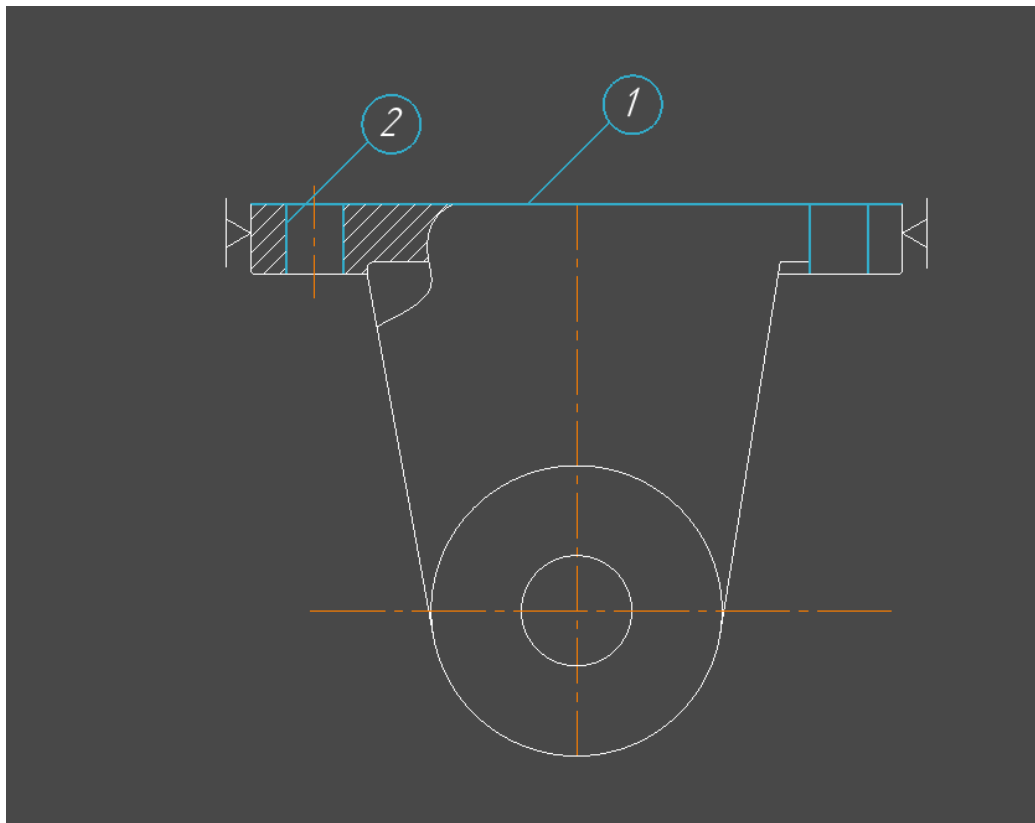


Рисунок 6 —Перша операція фрезерування нижньої частини та свердління отворів

2. Друга операція Фрезерні обробки та фрезерування бобишок

Цей етап складається з декількох операцій:

1. Чорнове фрезерування поверхонь 3 – спочатку проводиться чорнова обробка, оскільки потрібна точність 14 квалітету.(рис 10)
2. Чистове фрезерування поверхонь 3 – після чорнового фрезерування необхідно провести чистове фрезерування, оскільки для зовнішніх поверхонь потрібен 11 квалітет. (рис 10)
3. Фрезерування поверхонь 4 – одразу проводиться чистова обробка, оскільки точності 14 квалітету достатньо.(рис 11)
4. Фрезерування поверхонь 5 – також виконується лише чистова обробка, оскільки необхідна точність 14 квалітету, що досягається за один прохід. (рис 12)

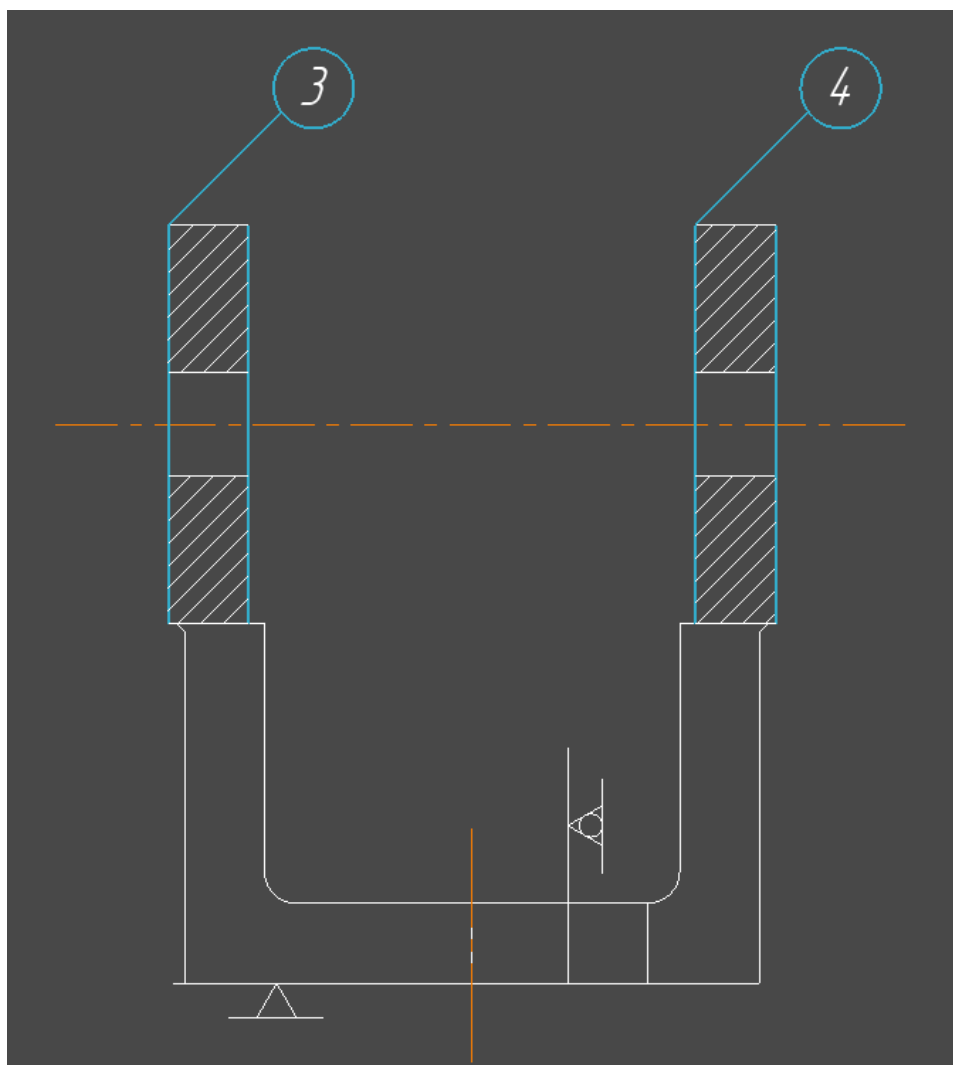


Рисунок 7 — Друга операція фрезерування зовнішніх та внутрішніх поверхонь

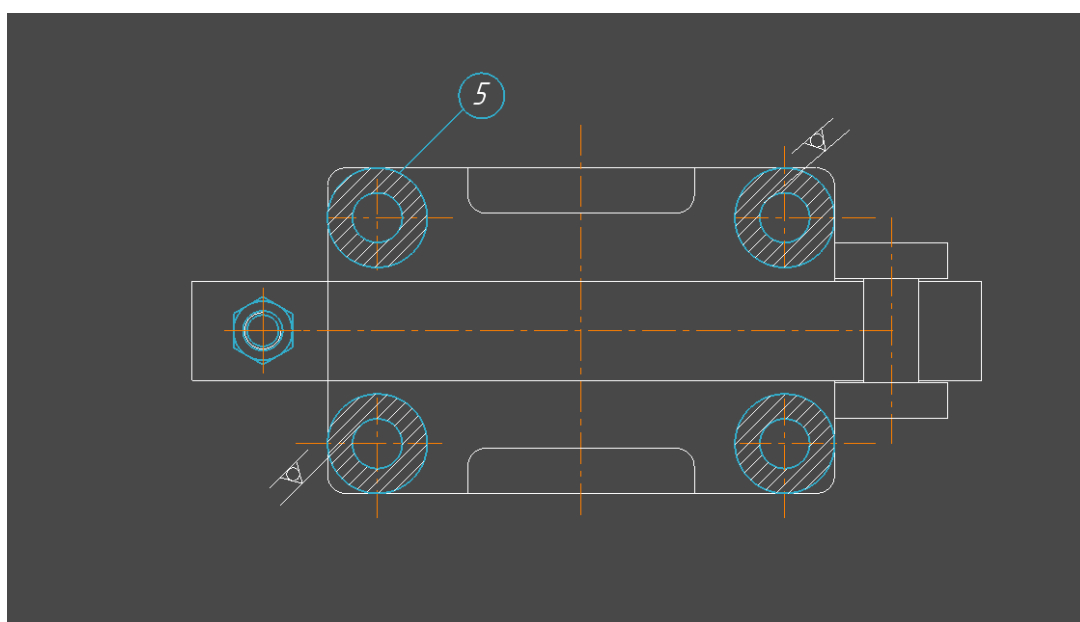


Рисунок 8 — Друга операція фрезерування бобишок

3. Обробка отворів D19,D24 та M5

Обробка отворів складається з кількох етапів:

1. Розточка поверхнь 6,7 D16,5 , D21 мм – потрібна точність 14 квалітету, тому спочатку виконується чорнова обробка.(рис 14)
2. Зенкерування поверхнь 6,7 D18, D23 мм – необхідна точність 9-11 квалітету, тому напівчистова обробка перед чистовою.(рис 14)
3. Обробка отворів 6,7 D19, D24 мм – для досягнення 7 квалітету потрібно чистове розточування.(рис 14)

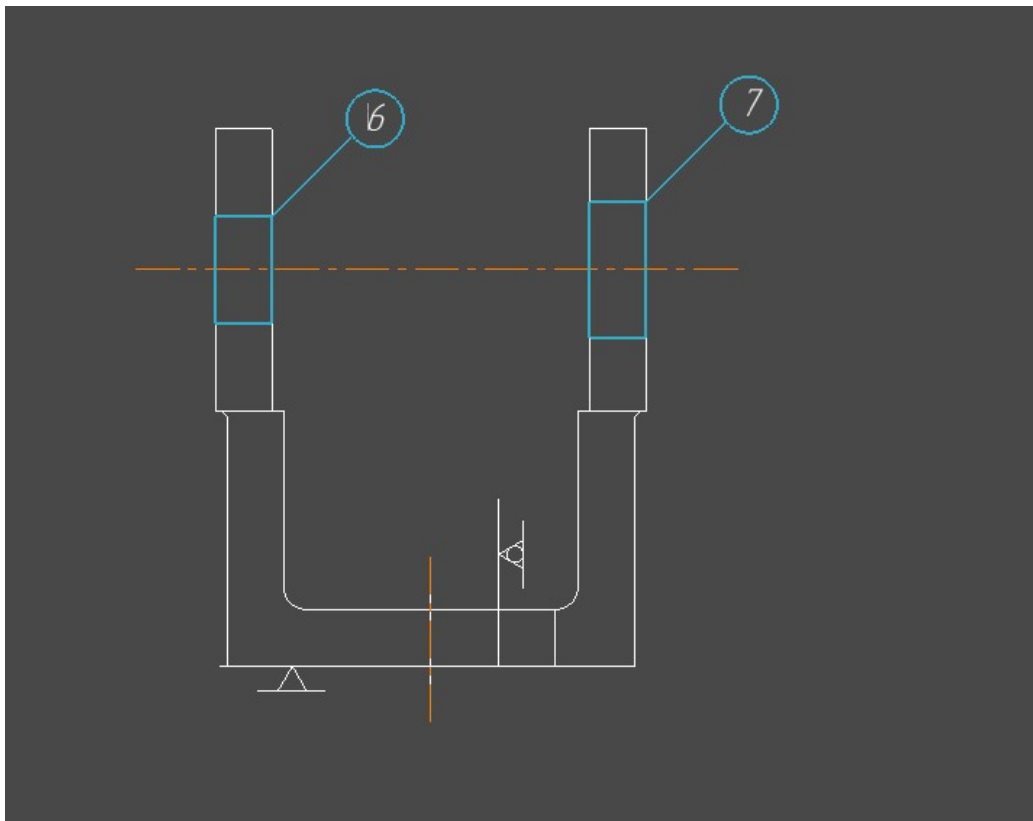


Рисунок 9 — Третя операція Обробка отворів D19, D24

Свердління та обробка отворів M5 – оскільки потрібен 14 квалітет достатньо однієї операції

Свердлимо витримуючи розміри D4.2 мм поверхня 8 – оскільки потрібен 14 квалітет, застосовується чистове фрезерування(рис 15)

Нарізка різьби M5 (мм)

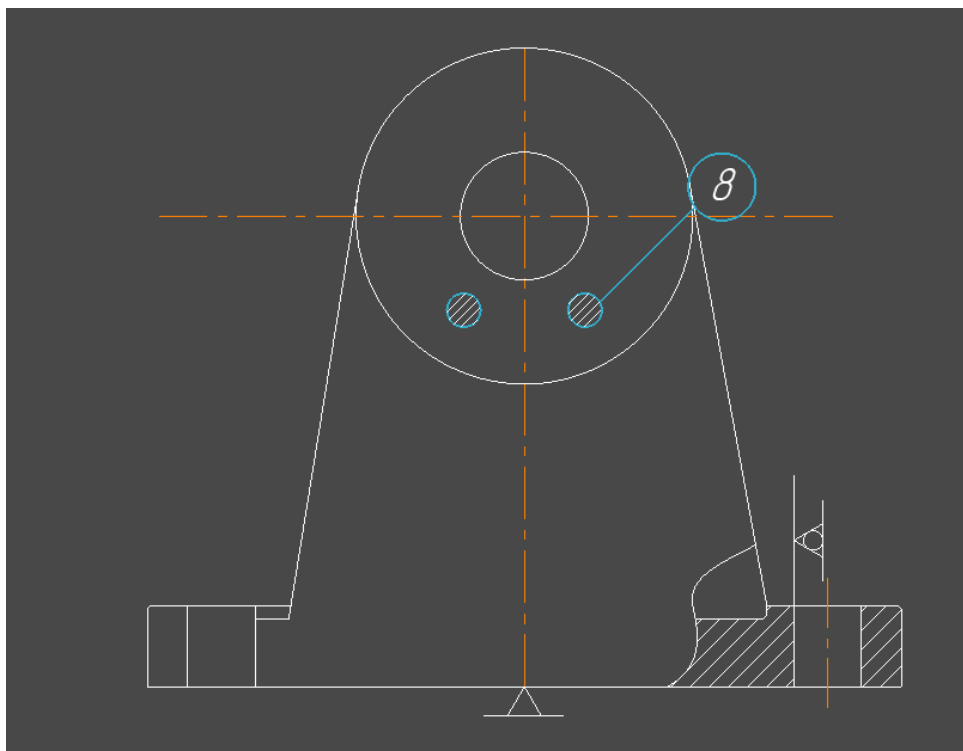


Рисунок 10 — Третя операція Обробка отворів М5

3.2 Вибір обладнання

Вибір обладнання для виготовлення кронштейна є критично важливим аспектом, оскільки правильний підбір верстатів та інструменту безпосередньо впливає на точність деталей, продуктивність виробництва, економічну ефективність та якість кінцевого виробу. Враховуючи складну геометрію кронштейна, необхідно забезпечити високу точність при обробці різних поверхонь, посадочних місць, отворів та пазів, а також мінімізувати припуски для подальшого доведення. Оскільки матеріалом для виготовлення деталі є (сірий чавун), вибір обладнання повинен враховувати особливості його механічної обробки. Сірий чавун має високу твердість і крихкість, що ускладнює різання та створює ризик утворення мікротріщин або відколів. Тому обробка цього матеріалу потребує стабільного ріжучого процесу, оптимальних режимів різання та високоякісного інструменту з твердосплавними пластинами або покриттями, що зменшують зношування та забезпечують плавність обробки.

