

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять з дисципліни
«Технологічні основи автомобілебудування»
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(«Експлуатація, випробування та сервіс
автомобілів та тракторів»),
усіх форм навчання

Частина 2. Практичні заняття № 5-7

2024

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Експлуатація, випробування та сервіс автомобілів та тракторів»), усіх форм навчання. Частина 2. Практичні заняття № 5-7 / Укл. : О. М. Артюх. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. 80 с.

Укладач: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;

Рецензент: А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний за випуск: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 7
від « 5 » лютого 2024

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 107
від « 12 » лютого 2024

ЗМІСТ

Частина 2

Вступ	84
Практичне заняття № 5. Розрахунок технологічних операційних розмірів і припусків на обробку	86
5.1 Загальні відомості	86
5.1.1 Аналіз трьох характеристик точності обробки.....	86
5.1.2 Постановка задачі розрахунку операційних розмірів ...	88
5.1.3 Розрахунок величини мінімального операційного припуску	90
5.1.4 Розрахунок довжинних технологічних операційних розмірів із застосуванням теорії графів.....	91
5.1.5 Розрахунок діаметральних операційних розмірів	100
5.2 Порядок проведення практичного заняття	104
5.3 Зміст звіту	105
5.4 Контрольні запитання	108
Практичне заняття № 6. Розрахункове визначення параметрів шорсткості при обробці поверхні лезовим інструментом.....	109
6.1 Загальні відомості	109
6.2 Порядок проведення практичного заняття	117
6.3 Зміст звіту	119
6.4 Контрольні запитання	119
Практичне заняття № 7. Технологічність конструкції виробу	120
7.1 Загальні відомості	120
7.1.1 Якісна оцінка технологічності конструкції виробу.....	131
7.1.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу	132
7.2 Порядок проведення практичного заняття	135
7.3 Приклад виконання роботи	152
7.3.1 Якісне оцінювання.....	152
7.3.2 Кількісне оцінювання.....	153
7.4 Зміст звіту	157
7.5 Контрольні запитання	158
Рекомендована література	159
Основна	159
Додаткова	159

ВСТУП

Без глибокого знання теоретичних засад технології виготовлення деталей і виробу в цілому, зокрема автомобіля, неможлива належна робота на машинобудівному виробництві, правильне розв'язання виникаючих при цьому інженерних проблем.

Тому у машинобудівних вишах навчальний курс «Технологічні основи автомобілебудування» є одним із провідних у низці спеціальностей. Крім лекційних занять за цим навчальним курсом, планом передбачено проведення практичних занять, які сприяють глибокому засвоєнню студентами теоретичних знань.

Предметом дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» є вивчення закономірностей, які діють під час механічної обробки деталей та складання машин, опанування практичних навичок застосування цих закономірностей для забезпечення проектної якості виробів, найменшої їхньої собівартості, запланованого обсягу випуску тощо.

Надзвичайно важливим є зв'язок дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» з такими дисциплінами, як: «Вступ до спеціальності», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання». Вирішення технологічних питань без ґрунтовних знань з цих дисциплін взагалі не можливе.

Навчальним планом спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування», для дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» передбачено 14 годин практичних занять.

Метою практичних занять з дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» є закріплення й поглиблення теоретичних знань, а також опанування основ виконання необхідних технологічних розрахунків.

Теми пропонованих практичних занять стосуються вивчення теоретичних основ технології машинобудування, зокрема, теорії базування та розрахунку розмірних ланцюгів під час механічного оброблення та складання, розрахунку операційних розмірів під час механічного оброблення, методів забезпечення та дослідження точності обробки, а також якості поверхневого шару деталей, що має дуже важливе значення в сучасному машинобудуванні.

Кожне практичне заняття починається зі стислого викладення

необхідного теоретичного матеріалу. Усі задачі містять приклад розв'язання одного з її варіантів.

Згідно освітнього стандарту, після виконання практичних занять, студент повинен **знати**:

- основні способи обробки заготовок (механічна обробка, термічна і хіміко-термічна обробка, покриття), роль механічної обробки, призначення обробки різанням і критерії вибору припусків, геометрії і режимів різання, інструментальних матеріалів;
- основні технологічні методи механічної обробки поверхонь заготовок залежно від їхньої форми, розмірів, вимог до точності і механічних властивостей матеріалу і типу виробництва;
- призначення технологічної системи та її складових, методи досягнення точності при механічній обробці заготовок і при складанні вузлів, структуру операцій механічної обробки, норми часу та методику їх розрахунку;
- технологічні можливості металообробних верстатів, різальних інструментів, інструментів для обробки заготовок методами поверхневого пластичного деформування і верстатних пристроїв.

Практичні заняття сприяють придбання студентами:

- **умінь** розробляти нескладні технологічні процеси виробництва різнотипних деталей з урахуванням типу виробництва (визначати тип виробництва і форму організації виробництва, вибирати методи обробки, різальні інструменти, верстати і оснастку); оформляти технологічні та конструкторські документи;
- **навичок** аналізу технологічності конструкції деталі; методами розрахунків припусків, режимів обробки деталі і визначення норм часу на виконання технологічної операції; способами виготовлення заготовки і призначення послідовності операцій.

Пропонований перелік тем практичних робіт можна використовувати не тільки під час практичних занять, а й для виконання індивідуальних домашніх завдань, а також для самостійної роботи студентів. Він може бути корисним також для курсового проектування і виконання дипломних робіт.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ РОЗМІРІВ І ПРИПУСКІВ НА ОБРОБКУ

Мета: Вивчення методики розрахунку технологічних операційних розмірів під час виготовлення деталей.

5.1 Загальні відомості

5.1.1 Аналіз трьох характеристик точності обробки

З конструктивної точки зору більшість машинобудівних деталей може бути представлена у вигляді різних комбінацій двох елементарних поверхонь (плоских поверхонь і поверхонь обертання) і різного роду фасонних поверхонь.

Завдання проєктування технологічного процесу механічного оброблення деталі містить у собі обмежену множину дрібніших завдань проєктування процесів оброблення окремих сполучень поверхонь деталі. Кожне з цих завдань, зі свого боку, може бути представлене у вигляді обмеженої множини локальних завдань обробки окремих елементарних або фасонних поверхонь. Таке уявлення процесу механічного оброблення всієї деталі дає змогу розглядати питання забезпечення якості та точності стосовно кожної з її елементарних або фасонних поверхонь, що значно спрощує розв'язуване завдання.

З точки зору розташування припуску, що видаляється, всі поверхні деталі доцільно ділити на такі:

- поверхні з одностороннім або несиметричним розташуванням припуску на обробку (плоскі поверхні, торцеві та ін.);
- поверхні з двостороннім або симетричним розташуванням припуску на обробку (поверхні обертання, поверхні пазів тощо).

З урахуванням перерахованих вище положень точність механічного оброблення будь-якої деталі повинна визначатися такими трьома характеристиками:

- точність поверхні, що піддається обробці (діаметр вала, діаметр отвору тощо).

- точність розміру, що координує положення оброблюваної поверхні відносно інших поверхонь (дана точність може характеризуватися також величиною биття, неспіввісністю та іншими параметрами, що визначають взаємне розташування поверхонь).
- точність форми поверхні, що характеризується допустимими відхиленнями за формою поверхні (овальність, бочкоподібність та ін.), а також відхиленнями за неперпендикулярністю і непаралельністю поверхонь.