Крім того, необхідно враховувати серійність виробництва. Якщо обробка виконується в умовах серійного або дрібносерійного виробництва, доцільним є використання числового програмного керування (ЧПК), що дозволяє автоматизувати процес та забезпечити високу повторюваність розмірів. Використання сучасного ЧПК-обладнання дає змогу знизити залежність від людського фактора, зменшити кількість браку та скоротити час на переналагодження виробничої лінії при зміні партій деталей. Ще одним важливим аспектом є якість поверхонь після обробки. Оскільки кронштейн може піддаватися значним навантаженням, необхідно забезпечити не лише точні розміри, а й мінімальну шорсткість оброблених площин, що дозволяє зменшити зношування та підвищити експлуатаційні характеристики деталі. Для цього використовуються високошвидкісні верстати з жорсткими направляючими, які забезпечують стабільність процесу навіть при значних навантаженнях. З урахуванням вищезазначених факторів, для виготовлення кронштейна обрано комплекс високоточного обладнання, яке дозволяє досягти необхідних параметрів обробки та забезпечити відповідність всім технічним вимогам. (Давиденко І.В. *Технологічна підготовка машинобудівного виробництва*. — обґрунтування вибору верстатів відповідно до серійності та точності.)

Для реалізації технологічного процесу використовуються такі основні типи обладнання:

1. Фрезерні верстати з ЧПК (числовим програмним керуванням) – забезпечують високу точність обробки, можливість автоматизованого керування процесом та мінімізацію людського фактора. Основні операції, що виконуються:
 - Чорнова і чистова обробка поверхонь.
 - Фрезерування базових площин та ребер жорсткості.
 - Створення посадочних місць та пазів.
 - Формування допоміжних поверхонь для подальших операцій.

- Вертикально-фрезерний обробний центр HAAS VF-6/50 (високоточний верстат для середніх і великих деталей). Високоточний верстат для середніх і великих деталей. Оснащений жорсткою конструкцією, яка знижує вібрації під час обробки, що особливо важливо при роботі з чавуном. Має потужний шпиндель, який забезпечує ефективне різання твердих матеріалів та дозволяє виконувати широкий спектр операцій.



Рисунок 11 — Вертикально-фрезерний обробний центр HAAS VF-6/50

- Горизонтально-фрезерний обробний центр MAZAK HCN-5000 (підходить для обробки корпусних деталей із високою продуктивністю). Завдяки горизонтальному компонуванню забезпечується ефективне видалення стружки, що покращує охолодження ріжучого інструменту та подовжує його термін служби. Верстат має автоматичну зміну інструменту, що зменшує час переналаштування та підвищує ефективність виробництва.



Рисунок 12 - Горизонтально-фрезерний обробний центр MAZAK HCN-5000

2. Контрольно-вимірювальне обладнання – необхідне для перевірки точності виготовлення кронштейна, відповідності кресленням та забезпечення якості продукції.

Обране обладнання:

- Координатно-вимірювальна машина Mitutoyo CRYSTA-Apex S 776 – дозволяє контролювати всі геометричні параметри деталі. Вона забезпечує високу точність вимірювань завдяки використанню сучасних датчиків та програмного забезпечення. Автоматизовані функції дозволяють швидко проводити контроль якості без необхідності ручного втручання оператора.



Рисунок 13 - Координатно-вимірювальна машина **Mitutoyo**
CRYSTA-Apex S 776

- Лазерний сканер **Hexagon Absolute Arm 8525** – використовується для безконтактного вимірювання складних поверхонь. Це обладнання дозволяє отримати детальну цифрову модель деталі, що спрощує контроль точності та аналіз відхилень від креслення. Завдяки портативності його можна використовувати безпосередньо на виробничій ділянці для швидкого контролю якості.



Рисунок 14 - Лазерні сканери **Hexagon Absolute Arm 8525**

Вибір цього обладнання забезпечує високу якість виготовлення кронштейна, оптимізацію виробничого процесу та зменшення рівня браку. Завдяки використанню ЧПК-обладнання досягається мінімізація впливу людського фактора, що сприяє підвищенню стабільності виробничого циклу та зниженню ймовірності помилок, пов'язаних із людським фактором. Автоматизоване управління верстатами дозволяє значно зменшити час налаштування та переналагодження, що є критичним фактором для серійного виробництва.

Крім того, сучасні верстати з ЧПК мають широкий набір функцій контролю процесу обробки, включаючи моніторинг зносу інструменту, автоматичне коригування параметрів різання та адаптивне управління подачею. Це забезпечує стабільну якість продукції навіть при довготривалому виробничому циклі. Також використання високоточних вимірювальних пристроїв, таких як координатно-вимірювальна машина та лазерний сканер, дозволяє своєчасно виявляти відхилення від заданих параметрів і коригувати технологічний процес ще на етапі виробництва, що значно скорочує кількість браку та підвищує загальну ефективність виробництва.

Застосування автоматизованих вимірювальних комплексів дає змогу здійснювати контроль не лише кінцевих виробів, а й проміжних операцій, що допомагає уникнути накопичення дефектів та знижує втрати матеріалу. Додатково варто зазначити, що використання ЧПК-обладнання дозволяє інтегрувати процеси обробки з цифровими системами управління виробництвом, що сприяє покращенню логістики, контролю витрат та оперативному плануванню робочих процесів.

Технологічний процес я розробив з урахуванням особливостей виготовлення кронштейна, включаючи його складну геометрію, матеріал (сірий чавун) та серійність випуску. Використання сучасного високоточного обладнання забезпечує стабільно високу якість обробки, відповідність всім вимогам до точності, міцності та шорсткості поверхонь.

Завдяки інтеграції ЧПК-обладнання та автоматизованих вимірювальних систем досягається висока повторюваність розмірів, що є особливо важливим для масового та серійного виробництва. Крім того, впровадження цифрового контролю дозволяє значно підвищити продуктивність праці, зменшити витрати на додаткові перевірки та мінімізувати ризики виготовлення бракованої продукції.

Загалом, обрана технологія виготовлення кронштейна є оптимальною з точки зору економічної доцільності, якості кінцевого виробу та ефективності виробничого процесу. Використання сучасного обладнання та цифрових технологій забезпечує конкурентоспроможність продукції та відповідність сучасним стандартам машинобудування.

3.3 Розрахунок припусків та режимів різання

1. Обробка внутрішньої поверхні 19H7

Внутрішня обробка отвору 19H7 потребує високої точності, оскільки він є важливим елементом конструкції. Для досягнення 7-го квалітету була розроблена поетапна схема обробки, що включає три основні технологічні переходи. Кожен етап спрямований на поступове зменшення припуску та покращення якості поверхні.

Обробка починається зі свердління, яке забезпечує попереднє формування отвору в заготовці. Далі виконується зенкерування, що дозволяє усунути значну частину залишкового матеріалу та підготувати отвір до наступного переходу. Завершальним етапом є розточування, яке забезпечує точність розмірів та необхідну чистоту поверхні.

Внутрішня поверхня 19H7

1	2	3	4	5	6	7	8
	Припуск	Розмір	Допуск (мкм)			min	max
заготовка		13	1800	13	14,8		
свердління	4	17	430	17	17,43	2,63	4
Зенкерування	1,2	18,2	84	18,2	18,284	0,854	1,2
розточування	0,8	19	21	19	19,021	0,737	0,8

Для визначення необхідних параметрів кожен етап обробки ретельно аналізувався, щоб забезпечити рівномірне зняття припуску та відповідність заданим допускам. Значення припусків 4 мм, 1,2 мм та 0,8 мм були обрані на основі розрахункової формули: (Косилова Т.А. *Режими різання при обробці металів.*)

$$Z = 6 - (1,2 + 0,8) = 4 \text{ мм}$$

Допуски в 4-му стовпці (1800, 430, 84, 21 мкм) були визначені згідно з відповідною таблицею допусків для цього розміру та квалітету. Вони

розраховуються виходячи з необхідної точності обробки, виду матеріалу, а також типу технологічного процесу. Дані значення дозволяють визначити межі можливих відхилень у розмірах деталей, що забезпечує їх відповідність заданим параметрам.

2. Фрезерування зовнішньої поверхні 76 мм

Обробка зовнішньої поверхні є важливим етапом, оскільки вона забезпечує необхідну геометрію та відповідність розмірам. Вихідний розмір заготовки складав 82 мм, що вимагало проведення двох етапів обробки для отримання остаточного розміру 76 мм.

Перший етап – чорнове фрезерування, при якому знімається основний припуск і формується базова геометрія. Далі проводиться остаточне зенкерування, що дозволяє досягти 12-го квалітету та забезпечити необхідну якість поверхні.

3 поверхня зовнішнє фрезерування

1	2	3	4	5	6	7	8
	Припуск	Розмір	Допуск (мкм)			min	max
заготовка		82	3500	83,5	79,5	(min)	(max)
чорнове фрезерування	4	78	740	78,74	77,26	2,24	4,76
Чистове фрезерування	2	76	30	76,03	75,97	1,29	2,71

Значення припусків 4 мм та 2 мм були розраховані за допомогою формули:

$$Z = 3 - 1 = 2 \text{ мм}$$

Для зручності в таблиці призначимо припуск на 2 сторони.

Допуски, зазначені в таблиці (740, 30 мкм), були взяті з відповідних нормативних таблиць для досягнення необхідного рівня точності. Вони враховують можливі відхилення, які допускаються для кожного етапу обробки, і забезпечують відповідність отриманих розмірів вимогам технічної документації. Вибір цих значень дозволяє забезпечити якість готової деталі без необхідності додаткової механічної обробки.

Висновок розрахунку припусків

Розрахунки припусків та вибір технологічних переходів підтверджують ефективність розробленої стратегії обробки. Триетапна схема дозволила досягти необхідної точності отвору 19H7, а двоетапне фрезерування забезпечило точність зовнішньої поверхні 76 мм відповідно до 12-го квалітету. Завдяки правильному підходу до визначення технологічних параметрів було досягнуто якісної обробки при мінімальних затратах ресурсів.

(Расчет_припусков_84330a78_c968_4a3b_b7af_93d8c15e2690)

Розрахунок режимів різання

Для досягнення високої продуктивності та стабільної якості під час виготовлення деталі "Кронштейн" необхідно не лише грамотно спроектувати маршрут обробки, а й підібрати оптимальні режими різання. Розрахунок режимів виконується з урахуванням типу операції, властивостей матеріалу, типу інструменту, потужності обладнання та вимог до точності й шорсткості поверхонь. Режими різання відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної та якісної механічної обробки деталей. Вони визначають параметри процесу різання, такі як швидкість різання, подача, глибина різання та стійкість інструменту. Правильний підбір режимів дозволяє:

- Зменшити знос інструменту та продовжити його ресурс роботи.
- Підвищити якість обробленої поверхні.
- Оптимізувати продуктивність процесу.
- Знизити витрати на виготовлення деталей.

Крім того, коректно підібрані режими різання дозволяють зменшити теплове навантаження на оброблювану зону, що особливо важливо для чавунних

деталей, де можуть виникати мікротріщини через різкі температурні перепади. Це також сприяє збереженню геометричної точності отворів і площин при серійному виробництві.

У цьому розрахунку розглядаються режими різання для двох видів обробки:

1. Розточування – процес, що застосовується для збільшення внутрішніх отворів у деталях, покращення точності форми та розмірів.
2. Фрезерування чорнове (обробка третьої поверхні) – процес, при якому видаляється значна кількість матеріалу з поверхні для створення необхідної геометрії.

Формула для розрахунку швидкості різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v = \frac{292}{90^{0,2} * 0,4^{0,15} * 0,13^{0,2}} * 0,935 = 191 \text{ м/хв} \quad (3)$$

Значення 191 м/хв є оптимальним для чорнкової обробки отворів у сірому чавуні при забезпеченні достатньої швидкості знімання матеріалу та збереженні ресурсу ріжучого інструменту. У випадку переходу до напівчистої або чистої обробки швидкість може бути скоригована в сторону зменшення для досягнення кращої якості поверхні.

C_v 292 – значення швидкості, отримане з довідкових матеріалів. (табл 17) Швидкість різання є важливим параметром, оскільки вона безпосередньо впливає на ефективність процесу та якість обробленої поверхні. Завищена швидкість може призвести до передчасного зношування інструменту, а занадто низька – до зниження продуктивності.

$$T = 60 - 90(90)$$

Це діапазон часу стійкості інструменту, який визначається експериментально або згідно з таблицею. Час стійкості показує, скільки часу ріжучий інструмент може ефективно працювати без необхідності його заміни чи переточування. Чим більший цей показник, тим рідше потрібно зупиняти процес обробки для обслуговування інструменту.

Вибір коефіцієнтів:

Для проведення розрахунків були використані такі значення:

- $x = 0,15$, $y = 0,20$ $m = 0,20$ – дані значення були отримані з таблиці 17, яка містить відповідні коефіцієнти для різних матеріалів і режимів обробки.(Kosilova_P2_1986_496 табл 17)
- $s = 0,13$ – значення подачі, обране відповідно до технологічних вимог.
- $n_v = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує вплив режимів різання на зносостійкість інструменту.