Допустимі відхилення за формою поверхонь можуть враховуватися відповідним допуском на розмір самої поверхні або допуском на координуючий розмір. В окремих випадках, коли спотворення форми деталі перевищує величину допуску на координуючий розмір або не залежить від механічного оброблення (зміщення штампів під час виготовлення заготовки, викривлення деталі після термооброблення тощо), а також коли потрібно витримати відхилення розташування поверхонь у жорсткіших межах, ніж допуск на розмір, величину відхилення слід зазначити в робочому кресленні деталі, а також спеціальними примітками в операційних картах технологічного процесу.

Для поверхонь з одностороннім або несиметричним розташуванням припуску задана точність оброблення, як правило, визначається величиною допуску на координуючий розмір. Власний розмір поверхні в цьому випадку відсутній.

Допустимі відхилення форми і розташування поверхонь (якщо окремо не задані в кресленні) враховуються величиною допуску на координуючий розмір.

Точність обробки поверхонь із двостороннім або симетричним розташуванням припуску переважно визначається такими характеристиками:

- величиною допуску на розмір оброблюваної поверхні (діаметр вала, отвору тощо);
- величиною допуску на координуючий розмір або допустимою величиною відхилення розташування оброблюваних поверхонь щодо інших поверхонь. При цьому величина допустимого биття і неспіввісності розглядається як координуючий розмір.

Допустимі відхилення форми поверхні, а також непаралельність

і неперпендикулярність враховуються допуском на розмір самої поверхні або допуском на координуючий розмір.

5.1.2 Постановка задачі розрахунку операційних розмірів

Під час розрахунку операційних розмірів приймаємо, що точність оброблення на кожній з операцій повинна забезпечуватися шляхом автоматичного отримання розмірів на попередньо налаштованому обладнанні. У цьому разі операційні розміри будуть замикаючими ланками або технологічних, або конструкторських розмірних ланцюгів. Останні виникають тоді, коли на остаточних операціях витримувані операційні розміри збігаються з креслярськими розмірами.

З урахуванням прийнятого вище положення завдання розрахунку операційних технологічних розмірів зводиться до правильного визначення величин операційних припусків і операційних допусків з урахуванням особливостей розробленої технології. Процес розрахунку технологічних розмірів і допусків ґрунтується на положенні теорії розмірних ланцюгів і базується на аналізі розмірного взаємозв'язку конструкторських і операційних технологічних розмірів і припусків на обробку.

Зазначений взаємозв'язок представляється системою рівнянь номінальних значень лінійних розмірних ланцюгів і нерівностей допусків. Метою виконання розрахунку є визначення величин оптимальних операційних припусків, а також значень допусків на операційні технологічні розміри, що забезпечують отримання конструкторських розмірів у межах заданих допусків.

Розрахунок операційних розмірів під час проектування нового технологічного процесу як пряме (проектне) завдання теорії розмірних ланцюгів може бути виконано з використанням одного з двох найпоширеніших методів розрахунку технологічних розмірних ланцюгів: імовірнісного методу або методу «максимуму-мінімуму».

Імовірнісний метод дає змогу врахувати випадковий характер розподілу похибок складових ланок під час їхнього оброблення та ймовірність різних поєднань відхилень складових ланок. Це дає змогу розширити допуски на складові ланки під час розв'язання проектної задачі порівняно з методом «максимуму-мінімуму». Однак для використання ймовірнісного методу необхідні дані, які потребують

уточнення, а іноді й проведення досліджень в умовах конкретного виробництва. Розрахункові залежності досить складні й існує ймовірність випуску браку.

Розрахунок за методом «максимуму-мінімуму» передбачає наявність найнесприятливішого поєднання збільшувальних і зменшувальних розмірів у розмірному ланцюзі. У цьому разі всі розміри, що збільшують, приймають максимальні значення, а розміри, що зменшують, - мінімальні і навпаки. У реальності ймовірність таких поєднань вкрай мала, особливо в багатоланкових розмірних ланцюгах.

Жорсткість прийнятих умов під час розв'язання проєктної задачі в окремих випадках може призводити до необґрунтованого посилення допусків складових ланок розмірного ланцюга, однак, з іншого боку, цей метод має такі переваги, як простота виконання розрахунків і гарантія виключення браку.

У більшості випадків, число складових ланок у технологічних розмірних ланцюгах не перевищує 4...5, тому для розрахунку технологічних операційних розмірних ланцюгів кращим є використання методу «максимуму-мінімуму».

Під час розв'язання прямої задачі за методом «максимуму-мінімуму» враховують такі основні правила:

- величина замикальної ланки визначається алгебраїчним підсумовуванням величин складових ланок;
- величина допуску замикальної ланки визначається арифметичним підсумовуванням допусків складових ланок, причому ця сума не повинна перевищувати величини допуску на замикальну ланку.

Для виконання розрахунку операційних розмірів необхідна наявність базового варіанта технологічного процесу. Якщо в результаті виконання розрахунку буде зроблено висновок, що операційні розміри не забезпечують задану кресленням точність деталі, то може знадобитися перероблення наявного або розробка нового варіанта технологічного процесу обробки.

Потім для уточненого варіанта технологічного процесу знову виконується розрахунок операційних розмірів. Ці дії повторюються доти, доки, ґрунтуючись на результатах розрахунку, не буде зроблено висновок про те, що технологічний процес гарантує забезпечення заданої кресленням точності виготовлення деталі.

5.1.3 Розрахунок величини мінімального операційного припуску

Під припуском розуміється шар матеріалу, що підлягає видаленню з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні.

Мінімальний припуск на обробку $Z_{\min}$ необхідний для усунення дефектів заготовки і забезпечення можливості переходу від заготовки до деталі за наявності похибки встановлення заготовки і розподілу припусків на поверхнях, що підлягають обробці, яке відбулося в результаті вибору технологічних баз для першої операції. Існують два методи розрахунку величини мінімального припуску на обробку.

Під час використання **розрахунково-аналітичного методу** визначають складові мінімальної величини припуску, яку необхідно мати по кожній поверхні для компенсації відповідних похибок.

У цьому випадку мінімальна величина припуску для i -ї операції (переходу) обробки даної поверхні визначається:

- при односторонньому (несиметричному) розташуванні припуску

$$Z_{\min_i} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i; \quad (5.1)$$

- при двосторонньому (симетричному) розташуванні припуску

$$2Z_{\min_i} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i), \quad (5.2)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, отримана на даній поверхні після її обробки на попередній операції (переході), мкм;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отримана на попередній операції (переході), мкм;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – сумарне відхилення розташування поверхні, отримане на попередній операції (переході), мкм;

ε_i – похибка встановлення заготовки на операції, що виконується (переході), мкм.

Для поопераційного визначення доданків формул (5.1) і (5.2) можливе використання нормативно-довідкових даних.

В окремих випадках, наприклад коли не потрібна особлива точність при визначенні величин мінімального припуску, значення $Z_{\min}$ може бути визначено з використанням **дослідно-статистичного**

методу за табл. 5.1 або аналогічними таблицями з довідників.