Коефіцієнти корекції K_v :

Для точного визначення параметрів процесу враховуються різні коефіцієнти, що коригують швидкість різання залежно від характеристик матеріалу, обробки та інших умов. Формула для визначення комплексного коефіцієнта K_v :

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv}$$

де:

- $K_{mp} = \left(\frac{190}{200}\right)^{1.3} = 0,935$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу (HB = 200). Від нього залежить, наскільки агресивно інструмент буде взаємодіяти з матеріалом.(Kosilova_P2_1986_496 табл 1)
- $K_{nv} = 1$ – поправочний коефіцієнт, що враховує специфіку процесу різання.(Kosilova_P2_1986_496 табл 5.)
- $K_{uv} = 1$ – допоміжний коефіцієнт, що залежить від умов обробки, наприклад, охолодження, типу мастильно-охолоджувальної рідини тощо. (Kosilova_P2_1986_496 табл 6)

Підставивши значення, отримуємо:

$$K_v = 0,935 * 1 * 1 = 0,935 \quad (4)$$

Отриманий коефіцієнт дозволяє внести коригування в розрахунки швидкості різання, що дозволяє оптимізувати процес та запобігти передчасному зносу інструменту.

Розрахунок для розточування

Розточування — операція металообробки, яка полягає у збільшенні діаметра вже існуючих отворів. Розточування виконують шляхом розсвердлюванням (при діаметрах отворів до 80 мм)

Таким чином, виконані розрахунки дозволяють підібрати оптимальні режими

обробки, які забезпечують баланс між продуктивністю, точністю та зносостійкістю інструменту. Застосування цих режимів у технологічному процесі виготовлення деталі «Кронштейн» дозволяє мінімізувати втрати часу, підвищити якість продукції та знизити виробничі витрати.

Для розточування фрезою вибрані параметри:

- $t = 0,4$ Глибина різання мм. Глибина різання визначає товщину шару, що знімається за один прохід, і впливає на навантаження на інструмент.
- $T = 90$ Швидкість різання, що визначає інтенсивність взаємодії ріжучого інструменту з матеріалом.

Інші коефіцієнти залишаються аналогічними до розрахунку для розточування. Розрахунок режимів різання є невід’ємною складовою частиною технологічної підготовки виробництва, особливо при виготовленні складних деталей типу «Кронштейн». Від правильного визначення параметрів різання — швидкості, подачі, глибини та стійкості інструменту — безпосередньо залежить якість готової продукції, довговічність обладнання та економічна ефективність процесу в цілому.

У даному розділі були виконані обґрунтовані розрахунки для основних видів обробки, таких як розточування та чорнове фрезерування, що відіграють ключову роль у формуванні посадкових поверхонь і отворів. Показано, як врахування матеріалу (сірого чавуну СЧ15), типу обробки та умов експлуатації інструменту дозволяє визначити оптимальні значення швидкості різання, а також корекційні коефіцієнти, що враховують твердість матеріалу, процес обробки та умови охолодження.

Завдяки використанню емпіричних даних та довідкових таблиць вдалося отримати достовірні результати, які можна застосовувати при безпосередньому виконанні операцій на виробництві. Зокрема, встановлено, що для розточування отворів із заданою точністю оптимальна швидкість різання становить близько 191 м/хв, що дозволяє зберегти ріжучу здатність інструменту впродовж робочого циклу, не знижуючи якості обробленої поверхні.

Крім технічних параметрів, було враховано також експлуатаційні аспекти: вплив режимів на знос інструменту, частоту його заміни, теплове навантаження на оброблювану зону та можливість деформацій. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити точність і чистоту обробки, а й уникнути відбракованих деталей, непланових простоїв обладнання та зайвих витрат на інструментальне забезпечення.

Таким чином, обґрунтований підбір режимів різання забезпечує надійну основу для впровадження ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Кронштейн». Проведені розрахунки доводять, що навіть незначні зміни параметрів обробки можуть суттєво вплинути на результат — як у плані точності, так і в контексті ресурсу інструменту та економічних витрат. Завдяки системному підходу, який поєднує емпіричні дані, довідкову інформацію та виробничу практику, вдалося сформувати набір режимів, що відповідає сучасним вимогам машинобудування. Усе це сприяє підвищенню стабільності процесу, зменшенню браку і забезпеченню високої якості серійної продукції.

Розрахунок частоти обертання за швидкістю різання

При обробці матеріалів на верстатах дуже важливим параметром є швидкість різання v , яка визначає, наскільки швидко ріжучий інструмент або заготовка переміщуються відносно одна одної. Однак верстати зазвичай налаштовують не за швидкістю різання, а за частотою обертання (n), тобто кількістю обертів шпинделя за хвилину.

Щоб розрахувати частоту обертання, використовується наступна формула:

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * d} \quad (5)$$

де:

1. n — частота обертання, об/хв (оборотів за хвилину);
2. v — швидкість різання, м/хв (метрів за хвилину);
3. d — діаметр ріжучого інструмента або заготовки, мм;
4. $\pi \approx 3.1416$ — математична константа.

Тепер підставимо значення у формулу:

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * d} = \frac{1000 * 191}{3,14 * 24} = 2534 \text{ об/хв}$$

При швидкості різання 191 м/хв та діаметрі 24 мм частота обертання шпинделя повинна становити приблизно 2534 об/хв.

Цей розрахунок допомагає правильно налаштувати верстат для ефективного та безпечного різання, уникаючи надмірного зношування інструмента та забезпечуючи якісну обробку.

Розрахунок сили різання

При виконанні механічної обробки одним із найважливіших параметрів є сила різання. Вона визначає навантаження на ріжучий інструмент, впливає на його довговічність, точність обробки, а також продуктивність усього процесу. Від сили різання залежить не тільки знос інструмента, а й стабільність обробки: надмірні навантаження можуть призводити до вібрацій, зміщення заготовки або втрати точності.

Щоб правильно розрахувати силу різання, необхідно підібрати відповідні дані з таблиць, які враховують фізико-механічні властивості матеріалу, геометрію ріжучого інструмента та режими обробки.

Для початку визначаємо твердість оброблюваного матеріалу – у нашому випадку вона становить HRC = 20. Це значення є ключовим, оскільки від нього залежить опірність матеріалу до деформації та навантаження на ріжучий інструмент.

Далі підбираємо значення для сил різання з таблиці 22:

- Тангенціальна складова сили різання (P_z)

$$C_p = 92$$

$$x = 1$$

$$y = 0,75$$

$$n = 0$$

- Радіальна складова сили різання (P_y)

$$C_p = 54$$

$$x = 0,9$$

$$y=0,75$$

$$n=0$$

- Осьова складова сили різання (P_x)

$$C_p=46$$

$$x=1$$

$$y=0,4$$

$$n=0$$

Після цього визначаємо швидкість різання – вона дорівнює $v = 65$ м/хв (за таблицею 20).

Для точного розрахунку потрібно також знати глибину різання, яка складає $t = 0,4$ мм (таблиця 9), та подачу, яка дорівнює $s = 0,13$ мм/об.

Геометричні параметри інструмента беремо з таблиці 23:

- Кут у плані, $K_{\phi p} = 45$ градусів $P_z=1, P_y=1, P_x=1$
- Передній кут, $K_{\gamma p}$ $\gamma=0$ градусів $P_z=1,1, P_y=1,4, P_x=1,4$
- Кут нахилу, $K_{\lambda p}$ $\lambda=0$ кут $P_z=1, P_y=1, P_x=1$
- Радіус при вершині K_{rp} $r=1$ $P_z=1, P_y=1, P_x=1$

Отже, після підбору всіх необхідних значень можна переходити до розрахунків.

Розрахунок сили різання для 19Н7

1. Розрахунок тангенціальної складової сили різання (P_z)

Тангенціальна складова є основною силою різання, яка впливає на витрати енергії та визначає навантаження на шпиндель верстата.

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \quad (6)$$

$$K_p = K_{mp} K_{\phi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} = 1,0285$$

$$K_{mp} = \left(\frac{190}{200} \right)^{1.3} = 0,935 \text{ (Табл 9)}$$

$$K_{\phi p} = 1$$

$$K_{\gamma p} = 1,1$$

$$K_{\lambda p} = 1$$

$$K_{rp} = 1$$

$$P_z = 10 * 92 * 0,4^1 * 0,13^{0,75} * 1 * 1,0285 = 82$$

2. Розрахунок радіальної складової сили різання (P_y)

Радіальна складова відповідає за бічне навантаження на інструмент та може впливати на жорсткість системи.

$$P_y = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

$$K_p = K_{mp} K_{\phi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} = 1,309$$

$$K_{mp} = \left(\frac{190}{200} \right)^{1.3} = 0,935 \text{ (Табл 9)}$$

$$K_{\phi p} = 1$$

$$K_{\gamma p} = 1,4$$

$$K_{\lambda p} = 1$$

$$K_{rp} = 1$$

$$P_y = 10 * 54 * 0,4^{0,9} * 0,13^{0,75} * 1 * 1,309 = 67$$

3. Розрахунок осьової складової сили різання (P_x)

Осьова складова визначає навантаження на вісь обертання та впливає на стабільність інструмента під час роботи.

$$P_x = 10 C_p t^x s^y v^n K_p$$

$$K_p = K_{mp} K_{\phi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} = 1,309$$

$$K_{mp} = \left(\frac{190}{200} \right)^{1.3} = 0,935 \text{ (Табл 9)}$$

$$K_{\phi p} = 1$$

$$K_{\gamma p} = 1,4$$

$$K_{\lambda p} = 1$$

$$K_{rp} = 1$$

$$P_x = 10 * 46 * 0,4^1 * 0,13^{0,4} * 1 * 1,309 = 106$$

Оскільки в нашому випадку виконується розточування двох отворів – 19Н7 та 24Н7, сила різання для них буде ідентичною. Це пояснюється тим, що обидва отвори обробляються одним і тим же інструментом – борштангою, яка забезпечує стабільні умови різання. Враховуючи однакові режими обробки та

схожі геометричні параметри інструмента, сили P_x , P_y та P_z для цих отворів залишаються без змін.

Таким чином, розрахунок сили різання для отвору 19H7 автоматично підходить і для отвору 24H7, що дозволяє уникнути повторних розрахунків і спростити процес проектування. Це є важливою перевагою при серійному виробництві, оскільки забезпечує стабільність технологічного процесу та передбачувані результати обробки.

3. Розрахунок інструмента

Під час обробки отворів на кронштейні важливо забезпечити жорсткість ріжучого інструмента, щоб уникнути відхилень від розмірів і знизити похибку обробки. Одним із ключових параметрів є максимальний прогин інструмента, який виникає під дією прикладеного навантаження. Нижче наведено розрахунок прогину інструмента, який моделюється як консольна балка з рівномірно розподіленим навантаженням.

$$k = \frac{F}{\delta}$$

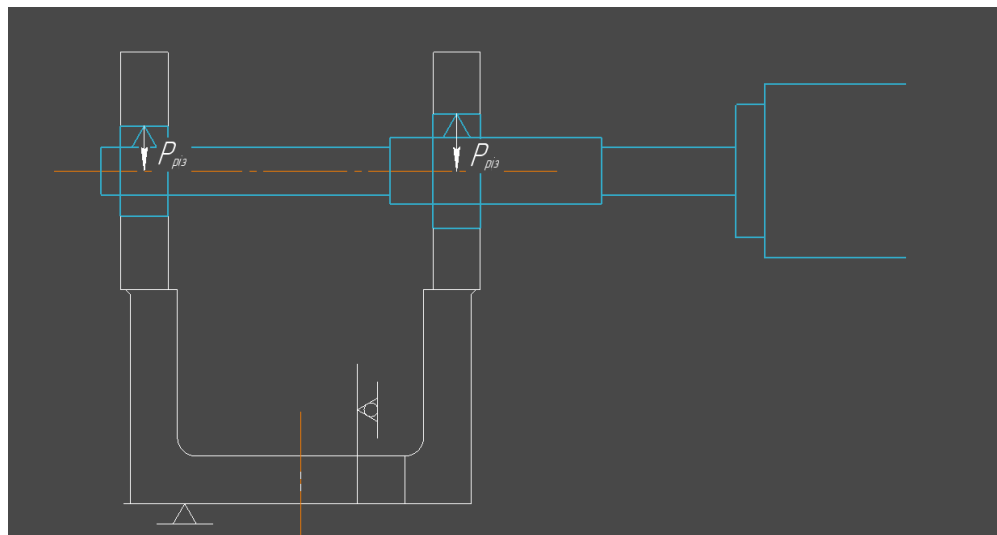


Рисунок 15 — Діючі сили в процесі різання.

де F – прикладена сила, δ – прогин. $\delta_{max} = \frac{F L^3}{3 EI}$

1. Прогин (Максимальний прогин при різних видах навантаження)

$$\delta_{max} = \frac{FL^3}{3EI} \quad (7)$$

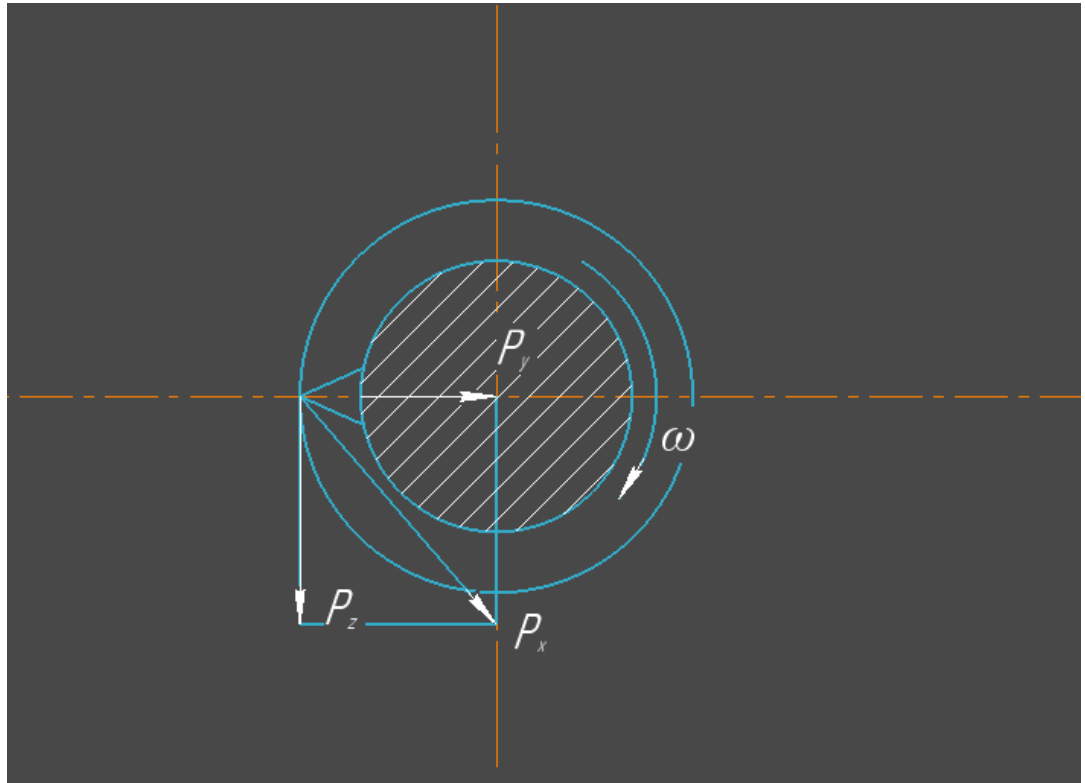


Рисунок 16 — Розрахункова схема при розточуванні отворів.

2. Момент інерції перерізу

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \text{ (для круглого перерізу)}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \text{ (для прямокутного перерізу)}$$

q – рівномірно розподілене навантаження (Н/м), тобто сила, яка діє на одиницю довжини балки.

$$q = \frac{F}{L}$$

де F – загальна сила (Н), а L – довжина.

Сумарна сила різання:

$$P_{риз} = \sqrt{\dots} \quad (8)$$

Сила обчислена як рівнодійна зусиль у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Довжина інструмента (виступаюча частина):

$$L = 56 + 40 = 96 \text{ мм}$$

E – модуль пружності (Юнга), визначає жорсткість матеріалу при розтягуванні/стисканні..

Для сталі 45 модуль пружності (Юнга) приблизно:

$$E \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ Па} (93 \text{ Па})$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 15^4}{64} = 2483 \text{ мм}^4$$

$$\delta_{\max} = \frac{P_{\text{різ}} L^3}{3 E I} = \frac{106 \cdot 96^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 2483} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Прогин ріжучого інструмента становить лише 0,06 мікрометра, що набагато менше допуску на розмір отвору (21 мкм). Отже, інструмент забезпечує достатню жорсткість і точність обробки отворів на кронштейні.

3.4 Обґрунтування вибору інструментів і пристроїв

3.4.1 Огляд розточних інструментів

Розточні інструменти використовуються для обробки циліндричних і конічних отворів у деталях з різних матеріалів. Вони застосовуються як у металообробці, так і в деревообробці, але основною їхньою сферою залишається машинобудування. Розточні інструменти дозволяють досягати високої точності розмірів і якості обробленої поверхні.



Рисунок 17 — Розточний інструмент

Класифікація розточних інструментів

Розточні інструменти можна класифікувати за такими критеріями:

1. За способом застосування:

- Ручні – використовуються в слюсарній обробці (розгортки, ручні розточні оправки);
- Машинні – застосовуються на верстатах (розточні різці, борштанги, розточні головки);



Рисунок 18 — Розточувальні різці для розточувальної голівки

- Спеціальні – призначені для певних операцій, наприклад, для обробки декількох отворів за один прохід.

2. За конструкцією:

- Розточні різці – одиночні різці, встановлювані в оправки;
- Борштанги – подовжені оправки з одним або декількома ріжучими елементами;
- Розточні головки – інструмент із регульованими ріжучими пластинами для точного контролю діаметра отвору.

3. За призначенням:

- Чорнові – призначені для попередньої обробки отворів;
- Чистові – забезпечують точність і гладкість поверхні;
- Прецизійні – застосовуються для особливо точної обробки, наприклад, при виготовленні посадочних отворів під підшипники.

Конструкція розточних інструментів

Розточні інструменти складаються з таких елементів:

- Ріжуча частина – відповідає за зняття матеріалу;
- Державка – елемент кріплення інструмента у верстаті;
- Оправка – служить для встановлення ріжучого елемента на потрібну глибину;
- Регулюючий механізм (у деяких моделях) – дозволяє змінювати діаметр обробки.

Таблиця 8. Переваги та недоліки різних видів розточних інструментів

Тип інструменту	Переваги	Недоліки
Розточні різці	Простота, доступність, висока точність	Обмежені можливості щодо регулювання
Борштанги	Можливість обробки глибоких отворів, висока жорсткість	Потребують точної настройки
Розточні головки	Гнучкість, можливість налаштування діаметра	Висока вартість, складність в експлуатації

Застосування розточних інструментів

Розточні інструменти широко застосовуються в:

- Авіаційній промисловості – обробка посадочних місць для підшипників;
- Автомобілебудуванні – виготовлення блоків циліндрів, гільз двигунів;
- Енергетиці – обробка деталей турбін і генераторів;
- Загальному машинобудуванні – розточка корпусів редукторів, картерів та інших деталей.

3.4.2 Розточні оправки

Розточна оправка – це спеціальний інструментальний елемент, який використовується для закріплення розточних різців, борштанг або розточних головок у верстаті. Вона забезпечує точність обробки отворів, стабільність ріжучого інструменту та мінімізує вібрації під час роботи.



Рисунок 19. — Розточна оправка

Оправка виконує роль з'єднувального елемента між шпинделем верстата і ріжучим інструментом, що дозволяє здійснювати точну обробку внутрішніх поверхонь деталей. Від її якості залежить рівень допусків, гладкість поверхні та загальна продуктивність обробки.

Класифікація розточних оправок

Розточні оправки класифікуються за кількома критеріями:

1. За конструкцією:
 - Жорсткі оправки – суцільні, без можливості регулювання, забезпечують максимальну жорсткість;



Рисунок 20 — Жорстка розточна оправка

- Телескопічні оправки – дозволяють змінювати довжину в межах конструктивних можливостей;
- Оправки з регулюванням діаметра – дають можливість точно налаштовувати положення ріжучого елемента.



Рисунок 21 — Головка розточувальна (чистова) з мікрометричним регулюванням

2. За типом кріплення у шпинделі верстата:

- Конусні (Morse, HSK, ISO, BT та ін.) – забезпечують високу точність позиціонування;



Рисунок 22 — Інструментальний конус ISO



Рисунок 23 — Конус BT

- Циліндричні оправки – використовуються у верстатах із циліндричним отвором під кріплення;
- Оправки з механічним затискним механізмом – швидкозмінні варіанти для високопродуктивного виробництва.

3. За способом кріплення ріжучого інструменту:

- Гвинтове з'єднання – забезпечує жорстку фіксацію різця;
- Клинове кріплення – дозволяє швидко змінювати ріжучий інструмент;
- Гідравлічні та пневматичні оправки – використовуються у високоточних операціях.

Конструкція розточної оправки

Основні елементи розточної оправки:

- Тіло оправки – забезпечує жорсткість конструкції та утримання ріжучого інструменту;
- Конус або циліндрична частина – елемент для фіксації у шпинделі верстата;
- Фіксуєчий механізм – гвинтовий, клиновий або гідравлічний затискач;
- Регулюєчий механізм (у деяких моделях) – дозволяє змінювати положення різального інструменту;
- Балансувальний механізм (у високоточних оправках) – зменшує вібрації та покращує якість обробки.

Переваги використання розточних оправок

- Висока точність та повторюваність розмірів;
- Зниження вібрацій, що підвищує якість обробки;
- Можливість використання різних ріжучих інструментів;
- Зручність у заміні різців та налаштуванні діаметра обробки.

3.4.3 Обрана розточна оправка

Для забезпечення високої точності обробки отворів різних діаметрів у деталі типу «Кронштейн» було прийнято рішення використати спеціалізовану

розточну оправку, що дозволяє обробляти два отвори за один прохід інструмента. Такий підхід значно підвищує точність взаємного розташування отворів, зменшує похибки співвісності та знижує час на переналагодження інструмента під кожен діаметр.

Обробка виконується в умовах, коли необхідно розточити послідовно два отвори різного діаметра — спочатку $\varnothing 24$ мм, а далі — $\varnothing 19$ мм, причому обидва розташовані по одній осі. Для досягнення такої конфігурації було обрано розточну оправку зі ступінчастим розміщенням двох різальних елементів, що дозволяє забезпечити безперервний прохід інструмента та точне формування отворів різного діаметра.

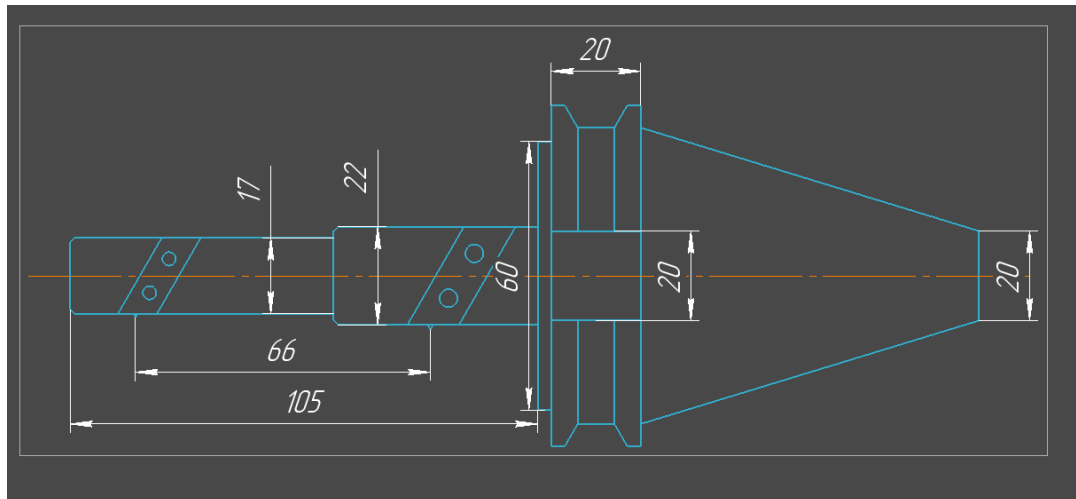


Рисунок 24 — Спеціальна розточна оправка

Розточна оправка має такі технічні характеристики:

Загальна довжина оправки — 105 мм, що забезпечує достатню жорсткість та стійкість у процесі обробки;

Відстань між різальними елементами — 66 мм, що точно відповідає глибині переходу між великим і малим діаметром отворів;

Кожен різальний елемент кріпиться на два болти, що гарантує надійність фіксації при навантаженні, а також дозволяє проводити швидку заміну пластин у разі зношування;

Оправка встановлюється в шпиндель верстата через стандартний конус, що забезпечує надійне та точне з'єднання з інструментальним блоком

горизонтально-фрезерного обробного центру.

Особливістю даної оправки є розміщення різців у двох послідовних рівнях — перший інструмент формує більший діаметр ($\varnothing 24$ мм), а другий — менший ($\varnothing 19$ мм). Така конструкція дозволяє досягти:

мінімального відхилення від співвісності отворів;

скорочення кількості технологічних переходів;

підвищення точності без потреби в переустановці деталі;

економії часу на зміну інструмента.

Різальні елементи виготовлені зі зносостійкого твердого сплаву, що забезпечує високу стійкість у роботі з сірим чавуном СЧ15, який є основним матеріалом деталі. Геометрія пластин підібрана таким чином, щоб забезпечити чистову обробку з точністю до 7 квалітету та шорсткістю поверхні $Ra \leq 2,5$ мкм.

З урахуванням вимог до точності та геометрії отворів, одним із ключових критеріїв при виборі розточної оправки була висока жорсткість та вібростійкість конструкції. У процесі розточування отворів великої довжини та зі змінним діаметром часто виникають динамічні навантаження, що можуть призвести до появи вібрацій, зниження точності обробки або навіть виходу інструмента з ладу. Конструкція обраної оправки дозволяє мінімізувати ці явища завдяки компактному кріпленню різальних елементів та зменшенню вільоту інструментальної частини.

Крім того, оправка спроектована з урахуванням можливості балансування, що особливо важливо при роботі на високих обертах. Балансування дозволяє зменшити динамічні сили, які виникають при обертанні інструмента, тим самим підвищуючи точність обробки та подовжуючи термін служби як інструмента, так і шпиндельного вузла верстата.

Особливої уваги заслуговує сумісність розточної оправки з верстатами з ЧПК, такими як HAAS або MAZAK, що я використовую у даному технологічному процесі. Завдяки наявності стандартного посадочного конуса (наприклад, BT50 або ISO40), оправка легко інтегрується в інструментальний магазин верстата, а використання системи автоматичної заміни інструменту значно прискорює виробничий цикл.

Розточна оправка також дає змогу застосовувати інструмент із внутрішнім підведенням охолоджувальної рідини, що дозволяє ефективно відводити тепло

із зони різання, покращує зносостійкість пластин та запобігає появі термічних деформацій у оброблюваній поверхні.

У випадках, коли необхідно адаптувати оправку під змінені умови виробництва (наприклад, інший перехід між отворами або зміна глибини розточування), конструкція допускає регулювання положення різальних елементів по довжині оправки. Це забезпечує гнучкість та універсальність інструмента в умовах серійного або дрібносерійного виробництва.

Таким чином, обрана розточна оправка не лише відповідає вимогам до точності, але й забезпечує стабільну роботу в складних умовах, що повністю відповідає сучасним критеріям ефективної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

Таким чином, обрана розточна оправка є технічно обґрунтованим і ефективним рішенням для обробки отворів із різним діаметром у межах одного технологічного циклу. Її конструкція дозволяє забезпечити високу точність, повторюваність та стабільну якість отворів при зменшенні затрат часу на переналагодження та зміну інструмента. Це особливо актуально в умовах серійного виробництва, де ефективність та уніфікація технологічних операцій мають вирішальне значення.

3.4.4 Обґрунтування вибору інструменту

Правильний вибір інструменту є одним із ключових факторів для досягнення необхідної точності, шорсткості та продуктивності під час механічної обробки деталі типу «Кронштейн». Підбір інструменту здійснюється з урахуванням геометричних параметрів оброблюваних елементів, матеріалу заготовки (СЧ15), умов серійного виробництва, а також сумісності з технологічним обладнанням — верстатами з ЧПК та відповідними патронами.