Таблиця 5.1 – Розміри мінімальних припусків

Мінімальні припуски на чорнове підрізання торців, фрезерування і стругання	
Найбільший габаритний розмір заготовки, мм	Зі сталей, отриманих гарячим штампуванням, припуск $Z_{\min}$ на бік, мм
До 30	0,9
Вище 30 до 120	1,0
Вище 120 до 260	1,2
Мінімальні припуски на чистове підрізання торців і фрезерування	
Діаметр торця, що підрізається, або довжина поверхні під час фрезерування, мм	Припуск $Z_{\min}$ на бік, мм
До 30	0,30
Вище 30 до 120	0,40
Вище 120 до 260	0,55
Мінімальні припуски на шліфування і тонке фрезерування	
Діаметр оброблюваного торця або довжина поверхні, мм	Припуск $Z_{\min}$ на бік, мм
До 30	0,10
Вище 30 до 120	0,15
Вище 120 до 260	0,20

5.1.4 Розрахунок довжинних технологічних операційних розмірів із застосуванням теорії графів

Довжинний операційний розмір – це розмір, що характеризує поверхню з одностороннім розташуванням припуску (площини, торцеві поверхні та ін.), а також розміри між осями.

Вихідними даними для розрахунку довжинних операційних розмірів є:

- креслення деталі;
- креслення заготовки (за наявності);
- план обробки або безпосередньо технологічні карти, що містять ескізи оброблюваної деталі із зазначенням

технологічних баз, операційних розмірів у вигляді розмірних ліній, типу і моделі обробного обладнання, розмірної точності обробки (квалітету) і шорсткості оброблюваних поверхонь для кожної операції.

Розрахунок довжинних операційних розмірів ведеться в наступному порядку.

I. Складання схеми обробки. На підставі даних креслень деталі та заготовки (за наявності), а також маршрутного технологічного процесу складається схема обробки деталі, приклад якої показаний на рис. 5.1. Схема обробки є ескізом деталі із зазначенням всіх креслярських розмірів, припусків і операційних розмірів.

На схемі (нижче ескізу) проводиться горизонтальна лінія, на яку вертикальними лініями проектується всі без винятку поверхні: поверхні готової деталі, поверхні заготовки і всі проміжні поверхні, що утворюються на операціях. На горизонтальній поверхні всі розміри нумеруються зліва направо.

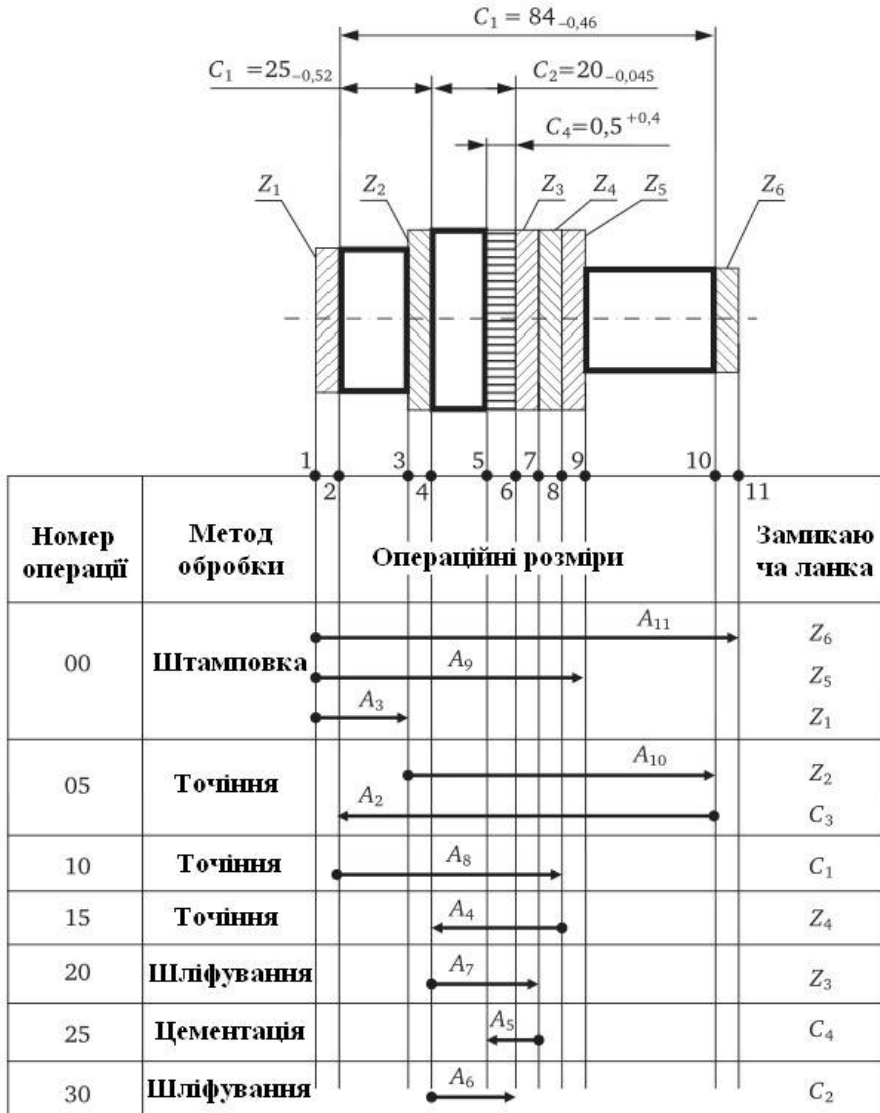
Над ескізом вказуються всі креслярські розміри деталі в одному напрямку (крім фасок), включаючи глибину термозміцнюваного шару, по кожній поверхні окремо. Креслярські розміри з допусками позначаються літерою *C* з нижнім індексом, що відповідає порядковому номеру креслярського розміру (наприклад, C_1 , C_2 та ін.).

Також над ескізом деталі на схемі вказуються всі операційні припуски. Вони позначаються буквою *Z* з нижнім індексом, який відповідає порядковому номеру припуску (наприклад, Z_1 , Z_2 тощо).

Нанесення припусків на схему проводиться з кінцевих операцій у порядку, зворотному ходу технологічного процесу. Розташування цифр рекомендується приймати в порядку рахунку зліва направо.

У правильно складеній схемі обробки кількість поверхонь завжди на одиницю більша за сумарну кількість креслярських розмірів і припусків.

Нижня частина схеми обробки містить таблицю, у якій вказуються номери операцій та методи обробки. При заповненні таблиці операції, які непов'язані зі зміною розмірів у цьому напрямі, може бути виключені. У таблиці під ескізом вказуються розмірні лінії, що характеризують розміри заготовки та операційні розміри у послідовності їх виконання. Односторонні стрілки розмірних ліній орієнтують строго у бік оброблюваних поверхонь.



розмір C_4 відповідає глибині цементованого шару (за кресленням);
розмір A_5 – глибині цементованого шару для термічного цеху

Рисунок 5.1 – Схема обробки деталей

Для розмірних ліній заготовки напрямок стрілок вибирається довільно. При цьому до однієї з поверхонь не повинна підходити жодна стрілка (поверхня 1 на рис. 5.1), до інших поверхонь повинна підходити тільки одна стрілка.

Розміри заготовки та операційні розміри рекомендується позначати літерами A з індексами, що відповідають номерам тих поверхонь, до яких спрямована стрілка (наприклад, A_{11} , A_2 і т.п.; до поверхні 1 на рис. 5.1 не підходить жодної стрілки, тому немає і позначення A_1). Позначення замикаючих ланок розмірних ланцюгів будуть пропущені пізніше, після формування графа розмірних ланцюгів.

Після складання схеми обробки для подальших розрахунків необхідно визначити мінімальні величини операційних припусків з використанням одного з раніше перерахованих методів.

II. Побудова графа вихідних структур. Даний граф відповідає вихідній структурі, утвореній зв'язками між поверхнями у вигляді креслярських розмірів та припусків. Вершини графа характеризують поверхні деталі з відповідними номерами, а ребра — креслярські розміри та припуски. Орієнтація ребер (напрямок стрілок) графа вихідних структур вибирається довільно. Для схеми обробки, розглянутої на рис. 5.1, граф вихідних структур набуде вигляду, представленого на рис. 5.2.

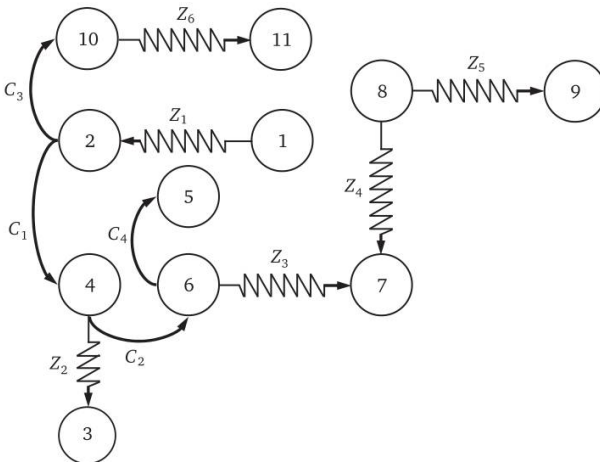


Рисунок 5.2 – Граф вихідних структур

III. Побудова графа похідних структур. Даний граф відповідає похідній структурі, утвореній зв'язками між поверхнями у вигляді розмірів заготовки та операційних розмірів. Вершини графа характеризують поверхні деталі з відповідними номерами, а ребра — операційні розміри та розміри заготовки.

Побудову графа починають із поверхні, до якої не підходить жодної стрілки. Орієнтація ребер графа похідних структур має суворо відповідати напрямку відповідних стрілок на побудованій раніше схемі обробки. На рис. 5.3 показано граф похідних структур для схеми обробки, представленої на рис. 5.1.

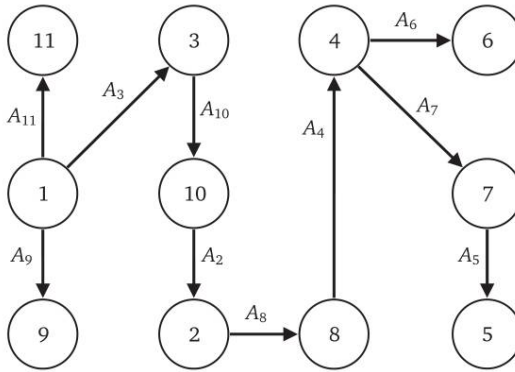


Рисунок 5.3 – Граф похідних структур

IV. Побудова графа розмірних ланцюгів. Даний граф (рис. 5.4) утворюється шляхом накладання поєднання графа похідних структур (рис. 5.3) з графом вихідних структур (рис. 5.2). За графом розмірних ланцюгів досить легко можна встановити зв'язок операційних розмірів, операційних припусків та креслярських розмірів на підставі теорії розмірних ланцюгів. Для того, щоб граф розмірних ланцюгів повністю змодельовав функції креслення деталі та технології, на його ребрах необхідно проставити величини допусків, причому **на графі проставляється лише абсолютна величина допуску**.

На ребрах графа ставиться знак «+», якщо стрілка ребра спрямована з вершини графа найменшим номером у вершину з великим номером, і знак «-», якщо стрілка спрямована у протилежний бік. Допуски на креслярські розміри призначаються відповідно до креслення деталі.

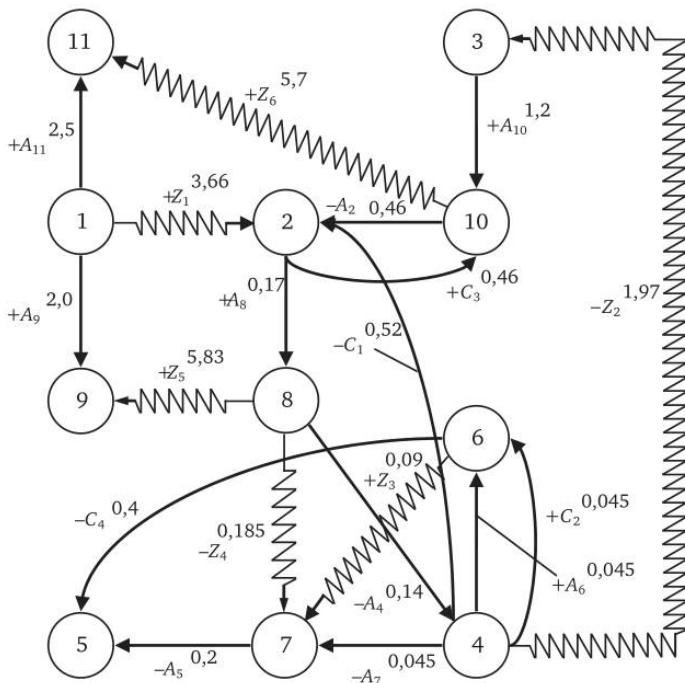


Рисунок 5.4 – Граф розмірних ланцюгів

Під час призначення допусків на операційні розміри та розміри заготовки діють наступним чином.

1. Наближено визначають величини розмірів, використовуючи креслярські розміри та припуски. Для розглянутого прикладу отримаємо:

$$\begin{aligned} A_6 &= C_2; \\ A_5 &= C_4 + Z_3; \\ A_7 &= C_2 + Z_3 \text{ і т.д.} \end{aligned}$$

2. За таблицями економічної точності для відповідного методу обробки вибирають допуски на операційні розміри. Допуски на розміри заготовки призначаються, виходячи зі способу її отримання.

При призначенні допусків на операційні розміри та розміри заготовки необхідно враховувати таке:

- при витримуванні розміру від необробленої поверхні (у

прикладі це розмір A_{10}) допуск на розмір визначається за формулою:

$$T_{\text{оп}} = \frac{T_{\text{заг}} + T_{\text{м}}}{2}, \quad (5.3)$$

де $T_{\text{заг}}$ – допуск на відповідний розмір заготовки;

$T_{\text{м}}$ – допуск на обробку на цій операції, призначений за таблицями економічної точності методів обробки;

- допуски на деякі операційні розміри обмежені допуском на креслярський розмір, наприклад, у цьому випадку: $C_3 = A_2$; $C_2 = A_6$; $C_1 = A_8 - A_4$ тощо, тому повинні дотримуватися нерівності: $TC_3 \geq TA_2$, $TC_2 \geq TA_6$, $TC_1 \geq TA_8 + TA_4$ тощо.

3. Починаючи з останньої операції, вибирається такий розмірний ланцюг, до якого входить лише один невідомий — операційний розмір.

Замикаюча ланка цього розмірного ланцюга заноситься в схему обробки. Замикаючими ланками можуть бути лише відомі параметри — креслярські розміри і величини припусків. Якщо замикаючий розмір не дорівнює сумі складових ланок розмірного ланцюга, то необхідно або зменшити допуски на складові ланки, або змінити схему обробки за допомогою коригування маршруту обробки.