Вибір інструменту також враховував режими різання, характерні для обробки сірого чавуну марки СЧ15, який має гарну оброблюваність, але водночас може спричинити підвищене зношення інструменту в разі недостатнього охолодження або перевищення рекомендованих швидкостей. Саме тому пріоритет надано твердосплавному інструменту, зокрема зі сплавів ВК6 і ВК8, що мають підвищену зносостійкість, термостійкість і дозволяють зберігати різальну здатність навіть при тривалому безперервному циклі обробки. Особливу увагу було приділено якості оброблюваної поверхні після проходження зенкерів і розточної оправки. Відповідно до технічних вимог, отвори повинні мати шорсткість не гірше $Ra\ 2,5\ \mu\text{м}$, що досягається завдяки застосуванню чистових зенкерів із заточкою по I групі ГОСТ 14953-80. Завдяки високій

жорсткості інструменту та дотриманню оптимальних подач і швидкостей, забезпечується формування рівної, чистої поверхні без задирок і мікротріщин. Усі інструменти були підібрані також з урахуванням уніфікації та можливості використання у стандартному патронному обладнанні, що дозволяє легко інтегрувати їх у стандартні технологічні наладки без потреби у спеціалізованих державках чи адаптерах. Такий підхід дає змогу зменшити час підготовчо-заключних операцій та спростити обслуговування інструменту на виробництві. Варто також зазначити, що обрані інструменти мають достатній ресурс експлуатації, що дозволяє виконати значну кількість отворів без необхідності повторного перезаточування або заміни. Це суттєво впливає на економічну ефективність процесу, знижує витрати на обслуговування та зменшує простой обладнання.

Комплексний підхід до підбору інструментального оснащення в даному проекті дозволяє забезпечити не лише відповідність геометричним та якісним вимогам до готової деталі, але й сприяє стабільності процесу обробки, скороченню тривалості виробничого циклу та загальному підвищенню ефективності технологічного процесу.

У моїй наладці використовується комплект інструменту, що включає зенкери, свердла, мітчики та спеціальну розточну оправку, що забезпечує виконання повного циклу обробки отворів із різною точністю та функціональним призначенням. Детальний опис інструменту я подав нижче:

Зенкерія: Для попереднього та чистового оброблення отворів застосовуються зенкери з твердосплавного матеріалу ВК8, що відзначається високою твердістю та зносостійкістю. Усі зенкери виготовлені відповідно до стандарту ГОСТ 14953-80, що гарантує стабільність геометрії та точності обробки.

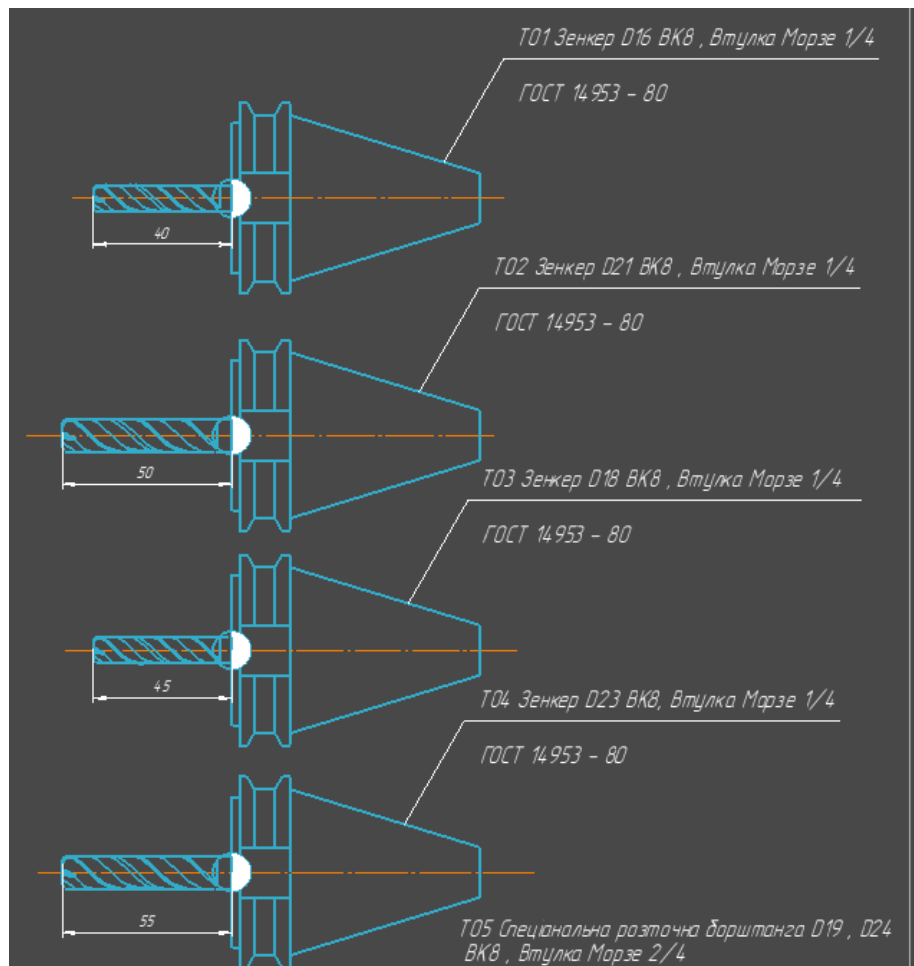


Рисунок 25 — Зенкери які використовуються у тех процесі. для отворів D16, D18, D21, D23

Застосовані зенкери:

- Зенкер Ø16 мм, BK8, довжина 40 мм
- Зенкер Ø18 мм, BK8, довжина 45 мм
- Зенкер Ø21 мм, BK8, довжина 50 мм
- Зенкер Ø23 мм, BK8, довжина 55 мм

Кожен із них використовується відповідно до діаметра отвору, який потребує підвищеної точності та чистоти обробки. (ГОСТ 14953-80)

Спеціальна розточувальна борштанга (оправка) : Особливе місце в процесі займає спеціальна розточувальна борштанга, яка виконує одночасну обробку двох співвісних отворів Ø24 мм та Ø19 мм. Вона оснащена двома різальними елементами з діаметрами D22 мм та D17 мм, які забезпечують чорнову та чистову обробку відповідно. Завдяки такій конфігурації забезпечується висока співвісність та точність отворів при мінімальних переустановках.

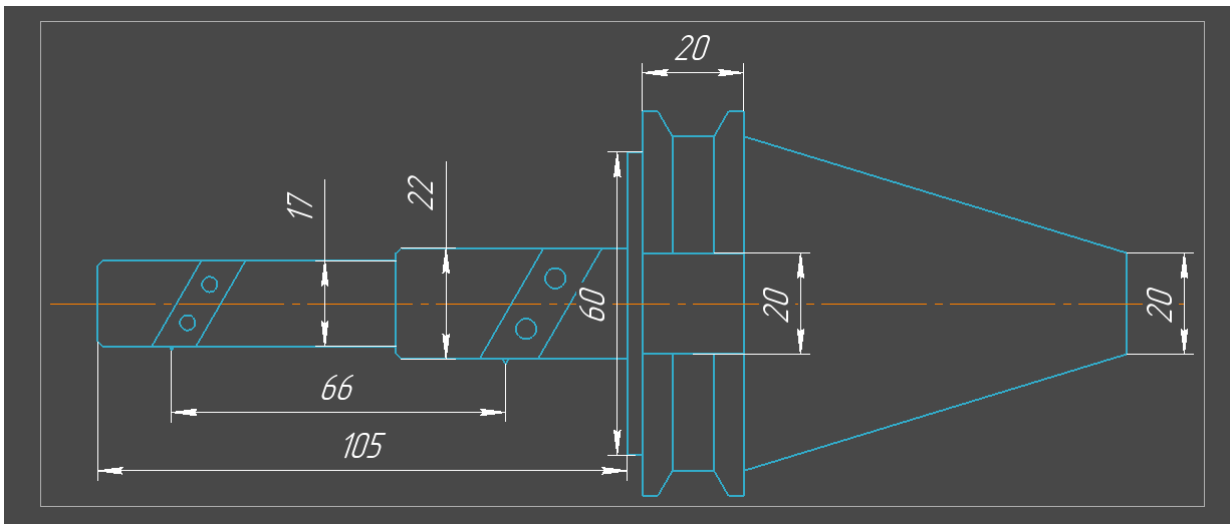


Рисунок 26 — Спеціальна розточувальна борштанга (оправка) для отворів D19, D24

Центрувальне свердло: Для формування початкових заглиблень перед свердлінням отворів під різьбу застосовується центрувальне свердло відповідно до ГОСТ 14952-75. Це свердло встановлюється в свердлильний патрон типу 16-B18, який далі кріпиться в шпиндель верстата через конусну посадку. Центрувальне свердло забезпечує точне початкове розміщення свердла та покращує якість подальшого отвору під різьбу.

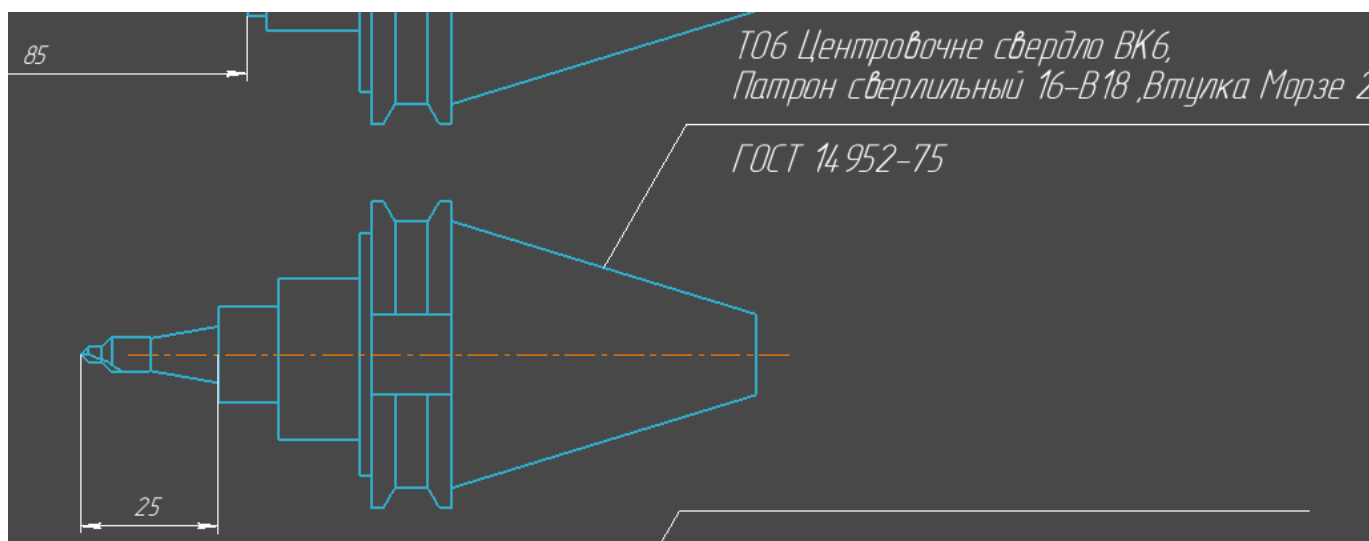


Рисунок 27 — Центрувальне свердло для отворів M5

Свердло Ø4.2 мм, ВК6: Для свердління отворів під різьбу M5 використовується свердло діаметром 4.2 мм, виготовлене з твердого сплаву ВК6, довжиною 60 мм. Воно також встановлюється в патрон 16-B18 із подальшою установкою в шпиндель. Висока твердість матеріалу дозволяє отримувати точні отвори без додаткової обробки перед нарізанням різьби. Інструмент відповідає вимогам ГОСТ 10902-77. (ГОСТ 10902-77)

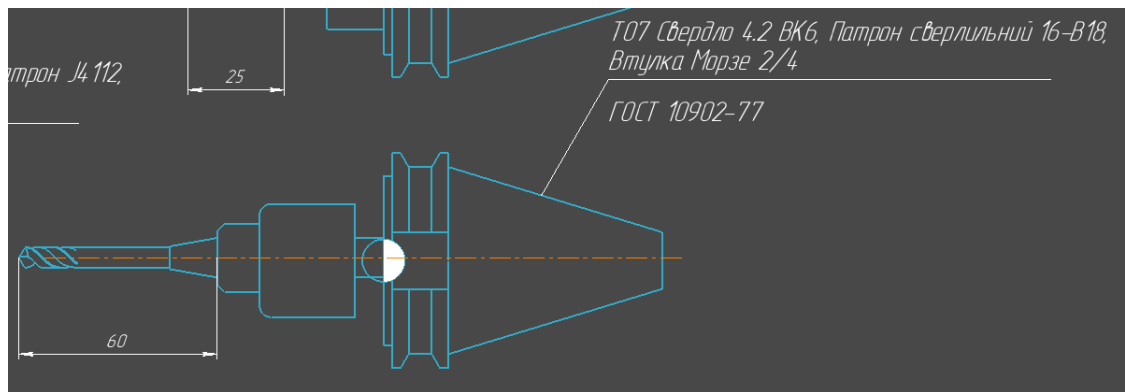


Рисунок 28 — Свердло Ø4.2 мм, ВК6 для отворів під різьбу

Мітчик для різьби М5 : Після свердління отвори обробляються мітчиком для різьби М5, який встановлюється у різьбонарізний патрон J4112, що забезпечує точне позиціонування та компенсацію зворотного моменту. Патрон кріпиться в шпиндель за допомогою конуса, що дозволяє проводити нарізання різьби з високою точністю та без пошкодження різального інструменту. Інструмент відповідає вимогам ГОСТ 3266-81.

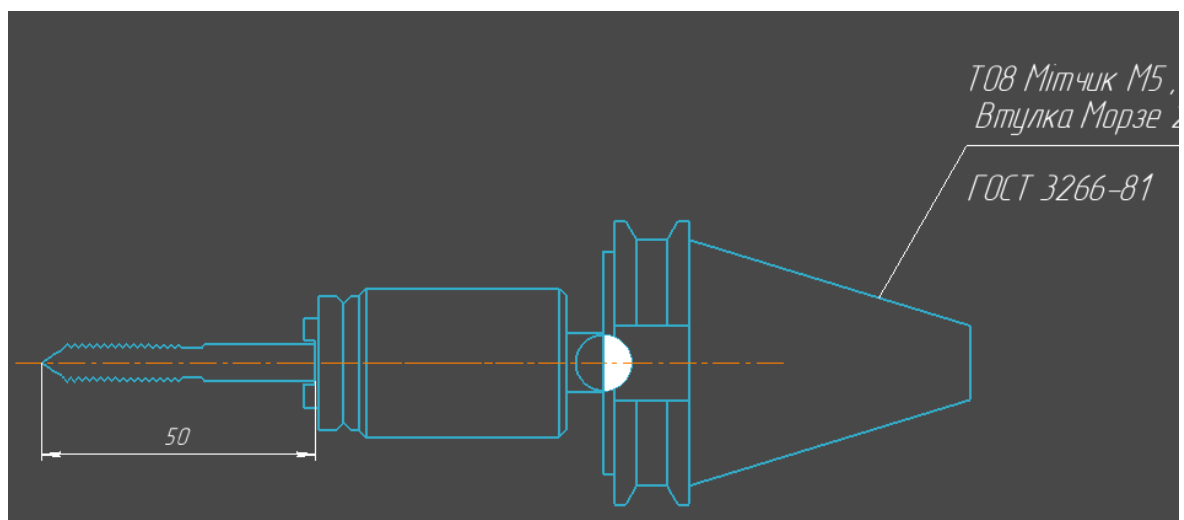


Рисунок 29 — Мітчик для різьби М5 ГОСТ 3266-81.

Весь інструмент у комплексі дозволяє ефективно виконувати попереднє свердління, зенкування, чистове розточування та нарізання різьби з урахуванням вимог до точності, геометрії та взаємного розташування елементів деталі. Застосування твердосплавних матеріалів (ВК6, ВК8), дотримання державних стандартів та використання відповідних патронів забезпечує довговічність, зручність в експлуатації та стабільність результатів обробки в умовах серійного виробництва.

Проектування та виготовлення пристосування

4.1 Конструкція спеціального пристрою

Для надійного закріплення деталі типу «Кронштейн» під час виконання операцій свердління, зенкування та розточування було розроблено спеціальне універсально-позиційне пристосування, яке забезпечує жорстку фіксацію заготовки, повторюваність базування та зручність при переналагодженні в умовах серійного виробництва.

Пристрій спроектовано з урахуванням розмірів оброблюваної деталі, а також компоновки верстата, де передбачається наявність Т-подібних пазів на робочому столі (відстань між якими 150 мм), в які безпосередньо встановлюється основна частина пристосування — опорна основа (стіл). На цьому столі закріплюється базова конструкція, що включає дві масивні горизонтальні балки — верхню та нижню, між якими розміщується оброблювана деталь.

Фіксація деталі здійснюється по двох поверхнях (зверху і знизу). Нижня балка виконує роль опорної бази, на яку деталь запресовується за допомогою базуючих пальців (10h7 8g), що встановлюються в технологічно передбачені отвори. Це дозволяє досягти точної фіксації по обраній технологічній базі та запобігти зсувам або поворотам заготовки під дією різальних зусиль.

Верхня балка притискає деталь зверху і забезпечує жорстке позиціонування у вертикальній площині. Кріплення обох балок до основи здійснюється через два різьбові стрижні (болти по 53 мм), кожен із яких фіксується подвійним комплектом гайок — нижньою (контргайка на плиті) та верхньою швидкознімною гайкою. Така система дозволяє легко та швидко знімати та встановлювати деталь без потреби у повному демонтажі пристосування.

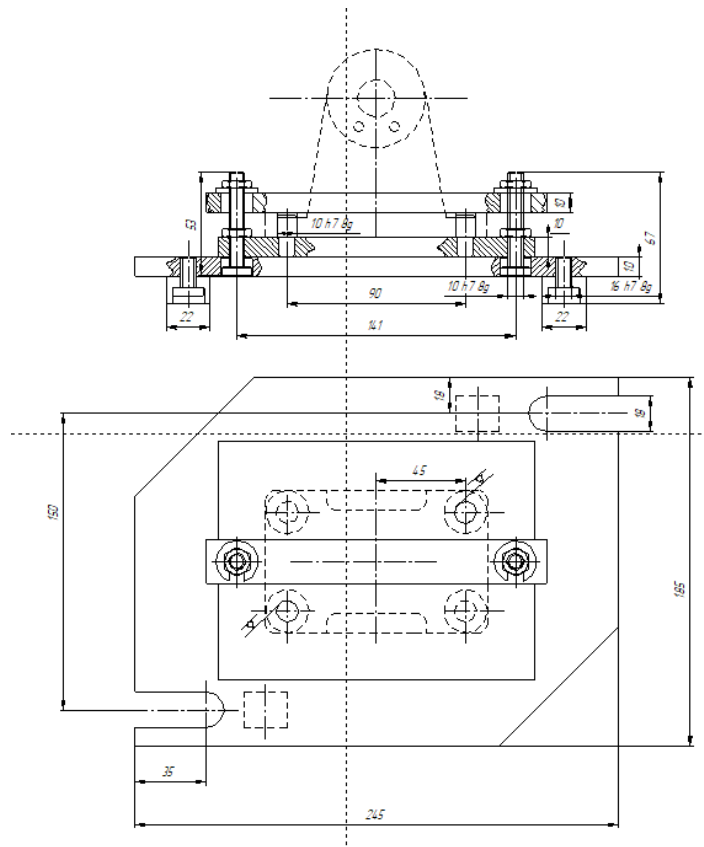


Рисунок 30 — Креслення кріплення деталі до верстата.

На кресленні чітко видно:

- відстані між кріпленнями (наприклад, між осями болтів — 141 мм;
- геометрію посадочних елементів;
- загальні габарити пристрою (довжина 245 мм, висота 185 мм);
- бічні напрямні виступи, що обмежують переміщення деталі по горизонталі й забезпечують точне повторне встановлення.

Конструкція також передбачає можливість регулювання висоти верхньої балки шляхом зміни положення гайок, що дозволяє адаптувати пристрій під деталі з незначними варіаціями висоти або припусків. Завдяки такому підходу пристосування може бути застосоване як у серійному виробництві, так і при дрібносерійному виготовленні з гнучкими налаштуваннями. (Ковальов С.Ф. *Технологічне оснащення верстатів.*)

Крім того, використання Т-подібних пазів на столі дозволяє надійно зафіксувати пристосування до бази верстата, мінімізуючи ризик вібрацій або втрати положення під час обробки. Розташування кріпильних елементів і точок опори розроблено так, щоб забезпечити максимальний доступ до зони обробки інструментом.

Таким чином, запропоноване пристосування повністю відповідає технологічним вимогам до базування, забезпечує стабільність та точність обробки, а також є зручним і надійним в експлуатації.

4.2 Розрахунок пристрою на точність

Забезпечення високої точності обробки деталей у серійному виробництві залежить не лише від характеристик верстатного обладнання та інструменту, але й від конструкції та точності технологічного пристрою, у якому здійснюється базування і закріплення заготовки. Пристрій повинен забезпечувати жорстке, стабільне та повторюване положення заготовки при виконанні технологічних операцій, а також мінімізувати похибки, що виникають у процесі базування та фіксації.

У виробництві деталі типу «Кронштейн», яка має отвори, базові площини, посадкові місця та високі вимоги до взаємного розташування елементів, технологічний пристрій відіграє ключову роль у досягненні потрібної точності. Особливо це актуально для операцій фрезерування базових поверхонь і

обробки отворів із 7–12 квалітетами точності, які критично впливають на функціональність вузла в цілому.

Для визначення допустимих похибок пристрою використовується формула розрахунку сумарної похибки пристрою:

$$\varepsilon = 1,2 * \sqrt{\square} \quad (1)$$

де:

- ε — сумарна похибка технологічного пристрою, мкм;
- $\varepsilon_{\text{баз}}^{\square}$ — похибка базування заготовки, мкм;
- $\varepsilon_{\text{п}}^{\square}$ — похибка виготовлення пристрою, мкм;
- $\varepsilon_{\text{зак}}^{\square}$ — похибка закріплення, мкм;
- 1,2 — емпіричний коефіцієнт, що враховує статистичну природу похибок та вводить запас на невраховані фактори (температурні деформації, мікрорухи, допуски виготовлення оснастки тощо).

Враховуючи особливості деталі та умов її обробки, я приймаю такі усереднені значення похибок:

Похибка базування $\varepsilon_{\text{баз}}^{\square} = 10$ мкм — оброблена базова поверхня деталі встановлюється на пристрій, що забезпечує хорошу контактну площу й точність позиціонування.

Похибка пристрою $\varepsilon_{\text{п}}^{\square} = 15$ мкм — пристрій виготовлений з допусками 10–20 мкм, із жорсткими напрямними поверхнями та точними базовими елементами.

Похибка закріплення $\varepsilon_{\text{зак}}^{\square} = 8$ мкм — використовується стандартне механічне закріплення (універсальні тиски або пальцьове базування), яке забезпечує стабільність положення без зсувів.

Розрахунок, підставляючи числові значення в формулу, маємо:

$$\varepsilon = 1,2 * \sqrt{\square}$$

Розрахована сумарна похибка пристрою становить 23,6 мкм, що відповідає вимогам до точності обробки основних поверхонь кронштейна. З урахуванням того, що основна частина отворів та площин обробляється з точністю 11–13

квалітету, допустима похибка пристрою (у межах 30–35% загального допуску) є цілком прийнятною.

Таким чином, обрана конструкція пристрою забезпечує надійне базування та фіксацію заготовки в умовах серійного виробництва. Це сприяє стабільності розмірів, мінімізації похибок міжопераційного переходу та підвищенню якості кінцевого виробу. Розрахунок доводить доцільність застосування пристрою у виробництві деталі «Кронштейн» і підтверджує його відповідність технічним вимогам щодо точності.

Застосування ЧПУ в процесі обробки

5.1 Побудова траєкторії інструмента в САМ-системі

На сучасному етапі розвитку машинобудування побудова траєкторії інструмента є одним із ключових елементів комп'ютерно-інтегрованого виробництва. Вона виконується за допомогою САМ-систем (Computer-Aided Manufacturing), які дозволяють автоматизовано генерувати оброблювальні програми для верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК).

У процесі виготовлення деталі «Кронштейн» була використана САМ-система ADEM, яка підтримує повний цикл програмування: від імпорту 3D-моделі до генерації G-коду. ADEM дозволяє враховувати кінематичні обмеження верстата, режими різання, тип інструмента, стратегії обробки тощо.

Основні етапи побудови траєкторії:

1. Імпорт 3D-моделі – виконується з CAD-системи у форматі STL, STEP або Parasolid. На цьому етапі аналізується геометрія поверхонь та задаються координатні системи.
2. Вибір типу обробки – для даного випадку було обрано площинне фрезерування (2.5D) з подальшим профільним фрезеруванням внутрішніх та зовнішніх контурів. Враховувалась необхідність забезпечити рівномірне знімання припуску.

3. Створення заготовки в САМ-середовищі – визначаються габарити заготовки, її положення у просторі, припуски, напрямок подачі інструмента та місце початку обробки (Zero Point).
4. Вибір стратегії обробки – для площин була обрана стратегія "Zig-Zag" з компенсацією на радіус інструмента, а для контурів — "Spiral Inward", яка забезпечує плавне занурення фрези в матеріал без різких навантажень. Такий підхід дозволяє досягти високої точності геометрії. Симуляція процесу – важливий етап, що дозволяє перевірити колізії, напрямок руху інструмента, залишки матеріалу після обробки, візуалізувати вплив стратегії на якість поверхні.
5. Генерація NC-коду – САМ-система формує G-код із коментарями для контролера ЧПК. У нашому випадку код був сумісний з системою Fanuc. Кожен блок програми містив команди позиціонування, включення шпинделя, подачу, переміщення, компенсації радіуса тощо.

Особливості побудованої траєкторії

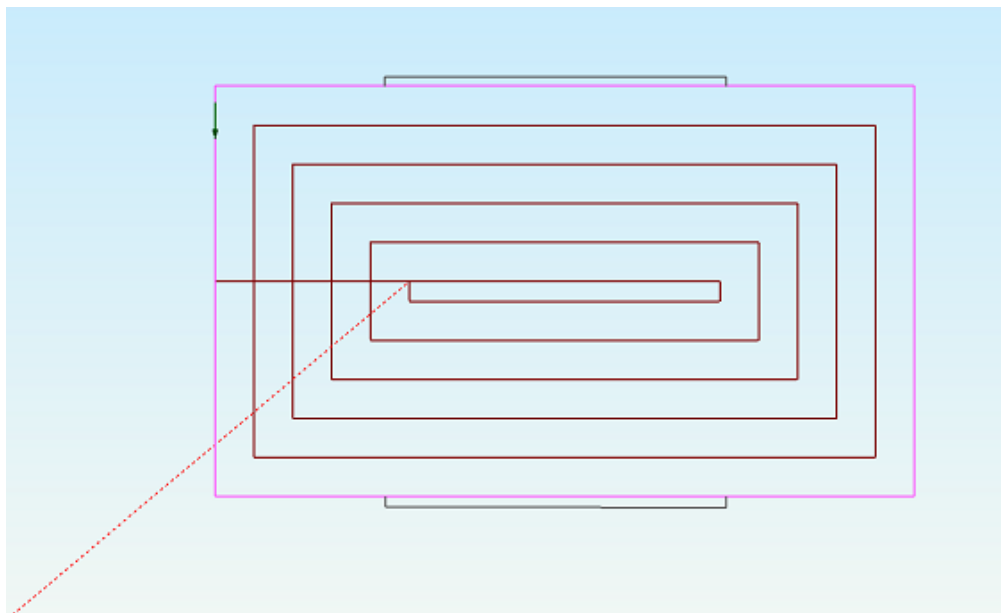


Рисунок 31 — Побудова траєкторії фрези у САМ-системі ADEM
На рисунку 31 зображено векторну траєкторію інструмента, яка є серцевиною всього процесу обробки. Стратегія побудована з урахуванням: Оптимального використання інструмента – уникнення різких поворотів, перевантаження ріжучої кромки, зменшення теплового навантаження. Стабільності процесу – рівномірне знімання матеріалу, уникнення раптових змін напрямку подачі.

Безпеки обробки – додаткові висоти підйому при швидких переміщеннях, уникнення зіткнення з заготовкою. Мінімізації холостого ходу – ефективна побудова маршрутів дозволяє зменшити час обробки без шкоди для якості. Цей метод дозволяє отримати деталі з високим рівнем повторюваності та мінімальним людським фактором. САМ-система ADEM дозволила автоматично перераховувати координати для великої кількості проходів та шарів, адаптуючи стратегії до змін геометрії.

Побудова траєкторії у САМ-системі значно прискорює та покращує підготовку до обробки. В умовах серійного виробництва можливість швидко модифікувати програму, змінювати інструмент, або адаптувати під інше обладнання (наприклад, HAAS, Siemens, Heidenhain) є критичною перевагою.