4. Проставивши допуски на операційні розміри та перевіривши їх, визначають допуски на коливання величини припусків. Мінімальну величину припуску було визначено раніше з використанням розрахунково-аналітичного методу, а максимальний припуск визначається допусками на операційний розмір.

V. Заповнення відомості розрахунку операційних розмірів.

Безпосередньо розрахунок операційних розмірів проводиться у відомості розрахунку операційних розмірів (табл. 5.2) у наступному порядку.

1. Операційні розміри розглядаються в послідовності, зворотній ходу технологічного процесу (в рамках однієї операції розміри можна розглядати в довільному порядку). При цьому у графах 4 та 5 відомості вказують позначення операційного розміру та прийнятий на нього допуск.

2. У графу 6 вносять рівняння розмірного ланцюга, складене для аналізованого операційного розміру на підставі графа розмірних ланцюгів (рис. 5.4).

Таблиця 5.2 – Відомість розрахунку операційних розмірів (фрагмент)

Вихідні розміри			Операційні розміри							
Позначення розмірів	Заданий початковий розмір, мм	Отриманий вихідний розмір з урахуванням коригування, мм		Позначення розмірів	Величина прийнятого допуску, мм	Рівняння розмірного ланцюга	Розрахунковий операційний розмір, мм			Прийнятий операційний розмір, мм
		max	min				max	min		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C ₂	20,0 _{0,045}	20,0	19,955	A ₆	-0,045	3 ₂ = A ₆	20,0	19,955	—	20,0 _{0,045}
Z ₃	0,1 ^{+0,09}	0,245	0,155	A ₇	-0,045	Z ₃ = A ₇ - A ₆	20,145	20,1	+ 0,055	20,0 _{0,045}

Для рівняння обирається розмірний ланцюг із замикаючою ланкою, вказаною у схемі обробки (рис. 5.1). При складанні рівнянь можна керуватися наступним правилом: при обході контуру розмірного ланцюга в напрямку стрілки замикаючої ланки всі ребра, що входять в цей контур, беруться зі своїм знаком, якщо напрям обходу збігається з напрямком їх стрілок, і з протилежним знаком – в іншому випадку.

3. У графі 1 записують позначення замикаючої ланки (припуску або креслярського розміру) розмірного ланцюга, у графі 2 – величину замикаючої ланки з допуском, що дорівнює сумі допусків з ланок, що залишають.

4. На підставі рівняння розмірного ланцюга з графі 6 визначають розрахункові граничні величини операційного розміру та заносять їх до графі 7. Нижче представлений розрахунок граничних значень двох операційних розмірів для прикладу.

Слід звернути увагу на необхідність розв'язування рівняння розмірного ланцюга щодо замикаючої ланки перед визначенням розрахункових значень невідомого операційного розміру.

5. Прийнятий операційний розмір повинен мати стандартне технологічне закінчення для можливості застосування стандартного вимірювального та ріжучого інструменту.

Розрахунок граничних значень двох операційних розмірів:

$$C_2 = A_6;$$

$$C_{2\max} = A_{6\max};$$

$$C_{2\min} = A_{6\min};$$

$$A_{6\max} = C_{2\max} = 20,0 \text{ мм};$$

$$A_{6\min} = C_{2\min} = 20,0 \text{ мм};$$

$$Z_3 = A_7 - A_6;$$

$$Z_{3\max} = A_{7\max} - A_{6\min};$$

$$Z_{3\min} = A_{7\min} - A_{6\max};$$

$$A_{7\max} = C_{3\max} + A_{6\min};$$

$$A_{7\min} = C_{3\min} + A_{6\max};$$

$$A_{7\max} = 0,19 + 19,955 = 20,145 \text{ мм};$$

$$A_{7\min} = 0,1 + 20,0 = 20,01 \text{ мм}.$$

Якщо номінальне значення операційного розміру має нестандартне закінчення, виконується його коригування до найближчого стандартного значення (табл. 5.3).

Коригування проводиться строго за рахунок замикаючої ланки

розмірного ланцюга. Коригування виконується тільки у бік збільшення припуску, якщо замикаюча ланка – припуск, або ж у межах різниці розмірів із графі 7 відомості, якщо замикаюча ланка – креслярський розмір. Величина коригування припуску вказується зі знаком у графі 8, а прийнятий операційний розмір у графі 9.

Після цього проводиться коригування припуску, і отримані таким чином найбільше і найменше значення вказуються в графі 3. Так, у цьому прикладі ми отримали, що $A_{7\max} = 20,145$ мм, $A_{7\min} = 20,1$ мм, тобто $A_7 = 20,145_{-0,045}$ мм.

Однак, як випливає з табл. 5.3, номінальне значення аналізованого розміру 50,145 мм не є стандартним. Замикаючою ланкою розмірного ланцюга в даному випадку є припуск Z_3 , тому коригування слід проводити у бік його збільшення.

Операційний розмір A_7 є збільшувальною ланкою розмірного ланцюга який розглядається, тому коригуємо його у бік збільшення до найближчого стандартного значення 20,2 мм. Таким чином, коригування операційного розміру становитиме + 0,055 мм (графа 8 відомості), а прийняте його значення $-20,2_{-0,045}$ мм (графа 9 відомості).

Для коригування припуску підставляємо прийняті значення операційного розміру рівняння розмірного ланцюга.

Отже отримаємо:

$$Z_{3\max} = 20,2 - 19,955 = 0,245 \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = 20,155 - 20,0 = 0,155 \text{ мм (графа 3 відомості)}.$$

5.1.5 Розрахунок діаметральних операційних розмірів

Під час обробки деталей типу тіл обертання величина операційного припуску залежить від цілої низки чинників, які складно визначити розрахунковим шляхом: коливання координуючого розміру на попередній операції, деформації деталі під час термооброблення та інші причини, які зумовлюють зміну просторових відхилень і похибку встановлення деталі в пристосуванні.

Тому застосування теорії графів для розрахунку операційних розмірів під час обробки поверхонь обертання недоцільне. У цьому випадку розрахунок операційних розмірів слід проводити із застосуванням статистичного методу визначення величини мінімального операційного припуску залежно від обраного способу оброблення і від розмірів поверхні.

Для коректного розрахунку граничних значень діаметральних операційних розмірів рекомендується керуватися схемами, представленими на рис. 5.5 ÷ 5.6.



Рисунок 5.5 – Схема розташування операційних припусків і допусків під час обробки зовнішньої циліндричної поверхні (вала)

Під час розрахунку діаметральних операційних розмірів для кожної поверхні необхідно скласти і заповнити самостійну відомість розрахунку (табл. 5.4).

Формування відомості здійснюють у такому порядку.

1. У графі 1 вказують номери операцій, згідно з розробленою технологією, на яких проводиться обробка поверхні, що розглядається.

2. У графі 2, відомості розрахунку, вказують метод обробки відповідно до операційної карти.

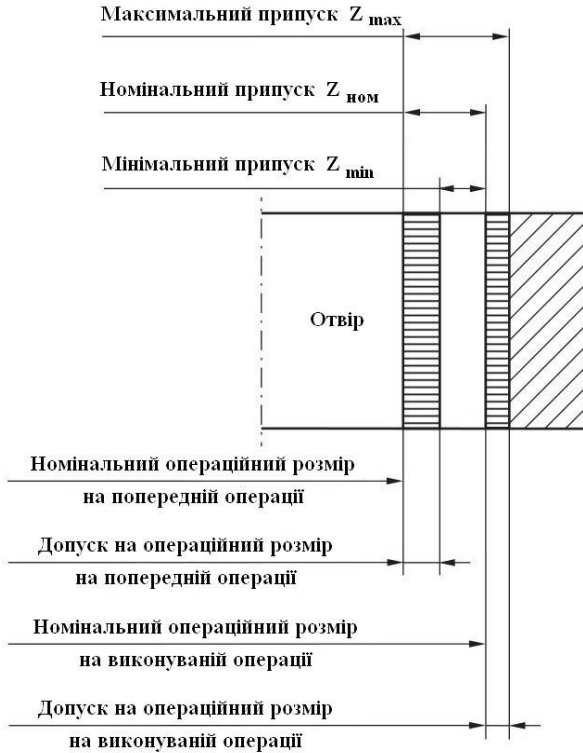


Рисунок 5.6 – Схема розташування операційних припусків і допусків під час обробки внутрішньої циліндричної поверхні (отвору)

3. У графах 3 і 4 вказують відповідно позначення і величину мінімального діаметрального операційного припуску, причому припуск розміщують у рядку відомості, який відповідає тій операції, на якій цей припуск зніматиметься, і позначають його з індексом номера цієї операції. Під час зазначення величини припуску слід врахувати, що припуск на виконувану операцію має бути більшим за величину допуску на попередній операції, причому в допусках на заготовку слід враховувати тільки відхилення допуску, спрямоване в тіло деталі.

4. У графі 5 вказують позначення операційного розміру з індексом номера даної операції.

Таблиця 5.4 – Відомість розрахунку операційних розмірів при обробці отвору. Діаметр отвору за кресленням

№ операції	Найменування операції	Мінімальний операційний припуск		Операційний розмір		
		Позначення	Величина, мм	Позначення	Формула для розрахунку	Прийнятий розмір, мм
00	Штамповка	—	—	D_0	$D_0 = D_5 + Z_5$	$\varnothing 85,6^{+4,0}_{-0,4}$
05	Точіння чорнове	Z_5	2,3	D_5	$D_5 = D_{10} + Z_{10}$	$\varnothing 82,8_{-0,4}$
10	Точення чистове	Z_{10}	1,5	D_{10}	$D_{10} = D_{15} + 2Z_{15}$	$\varnothing 80,8_{-0,06}$
15	Шліфування попереднє	Z_{15}	0,3	D_{15}	$D_{15} = D_{20} + 2Z_{20}$	$\varnothing 80,3_{-0,06}$
20	Шліфування остаточне	Z_{20}	0,2	D_{20}	$D_{20} = \text{креслярський розмір}$	$\varnothing 80_{-0,02}$

5. Згідно з маршрутом обробки розглянутої поверхні складають рівняння для розрахунку операційних розмірів і вносять їх у графу 6. Шляхом розв'язання рівняння графі 6 знаходять розрахункову величину даного операційного розміру. Цей процес слід починати з кінцевої операції і продовжувати в послідовності, зворотній ходу обробки. На кінцевій операції операційний розмір відповідає креслярському. У тому разі, якщо після розв'язання рівняння графі 6 виявилося, що операційний розмір не має нормального технологічного закінчення, то розмір слід скоригувати до нормального закінчення відповідно до табл. 5.3. Коригування слід проводити за рахунок збільшення припуску.

6. Після прийняття величини операційного розміру на нього призначають допуск залежно від методу обробки і розмірів оброблюваної деталі за таблицями економічної точності методів обробки. Прийнятий операційний розмір з відхиленнями заносять у графу 7. Відхилення завжди проставляються в тіло деталі: для зовнішніх поверхонь обертання (валів) зі знаком «-», а для внутрішніх (отворів) зі знаком «+».

Нижче наведено приклад розрахунку граничних значень для операційного розміру.

Аналізуючи схему розташування операційних припусків і

допусків для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь (валів) (рис. 5.7), отримаємо:

$$D_{15\min} = D_{20\min} + 2Z_{20} = 80 + 0,2 = 80,2 \text{ мм}; \quad (5.4)$$

$$D_{15\max} = D_{15\min} + TD_{15} = 80,2 + 0,06 = 80,26 \text{ мм}. \quad (5.5)$$

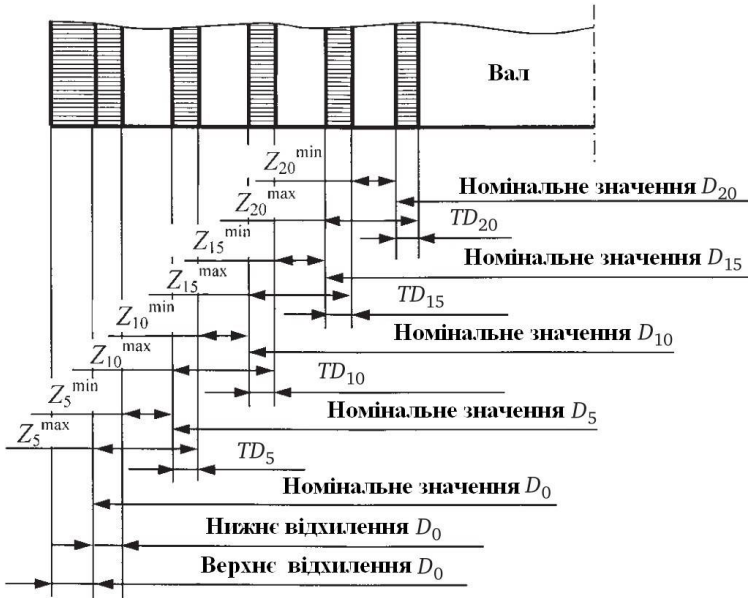


Рисунок 5.7 – Схема розташування операційних припусків і допусків при обробці вала

Таким чином, $D_{15} = \varnothing 80,26_{-0,06}$ мм. Однак номінальне значення розміру (80,26 мм) не є стандартним (табл. 5.3) і потребує коригування. Коригування виконуємо в бік збільшення припуску $2Z_{20}$, тобто в бік збільшення розміру. Використовуючи табл. 5.3, приймаємо номінальне значення розміру рівним 80,3 мм.

Отже, $D_{15} = \varnothing 80,3_{-0,06}$ мм.

5.2 Порядок проведення практичного заняття

Для деталі «вал» (рис. 5.8) розроблено базовий маршрутний технологічний процес, представлений у табл. 5.5.

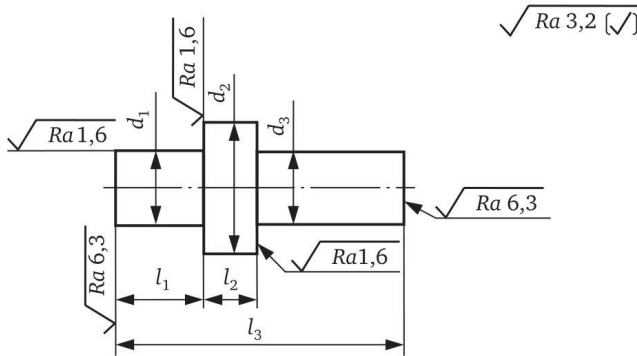


Рисунок 5.8 – Ескіз деталі «вал»

1. Відповідно до варіанта завдання (табл. 5.6) виконати поопераційний розрахунок величин мінімальних операційних припусків. Величини мінімальних припусків мають бути розраховані для кожної оброблюваної поверхні.