Також варто відзначити, що за допомогою САМ можна:

- Здійснювати перевірку ріжучих навантажень (аналіз сил, крутного моменту)
- Створювати звіти по обробці
- Враховувати знос інструмента при генерації проходів
- Оптимізувати частоту обертання в залежності від матеріалу та траєкторії

Таким чином, застосування САМ-технологій на етапі побудови траєкторії є невід’ємною частиною сучасного машинобудування, забезпечуючи високу точність, адаптивність, контроль якості та економічність виробничого процесу.

5.2 Переваги використання ЧПУ для обробки кронштейна

Використання верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) у процесі виготовлення деталі типу «Кронштейн» стало одним із ключових факторів забезпечення високої точності, стабільності та повторюваності обробки. У сучасному машинобудуванні, де від деталей вимагається не лише точне дотримання геометрії, а й гарантована якість поверхонь, ЧПК-обладнання набуває дедалі більшого поширення, замінюючи традиційні методи обробки.

У даній дипломній роботі для обробки поверхонь, отворів, фрезерування та розточування застосовувався горизонтально-фрезерний обробний центр Mazak HCN-5000, який дозволяє виконувати обробку з мінімальними відхиленнями від заданих розмірів. Завдяки використанню програмного керування забезпечується автоматичне позиціонування інструмента, що особливо важливо при обробці отворів різного діаметра, фрезеруванні контурів, розточуванні посадкових місць і виконанні різьбових операцій. Висока точність позиціонування робочих органів верстата дозволила досягти відповідності між кресленням і реальною геометрією деталі без необхідності багаторазових перевстановлень або механічних підналаштувань.

Однією з ключових переваг ЧПК є те, що процес обробки виконується за заздалегідь сформованою програмою, яка була створена в САМ-системі ADEM. Це дає можливість на етапі підготовки виявити всі потенційні помилки, змодельовати рух інструмента, оптимізувати режими різання і вибрати найбільш раціональну траєкторію. У результаті обробка відбувається без різких навантажень на інструмент, що не лише покращує якість поверхні, але й значно зменшує знос ріжучих елементів. Для кронштейна, в якому присутні як зовнішні, так і внутрішні поверхні, складні отвори, бобишки та базові площини, така точність і прогнозованість обробки є надзвичайно важливою.

Крім того, ЧПК дає змогу значно знизити залежність від кваліфікації оператора. Якщо при ручній обробці кожен технологічний перехід потребує постійного контролю та налаштування, то при використанні ЧПК усе керування виконується програмно, а втручання оператора зводиться до контролю процесу й періодичної заміни інструменту. Це зменшує ймовірність помилок, пов'язаних із людським фактором, і дозволяє забезпечити однакову якість у кожному циклі обробки, що особливо цінно при серійному виробництві. Варто також відзначити, що застосування ЧПК скорочує час виготовлення деталей. Завдяки зменшенню кількості переналагоджувань, автоматичному позиціонуванню та оптимізації рухів інструмента, обробка кронштейна відбувається швидше, ніж на традиційних верстатах. Це дозволяє досягти

високої продуктивності без шкоди для точності або якості. Поряд із цим значно знижується кількість браку, оскільки кожна операція виконується з однаковими параметрами, а програмне керування дозволяє уникати відхилень у геометрії. Загалом, впровадження обробки з використанням ЧПК дало змогу забезпечити стабільність виробничого процесу, високу якість готової деталі та відповідність усім технічним вимогам, передбаченим кресленням. Для деталей типу «Кронштейн», які мають складну форму, відповідальні посадкові місця та повинні працювати в умовах підвищених навантажень, технології ЧПК є оптимальним рішенням, яке гарантує точність, надійність та економічну ефективність виробництва.

Контроль якості та технічне забезпечення пристосування

6.1 Види контролю

Забезпечення якості виготовлення деталей у машинобудуванні є критично важливим етапом усього виробничого процесу. Контроль якості дозволяє виявити відхилення від технічних умов, зменшити кількість браку та гарантувати працездатність готового виробу в умовах експлуатації. У технологічному процесі виготовлення деталі типу «Кронштейн» застосовуються кілька основних видів контролю, які охоплюють усі ключові параметри: геометричні розміри, точність обробки, шорсткість поверхонь, відповідність отворів, а також наявність зовнішніх дефектів.

Контроль якості умовно поділяється на такі етапи:

1. Вхідний контроль матеріалу

На додаток до базових вимог, у вхідному контролі може перевірятись структура матеріалу методом макрошліфів (особливо для відповідальних деталей), а також хімічний склад за сертифікатом плавки. У великих серіях можливе використання портативного спектрометра для оперативного аналізу легувальних елементів у чавуні. Також перевіряється площинність литої заготовки та наявність ливникових швів, які можуть впливати на базування. На цьому етапі перевіряється відповідність властивостей заготовки (сірий чавун СЧ15) вимогам технічних умов. (Пашенко В.П. *Контроль і вимірювання в машинобудуванні*.) Контролюються: марка матеріалу згідно з супровідною документацією; твердість (в межах 140–180 НВ); відсутність дефектів лиття — тріщин, раковин, пористості; геометричні розміри та наявність припусків на обробку.

Цей контроль проводиться візуально, а також за допомогою твердомірів і штангенінструменту.

2. Міжопераційний контроль

Окрім ручного контролю, доцільно застосовувати вбудовані системи інструментального контролю на верстатах ЧПК, які дають змогу автоматично перевіряти діаметр отворів, знос інструменту або зсув траєкторії обробки. Також у міжопераційний контроль можна включити перевірку орієнтації заготовки у пристосуванні за допомогою індикаторних головок перед початком кожного циклу обробки.

Після кожної основної технологічної операції виконується перевірка: базових розмірів; координат розташування отворів; глибини та діаметра зенкерованих і розточених поверхонь; точності розташування осей співвісних отворів (особливо D24 і D19).

Контроль здійснюється безпосередньо на робочому місці оператором верстата за допомогою штангенциркулів, мікрометрів, індикаторних головок і калібрів.

3. Вихідний контроль

У рамках вихідного контролю іноді виконується контроль маси деталі (особливо при фрезеруванні або розточуванні великих об'єктів), що дозволяє виявити помилки у припусках. У сучасних умовах часто застосовується контроль за допомогою систем SPC (Statistical Process Control), що дає змогу аналізувати стабільність параметрів у партії деталей. Також вивчається зовнішній вигляд поверхні під фарбування, гальваніку або інші види покриття (відсутність подряпин, окислення тощо).

Після завершення обробки проводиться повний контроль відповідності деталі технічній документації. У рамках вихідного контролю перевіряють: габаритні розміри; співвісність отворів; параметри різбових з'єднань (M5); якість оброблених поверхонь (шорсткість, наявність задирок); відповідність геометрії кресленню.

Особливу увагу приділяють точності отворів D24 і D19, які мають 7 квалітет та служать посадковими місцями. Вони перевіряються за допомогою калібрів-пробок, мікрометричних нутромірів або на координатно-вимірювальній машині (КВМ), зокрема Mitutoyo CRYSTA-Apex S 776.

4. Поверхневий візуальний та дефектоскопічний контроль

Для виявлення мікротріщин, задирок або відшарувань, особливо після розточування або зенкування, проводиться візуальний контроль під збільшенням, а за необхідності — капілярний або магнітопорошковий метод (для виявлення тріщин на оброблених поверхнях).

Окрім стандартних методів, у разі складної геометрії деталі або вимог до безпеки можуть застосовуватись:

- ультразвуковий контроль (для виявлення внутрішніх пустот),
- інфрачервоне сканування (виявлення тонкошарових дефектів),
- люмінесцентні методи — для візуалізації мікротріщин під УФ-освітленням.

5. Контроль шорсткості поверхонь

Відповідно до технічних умов, критичні поверхні повинні мати шорсткість $Ra \leq 2,5$ мкм. Для її перевірки використовується

профілометр або порівняльні еталони шорсткості. Контроль проводиться на опорних площинах, базових поверхнях і внутрішніх отворах (особливо після зенкерування).

Після кожного проходу зенкером або розточкою можна проводити контроль шерохватості не лише на кінцевій деталі, але й на тестовому зразку або контрольному кільці, що обробляється разом із партією. Це дозволяє заздалегідь виявити погіршення стану ріжучого інструменту або появу вібрацій. Шорсткість також контролюється вздовж і впоперек осі отвору, що особливо актуально при розточці довгих посадочних ділянок.

6. Геометричний контроль

У більш точних вимірах може застосовуватись лазерне сканування, яке дозволяє отримати цифрову модель поверхонь із точністю до 5–10 мкм. Крім того, важливо контролювати відхилення від паралельності площин (наприклад, опорних), які впливають на збирання вузлів. Для важливих посадочних отворів перевіряється також геометрія отвору по всій довжині (конусність, овальність), що впливає на точність з'єднання.

На цьому етапі контролюється:

- перпендикулярність та паралельність площин;
- співвісність;
- відхилення від плоскості;
- точність симетрії отворів.

Для цього використовуються плиточні столи, кутоміри, індикаторні стояки, а також КВМ, яка дозволяє створити 3D-модель поверхонь і порівняти її з еталонною CAD-моделлю.

7. Повторний контроль зносостійких отворів (за необхідності)

Якщо деталь виготовляється в умовах серійного виробництва, проводиться вибірковий контроль партії на зносостійкість або зміни геометрії після тривалого зберігання або транспортування. Повторний або періодичний контроль у серійному виробництві зазвичай проводиться за принципом вибіркового відбору 1–2 деталей з кожної партії. Для цього формується контрольна карта, де фіксуються дані про знос інструменту, відхилення по діаметрах, накопичення похибок у базуванні тощо. У великих виробництвах ці дані передаються у систему якості ISO 9001 або ERP-систему для автоматичного аналізу.

Таким чином, система контролю якості, що впроваджена у виробничому процесі виготовлення кронштейна, забезпечує багаторівневу перевірку точності та відповідності технічній документації. Завдяки поєднанню традиційних засобів контролю (штангенінструмент, калібри, мікрометри) та високоточного координатно-вимірювального обладнання, досягається висока якість продукції та знижується ризик виготовлення бракованих деталей. (*Пащенко В.П. Контроль і вимірювання в машинобудуванні — базові методи контролю.*)

6.2 Прилади та методи контролю

Для забезпечення точності виготовлення деталі типу «Кронштейн» у процесі обробки та після її завершення застосовується комплекс сучасних засобів контролю, які охоплюють як традиційні ручні вимірювальні інструменти, так і високоточне контрольно-вимірювальне обладнання. Контроль виконується на всіх етапах технологічного процесу: від вхідного до вихідного, із застосуванням відповідних методів відповідно до характеристик оброблюваних елементів.

1. Координатно-вимірювальна машина (КВМ)

Для точного геометричного контролю складних елементів деталі використовується Координатно-вимірювальна машина Mitutoyo CRYSTA-Arex S 776. Вона дозволяє автоматизовано перевіряти розміри, положення отворів, паралельність, співвісність та інші параметри.

Переваги використання КВМ:

- висока точність (до 1,7 мкм);
- автоматизоване керування та запис результатів у цифровому вигляді;
- можливість 3D-порівняння із CAD-моделлю;
- значне зменшення людського фактору при вимірюваннях.

Сучасні КВМ типу Mitutoyo CRYSTA-Arex S 776 дозволяють проводити вимірювання в трьох координатах (X, Y, Z) з точністю до 1,7 мкм. Застосування машин такого класу особливо важливе при контролі:

- розташування та діаметра отворів із 7–8 квалітетом;
- паралельності та співвісності елементів, що неможливо проконтролювати вручну;
- просторових відхилень, таких як конусність, еліптичність, овальність.

Машина працює за допомогою щупового сенсора, що контактує з точками на поверхні й дозволяє порівнювати координати з CAD-моделлю. Це дозволяє не лише виявляти відхилення, а й аналізувати динаміку їх змін при виробництві великої партії.

2. Лазерний сканер Hexagon Absolute Arm 8525

Це обладнання застосовується для безконтактного 3D-контролю складних поверхонь. Його перевага полягає в тому, що воно дозволяє сканувати навіть важкодоступні ділянки та створювати цифрову модель поверхні деталі. Завдяки портативності, сканер може бути використаний безпосередньо на дільниці виробництва для швидкої перевірки:

- геометрії складних отворів;
- відхилення від креслення;
- контролю серійних деталей у потоці.

Сканер використовується як портативний вимірювальний інструмент, що дозволяє проводити швидкий 3D-контроль навіть у польових умовах. Він здатен формувати цифрову модель поверхні деталі з точністю до 10 мкм. Область сканування може охоплювати поверхні складної геометрії, в тому числі фаски, галтелі, заокруглення та важкодоступні пази.

Ключовими перевагами є:

- висока швидкість збору даних (до 1 000 000 точок/сек);
- безконтактність — відсутність ризику пошкодження поверхні;
- збереження моделі в форматах STL, STEP для подальшого аналізу.

3. Ручні та переносні вимірювальні засоби

У процесі виробництва застосовуються такі базові інструменти:

- штангенциркулі (0–150 мм) – для контролю зовнішніх розмірів;
- мікрометри (0–25 мм, 25–50 мм) – для вимірювання товщин та глибини отворів;
- нутроміри – для контролю внутрішніх діаметрів D19, D24;
- калібри-пробки – для перевірки отворів під посадку;
- індикаторні годинникові головки з індикаторними стійками – для контролю співвісності отворів;
- профілометр або порівняльні еталони – для вимірювання шорсткості Ra.

Використовувані інструменти мають повірку відповідно до метрологічних вимог, з інтервалами перевірки згідно з графіком підприємства. Для прикладу:

- штангенциркулі типу ШЦ-I 0–150 мм (ГОСТ 166-89) – похибка $\pm 0,05$ мм;
- мікрометри МК 25-1 ГОСТ 6507-90 – клас точності 1, ціна поділки 0,01 мм;
- нутроміри типу НМ 18–50 ГОСТ 9241-80 – для отворів D19–D24.

У деяких випадках проводиться контроль температури інструменту та деталі, оскільки навіть незначне температурне розширення чавуну ($\alpha = 11 \times 10^{-6}$) може вплинути на вимірювання отворів із допуском 0,02 мм.

Ці інструменти особливо зручні для міжопераційного контролю, коли необхідно швидко перевірити окремі параметри перед переходом до наступної операції.