2. Побудувати схему обробки деталі відповідно до виданого варіанта.

3. Побудувати окремо граф вихідних структур і граф похідних структур на основі раніше розробленої схеми обробки деталі.

4. Побудувати граф розмірних ланцюгів із зазначенням знаків і допусків на всіх ребрах графа.

5. Виконати розрахунок і заповнити відомість розрахунку операційних розмірів.

6. Зробити висновки за роботою, що відображають картину розподілу припусків на обробку та аналіз якості базового варіанта технологічного процесу. Запропонувати можливі варіанти корекції.

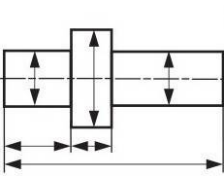
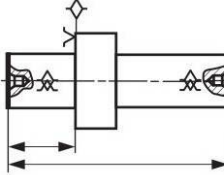
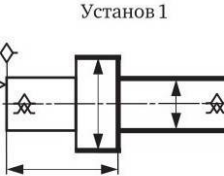
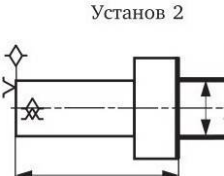
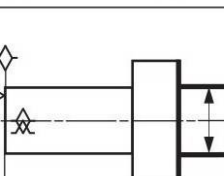
5.3 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- найменування роботи та її мету;
- креслення деталі та маршрутний технологічний процес її обробки;
- усі розрахункові залежності, графіки і таблиці, пов'язані з

- розрахунком операційних розмірів і припусків на обробку;
- висновки з виконаної роботи.

Таблиця 5.5 – Маршрутний технологічний процес обробки деталі «вал»

Номер і найменування операції	Ескіз обробки	Обладнання
00. Заготівельна		КГШП
05. Фрезерно-центрувальна		МР-77
10. Токарна	Установ 1 	16К20
	Установ 2 	
15. Шліфувальна		ЗБ15

Таблиця 5.6 – Варіанти завдань для самостійної роботи

Номер варіанту	Розміри деталі «вал» за кресленням, мм					
	l_1	l_2	l_3	D_1	D_2	D_3
1	25 _{-0,07}	20 _{-0,021}	84 _{-0,3}	Ø20 _{-0,033}	Ø60 _{-0,1}	Ø15 _{-0,058}
2	25 _{-0,11}	20 _{-0,033}	84 _{-0,46}	Ø20 _{-0,043}	Ø60 _{-0,16}	Ø15 _{-0,090}
3	25 _{-0,07}	20 _{-0,043}	84 _{-0,74}	Ø20 _{-0,07}	Ø60 _{-0,25}	Ø15 _{-0,15}
4	25 _{-0,11}	20 _{-0,021}	84 _{-0,46}	Ø20 _{-0,021}	Ø60 _{-0,1}	Ø15 _{-0,058}
5	25 _{-0,11}	20 _{-0,033}	84 _{-0,74}	Ø20 _{-0,033}	Ø60 _{-0,25}	Ø15 _{-0,090}
6	25 _{-0,07}	20 _{-0,033}	84 _{-0,74}	Ø20 _{-0,021}	Ø60 _{-0,25}	Ø15 _{-0,15}
7	85 _{-0,12}	80 _{-0,03}	200 _{-0,4}	Ø50 _{-0,025}	Ø80 _{-0,1}	Ø40 _{-0,084}
8	85 _{-0,12}	80 _{-0,046}	200 _{-0,4}	Ø50 _{-0,039}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,13}
9	85 _{-0,19}	80 _{-0,046}	200 _{-0,4}	Ø50 _{-0,052}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
10	85 _{-0,19}	80 _{-0,062}	200 _{-1,0}	Ø50 _{-0,052}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,13}
11	85 _{-0,12}	80 _{-0,046}	200 _{-0,63}	Ø50 _{-0,025}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
12	85 _{-0,12}	80 _{-0,062}	200 _{-0,63}	Ø20 _{-0,021}	Ø60 _{-0,25}	Ø15 _{-0,15}
13	25 _{-0,07}	80 _{-0,046}	200 _{-0,63}	Ø50 _{-0,052}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
14	35 _{-0,084}	45 _{-0,025}	100 _{-0,3}	Ø50 _{-0,052}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
15	35 _{-0,13}	45 _{-0,039}	100 _{-0,46}	Ø30 _{-0,021}	Ø60 _{-0,1}	Ø25 _{-0,07}
16	35 _{-0,084}	45 _{-0,052}	100 _{-0,74}	Ø30 _{-0,033}	Ø60 _{-0,16}	Ø25 _{-0,11}
17	35 _{-0,13}	45 _{-0,025}	100 _{-0,74}	Ø30 _{-0,043}	Ø60 _{-0,1}	Ø25 _{-0,11}
18	35 _{-0,13}	45 _{-0,039}	100 _{-0,74}	Ø20 _{-0,021}	Ø80 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
19	35 _{-0,084}	45 _{-0,039}	100 _{-0,46}	Ø30 _{-0,033}	Ø60 _{-0,1}	Ø40 _{-0,084}
20	25 _{-0,07}	80 _{-0,046}	200 _{-1,0}	Ø30 _{-0,033}	Ø60 _{-0,25}	Ø40 _{-0,084}
21	40 _{-0,084}	50 _{-0,025}	130 _{-0,35}	Ø45 _{-0,025}	Ø55 _{-0,1}	Ø50 _{-0,084}
22	40 _{-0,13}	50 _{-0,039}	130 _{-0,54}	Ø45 _{-0,039}	Ø55 _{-0,16}	Ø50 _{-0,130}
23	40 _{-0,084}	50 _{-0,052}	130 _{-0,87}	Ø45 _{-0,052}	Ø55 _{-0,1}	Ø50 _{-0,130}
24	40 _{-0,084}	50 _{-0,039}	130 _{-0,54}	Ø45 _{-0,025}	Ø55 _{-0,1}	Ø50 _{-0,130}
25	40 _{-0,13}	50 _{-0,025}	100 _{-0,46}	Ø30 _{-0,043}	Ø80 _{-0,16}	Ø25 _{-0,11}
26	40 _{-0,13}	50 _{-0,052}	130 _{-0,35}	Ø50 _{-0,052}	Ø60 _{-0,16}	Ø40 _{-0,084}
27	40 _{-0,13}	50 _{-0,025}	130 _{-0,54}	Ø20 _{-0,033}	Ø80 _{-0,1}	Ø40 _{-0,084}
28	40 _{-0,13}	50 _{-0,052}	130 _{-0,87}	Ø50 _{-0,025}	Ø60 _{-0,1}	Ø25 _{-0,11}
29	35 _{-0,084}	45 _{-0,039}	130 _{-0,35}	Ø45 _{-0,025}	Ø60 _{-0,16}	Ø15 _{-0,058}
30	35 _{-0,13}	80 _{-0,046}	200 _{-0,63}	Ø20 _{-0,021}	Ø60 _{-0,25}	Ø15 _{-0,058}

У процесі здавання звіту студент повинен дати відповіді на

поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними в розд. 5.1 теоретичними відомостями.

5.4 Контрольні запитання

1. Що є основною метою розрахунку технологічних операційних розмірів?
2. Перелічіть найпоширеніші методи розрахунку технологічних розмірних ланцюгів. Укажіть найбільш раціональну сферу їхнього застосування та назвіть їхні переваги й недоліки.
3. З якою метою виконується розрахунок припусків під час розроблення технологічного процесу?
4. Чому дорівнює величина припуску, що видається при свердлінні отвору?
5. За яких умов можуть не враховуватися окремі складові (укажіть які саме) мінімального припуску?