4. Засоби візуального контролю

Для контролю поверхні застосовуються лупи ЛПП-10×, оптичні мікроскопи МБС-10 або портативні камери зі збільшенням до 50×, що дозволяють виявити:

- задирки, раковини, подряпини;

- неякісну обробку торців;
- залишки охолоджувальної рідини чи стружки.

У разі високої відповідальності поверхонь, або коли деталь підлягає подальшому гальванічному покриттю, застосовуються методи капілярної дефектоскопії з пенетрантами типу «Контроль-Про» або Magnaflux.

Для виявлення поверхневих дефектів застосовуються:

- лупи, оптичні прилади збільшення;
- капілярна дефектоскопія (при потребі);
- візуальний контроль із застосуванням шаблонів для посадочних площин;
- контроль рівномірності обробки під УФ-освітленням (при нанесенні покриття).

5. Контроль нарізаних різьб М5

Перевірка різьби виконується контрольними калібрами: пробка «проходить» / «не проходить», що відповідає класу точності 6Н згідно з ГОСТ. Також може використовуватись різьбомір для перевірки кроку і профілю різьби.

6. Засоби цифрового контролю в ЧПК-обладнанні

У складі верстатів MAZAK HCN-5000 та HAAS VF-6/50 реалізовані функції:

- моніторингу навантаження на інструмент;
- автоматичного виявлення зношення ріжучої кромки;
- адаптивної корекції траєкторії та подачі;
- самодіагностики координат перед початком серії.

Ці функції дозволяють проводити попередній контроль ще до фактичного вимірювання, що особливо важливо в умовах серійного виробництва.

Комплексна система контролю якості в даному технологічному процесі поєднує традиційні методи та сучасні цифрові технології, що дозволяє:

- скоротити час перевірки;
- підвищити точність вимірювань;
- зменшити кількість браку;
- забезпечити відповідність продукції міжнародним стандартам (ISO, DIN).

Застосування автоматизованих та ручних засобів вимірювання дає можливість гнучко реагувати на відхилення в процесі виробництва, оперативно виявляти похибки та забезпечувати високу якість деталей «Кронштейн» у потоці.

Охорона праці та пожежна безпека

Одним із основних напрямів забезпечення безперервного та ефективного функціонування виробничого процесу є створення безпечних умов праці для всіх категорій працівників. Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності. В дипломному проєкті розглянуто питання охорони праці на прикладі ділянки, де виконується механічна обробка деталі типу «Кронштейн» на верстатах з числовим програмним керуванням.

Виробничі приміщення, де встановлені металообробні верстати, повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів, зокрема ДБН В.2.2-10:2018 «Будівлі і споруди. Виробничі будівлі» та Правил охорони праці на підприємствах машинобудування.(НПАОП 0.00-1.28-10) Висота приміщень повинна бути не меншою за 3,2 м, освітленість робочих зон — не нижче 300 лк (для точних робіт), а температура повітря — в межах 18–22 °С. Необхідно забезпечити достатню кратність повітрообміну — щонайменше 2–3 рази на годину. У приміщенні має бути забезпечена загальнообмінна та місцева вентиляція, зокрема у зонах різання, де виділяється пил або туман мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). (ДБН В.2.2-10:2018)

Шумове навантаження в умовах металообробки не повинне перевищувати 85 дБ. Для цього застосовуються шумоізолювальні кожухи на верстатах, а також обробка поверхонь приміщень звукопоглинаючими матеріалами. Робочі місця повинні бути обладнані з урахуванням ергономіки: висота верстатів, розміщення пульта керування, елементів індикації тощо мають відповідати антропометричним даним працівників.

Особливу увагу слід приділити небезпечним і шкідливим факторам, які можуть виникати при роботі на верстатах із ЧПК:

- обертальні частини шпинделя та інструмента (можливість захоплення одягу);
- викид стружки під високим тиском;
- перегрів мастильно-охолоджувальних рідин;
- можливе коротке замикання або пробій ізоляції при порушенні електробезпеки;
- високий рівень напруги у шафі керування.

З метою запобігання травматизму, на підприємстві повинні бути розроблені та затверджені інструкції з охорони праці, що регламентують поведінку працівників до, під час і після виконання робіт. Новоприйняті працівники повинні проходити вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, а також періодичне навчання з охорони праці та перевірку знань не рідше одного разу на рік. Усі інструктажі фіксуються в спеціальних журналах згідно з чинними нормативами. (Соколова І.І. *Охорона праці в машинобудівній галузі.*)

Працівники, які виконують обробку на верстатах, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):

- спецодяг із щільної бавовняної тканини (куртка, штани);
- захисні окуляри або прозорий щиток;
- протиударне взуття із захисним підноском;
- рукавиці (лише при допоміжних роботах, не під час контакту з обертовими частинами);
- беруші або навушники при рівні шуму понад 80 дБ.

Крім того, верстати повинні бути обладнані:

- запобіжними кожухами на патронах і інструментальних головках;
- аварійною кнопкою «СТОП»;
- індикаторами помилок системи;
- вентиляційними решітками з витяжним патрубком;
- датчиками відкриття дверей (для машин із закритими кабінами).

Важливим напрямом є забезпечення електробезпеки. Обладнання підключається через захисні автомати, диференційні реле або трансформатори з ізольованою вторинною обмоткою. Усі корпуси обладнання повинні бути заземлені, опір контуру заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Електрошафи мають бути опломбовані та доступні тільки для персоналу, що має допуск не нижче групи II з електробезпеки.

З метою запобігання пожежам у цеху організовується пожежна безпека відповідно до НПАОП 0.00-1.31-99, що передбачає:

- наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників вуглекислотних і порошкових);
- чітке позначення пожежних виходів;
- регулярні перевірки стану електропроводки;
- заборону використання пошкоджених кабелів, трійників, подовжувачів;
- забезпечення наявності плану евакуації та інструкцій на стендах.

Особлива увага приділяється роботі з мастильно-охолоджувальними рідинами (МОР). Вони є горючими та токсичними при тривалому вдиханні парів. Для зменшення впливу застосовується:

- витяжна вентиляція з фільтрацією повітря;
- регулярна заміна МОР згідно з регламентом;
- використання рукавичок та захисту шкіри від прямого контакту.

Також необхідно дотримуватись санітарно-гігієнічних вимог. Працівникам надаються умови для особистої гігієни: душові, умивальні, шафи для одягу.

Після закінчення зміни працівники мають можливість пройти медичний огляд у разі погіршення самопочуття.

Робочі місця підлягають періодичній атестації відповідно до Постанови №442, де визначається клас умов праці, рівень шкідливості, мікроклімат, шум, вібрація, освітлення. Це дозволяє планувати заходи щодо зниження шкідливого впливу середовища на працівників.

Таким чином, реалізація комплексу заходів з охорони праці та пожежної безпеки дозволяє створити на виробництві безпечні умови, що відповідають сучасним нормативним вимогам. Це, у свою чергу, знижує виробничий травматизм, підвищує відповідальність персоналу та сприяє формуванню культури безпеки на підприємстві.

Висновки

У результаті виконання дипломної роботи на тему «Технологічно-конструкторська підготовка виготовлення деталі “Кронштейн”» було виконано комплексне дослідження та розроблено раціональний технологічний процес виготовлення відповідальної машинобудівної деталі з урахуванням сучасних виробничих, конструкторських та метрологічних вимог.

1. Аналіз конструкції та умов експлуатації деталі.

На початковому етапі було здійснено детальний аналіз конструкції деталі типу «Кронштейн», яка широко використовується в машинобудуванні як з'єднувальний або опорний елемент. Деталь працює в умовах статичних і динамічних навантажень, включаючи вплив вібрацій, змін температур, тертя та осьового зсуву. У процесі аналізу були розглянуті основні елементи конструкції, зокрема площини базування, посадкові отвори, ребра жорсткості, ділянки кріплення тощо. Також визначено, що деформації при роботі кронштейна можуть призводити до зміщення з'єднаних елементів, тому було встановлено жорсткі вимоги до геометричної точності та взаємного розташування оброблених поверхонь.

2. Вибір матеріалу.

З урахуванням умов експлуатації та конструктивних особливостей було обґрунтовано доцільність використання сірого чавуну марки СЧ15 як матеріалу для виготовлення деталі. Обраний матеріал має достатню міцність, твердість, гарну оброблюваність різанням, а також високу демпфуючу здатність, що знижує вібраційні навантаження при роботі. Проведено порівняння з альтернативними матеріалами, зокрема конструкційними сталями, однак чавун показав кращі результати за критерієм «вартість–ефективність» у заданих умовах. Додатково було вивчено хімічний склад та механічні характеристики

обраного сплаву, що дозволило підтвердити його придатність до лиття по виплавлюваних моделях.

3. Розробка заготовки та обґрунтування способу її виготовлення.

Розроблена заготовка відповідає усім вимогам щодо припусків, технологічних баз та допустимих похибок. Вона виготовляється методом лиття по виплавлюваних моделях, що забезпечує високий рівень точності (6–8 мм на довжину 200 мм), мінімальні припуски на обробку та високу відтворюваність форми. У порівнянні з вільним литтям у піщані форми обраний метод дозволяє суттєво зменшити витрати на обробку, підвищити якість поверхні та уникнути дефектів типу усадкових раковин. Також було обґрунтовано вибір технологічних баз, що забезпечують точне розміщення деталі в пристрої під час обробки.

4. Визначення типу виробництва.

На основі аналізу обсягів випуску, серійності, номенклатури продукції та вартості виготовлення було встановлено, що деталь «Кронштейн» виготовляється в умовах середньосерійного виробництва. Це обумовило вибір відповідного підходу до побудови технологічного процесу: застосування універсального і спеціального ріжучого інструменту, стандартних пристроїв, можливість часткового переналагодження устаткування та впровадження верстатів з числовим програмним керуванням.

5. Розробка технологічного процесу обробки.

Було розроблено поопераційний технологічний маршрут, що включає основні види обробки: фрезерування базових поверхонь, свердління та зенкування отворів, розточування співвісних ділянок, нарізання внутрішньої різьби та чистове доведення. Визначено оптимальну послідовність операцій, яка дозволяє забезпечити поступове формування точних поверхонь, мінімізувати переустановки та забезпечити стабільну якість. Також обрано устаткування: зокрема MAZAK HCN-5000 і HAAS VF-6/50, які дозволяють автоматизувати та прискорити процес обробки з високою точністю.

6. Вибір інструменту та проектування пристрою.

Обрано набір ріжучого інструменту, до складу якого входять зенкери діаметрами 16, 18, 21 та 23 мм, твердосплавне свердло Ø4,2 мм, центрувальне свердло, мітчик М5, а також спеціальна розточувальна борштанга, яка дозволяє обробляти два співвісні отвори за один прохід. Розроблено конструкцію спеціального пристрою, який забезпечує надійне базування та затиск деталі. В пристрої використано базові пальці, притискну верхню балку та фіксацію на Т-подібних пазах, що гарантує повторюваність установки та точність позиціонування.

7. Розрахунки точності, жорсткості та режимів обробки.

Проведено розрахунок точності пристрою, що показав сумарну похибку у межах 23–25 мкм, що відповідає вимогам до обробки з 11–12 квалітетами.

Також виконано розрахунок жорсткості конструкції кронштейна з урахуванням прикладених навантажень, що підтвердив достатній запас міцності. Розраховані режими різання для кожного виду обробки (швидкість, подача, глибина) на основі фізико-механічних властивостей матеріалу і технічних характеристик верстатів, що дозволяє забезпечити необхідну продуктивність і якість.

8. Організація контролю якості.

Визначено повний комплекс заходів із контролю якості обробки: вхідний контроль заготовок, міжопераційний контроль після кожного технологічного переходу, а також вихідний контроль готової продукції. Застосовуються як ручні інструменти (штангенциркулі, мікрометри, нутроміри, калібри), так і високоточне обладнання: координатно-вимірювальна машина Mitutoyo та лазерний сканер Hexagon. Також визначено методи перевірки шорсткості та точності отворів, що дає змогу повноцінно оцінювати якість і стабільність виробництва.

9. Забезпечення охорони праці та пожежної безпеки.

У роботі розглянуто основні шкідливі та небезпечні фактори, що виникають під час обробки на металообробних верстатах, зокрема вплив рухомих частин, викид стружки, шум, вібрація, перегрів МОР. Визначено вимоги до організації робочого місця, вентиляції, освітлення, температурного режиму, а також використання засобів індивідуального захисту. Детально описано заходи щодо електробезпеки, пожежної безпеки, інструктажів та відповідальності персоналу. Запропоновані заходи відповідають вимогам чинного законодавства та стандартів безпеки праці.

10. Застосування числового програмного керування (ЧПК) У межах дипломної роботи також було реалізовано впровадження обробки із застосуванням числового програмного керування. З використанням САМ-системи ADEM побудовано траєкторію інструмента для фрезерування основних поверхонь кронштейна. Це дозволило оптимізувати процес обробки, забезпечити високу точність позиціонування та стабільність знімання припуску. У модулі візуалізації системи ADEM змодельовано рух фрези, визначено режими подачі та швидкість обертання шпинделя. Застосування ЧПК-обладнання дозволило знизити вплив людського фактора, підвищити повторюваність результатів обробки та скоротити тривалість виробничого циклу. Такий підхід повністю відповідає сучасним вимогам до цифрового виробництва в машинобудуванні.

Література:

1. Бухало В.С., Коржик В.М. Технологія конструкційних матеріалів. — К.: Либідь, 2018. — 368 с.

2. Давиденко І.В. Технологічна підготовка машинобудівного виробництва. — Харків: НТУ «ХПІ», 2020. — 284 с.
3. Косилова Т.А. Режими різання при обробці металів. — К.: Техніка, 2002. — 456 с.
4. Ковальов С.Ф. Технологічне оснащення верстатів. — Львів: Укрполіграф, 2017. — 312 с.
5. Пащенко В.П. Контроль і вимірювання в машинобудуванні. — Харків: УПП, 2019. — 296 с.
6. Соколова І.І. Охорона праці в машинобудівній галузі. — К.: Освіта, 2020. — 224 с.
7. ГОСТ 14953-80 — Зенкери циліндричні. Технічні умови.
8. ГОСТ 10902-77 — Свердла. Конструкція та розміри.
9. ГОСТ 26645-85 — Припуски на механічну обробку.
10. ГОСТ 25347-82 — Шорсткість поверхонь. Класифікація та позначення.
11. НПАОП 0.00-1.28-10 — Правила охорони праці на підприємствах машинобудування.
12. ДБН В.2.2-10:2018 — Будівлі та споруди. Виробничі будівлі.