Література

[1]-[5].

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПРИ ОБРОБЦІ ПОВЕРХНІ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Мета: Ознайомлення студентів з методикою теоретичного визначення параметрів шорсткості під час лезової обробки матеріалів.

6.1 Загальні відомості

Експлуатаційні властивості деталей машин характеризуються станом їх поверхневого шару, зокрема, шорсткістю. Одним із недоліків під час конструкторсько-технологічної підготовки виробництва є недостатня наукова обґрунтованість призначення і технологічного забезпечення параметрів шорсткості.

Це призводить у низці випадків до завищення вимог і подорожчання виробів, що випускаються. Розв'язання цього завдання можливе на основі залежностей між характеристиками шорсткості та технологічними умовами обробки, зокрема, режимами різання, геометрією інструменту, властивостями оброблюваного та інструментального матеріалів.

Під час призначення режимів різання з урахуванням забезпечення необхідної шорсткості, так само, як і інших параметрів якості поверхневого шару, необхідно виходити з того, що окремі елементи режиму різання по-різному впливають на характеристики поверхневого шару.

З погляду вибору режиму різання, мінімальної собівартості або найбільшої продуктивності, байдуже, який із параметрів змінювати: швидкість різання або подавання, оскільки машинний час обробки, обчислений за формулою $t_0 = i\pi dl/vS$, однаковою мірою залежить від швидкості різання v і подавання S за незмінних значень довжини l , діаметра d оброблюваної поверхні та кількості проходів i .

Під час вибору сполучень елементів режиму різання з метою забезпечення заданої якості поверхневого шару ця умова порушується, оскільки на формування поверхневого шару впливають не лише температура, але і температуру поверхні. Однак і на

температуру в зоні різання θ і на силу різання P_z елементи режиму різання впливають різною мірою. Так, наприклад, під час точіння деталей зі сталі 40XH, температура і сила різання перебувають зі співвідношень $\theta = 149v^{0,4}S^{0,24}t^{0,1}$, $P_z = 300v^{0,75}S^{-0,15}t$, де t – глибина різання. Таким чином, під час призначення режимів різання з урахуванням якості поверхневого шару необхідно вибирати поєднання t , S і v , що забезпечують задані вимоги до деталі.

З погляду забезпечення сприятливих експлуатаційних властивостей оброблюваних матеріалів бажаною є обробка за **оптимальної швидкості різання** v_0 , що забезпечує за прийнятих значень S і t температуру в зоні різання, за якої спостерігається мінімальне зношування різального інструменту.

Це практичне заняття присвячене вивченню параметрів шорсткості поверхневого шару під час оброблення лезовим інструментом і способів їхнього розрахункового визначення з метою оцінювання значень і керування ними з урахуванням заданих експлуатаційних властивостей.

Шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні деталі і розглядаються в межах базової довжини l .

Базова довжина – довжина базової лінії, що використовується для виділення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні та слугує для кількісного визначення її параметрів. Числові значення шорсткості відраховують від базової лінії, за яку прийнято середню лінію профілю m , що має форму номінального профілю і проведена так, щоб у межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю по цій лінії було б мінімальним (рис. 6.1).

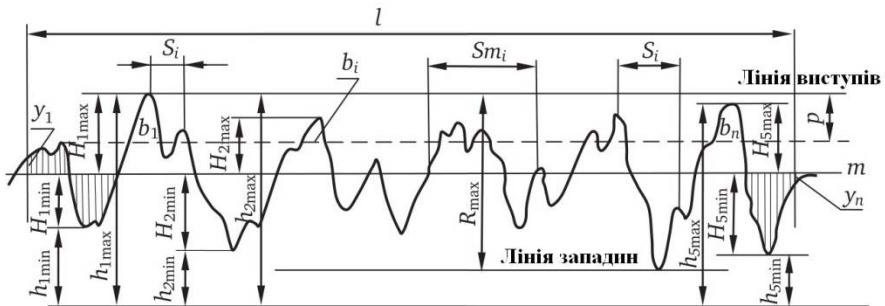


Рисунок 6.1 – Профіль мікронерівностей на обробленій поверхні

Як відомо, відповідно до ГОСТ 2789–73 «Шорсткість поверхні. Параметри и характеристики» встановлено шість параметрів шорсткості. Терміни та визначення шорсткості поверхні за ГОСТ 25142–82 наведено нижче.

1. Середнє арифметичне відхилення профілю Ra – середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини визначиться за формулою:

$$Ra \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (6.1)$$

де n – число обраних точок профілю в межах базової довжини l ; y_i – відхилення профілю – відстань між точкою профілю і базовою (середньою) лінією.

Числові значення Ra наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Значення Ra , мкм

100	80	63	50	40	32	25	20	16,0	12,5
10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,012
0,010	0,008								

Примітка. Виділені значення пріоритетного застосування.

2. Висота нерівностей профілю за десятьма точками Rz – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини, визначається за формулою:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right), \quad (6.2)$$

де y_{pi} – висота i -го найбільшого виступу профілю, яка визначається відстанню від середньої лінії профілю m до вищої точки виступу профілю;

y_{vi} – глибина i -ї найбільшої западини профілю, яка визначається відстанню від середньої лінії профілю до нижчої точки западини профілю.

3. Найбільша висота нерівностей профілю $R_{\max}$ – відстань між лінією виступів профілю і лінією западин профілю в межах базової довжини. Числові значення R_z і $R_{\max}$ наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Значення R_z та $R_{\max}$, мкм

								1600	1250
1000	800	630	500	400	320	250	200	160	125
100	80	63	50	40	32	25,0	20,0	16,0	12,5
10,0	8,0	6,3	5,0	4,00	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
0,100	0,080	0,63	0,050	0,040	0,032	0,025			

Примітка. Виділені значення пріоритетного застосування.

4. Середній крок нерівностей профілю S_m – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини, визначається за формулою:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}, \quad (6.3)$$

де n – число кроків нерівностей профілю;

S_{m_i} – i -й крок нерівностей профілю – відрізок середньої лінії профілю, що містить нерівність профілю (рис. 6.1).

5. Середній крок місцевих виступів профілю S – середнє значення кроків місцевих виступів профілю, що знаходяться в межах базової довжини, визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (6.4)$$

де n – число кроків місцевих виступів;

S_i – i -й крок місцевих виступів профілю – відрізок середньої лінії між проекціями на неї найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю (рис. 6.1); числові значення параметрів S_m і S відповідно до ГОСТ 2769-73 наведено в табл. 6.3.

6. Відносна опорна довжина профілю t_p – відношення опорної довжини профілю до базової довжини:

$$tp = \frac{\eta_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (6.5)$$

де η_p – опорна довжина профілю дорівнює сумі довжин відрізків b_i , що відтинаються на заданому рівні p у матеріалі профілю лінією, еквідистантною середній лінії в межах базової довжини (рис. 6.1);

p – рівень перерізу профілю – відстань між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів профілю, виражений у відсотках від $R_{\max}$.

Таблиця 6.3 – Значення S_m та S , мкм

									12,5
10,0	8,00	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,0125
0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002			

Встановлено велику кількість залежностей параметрів шорсткості обробленої поверхні від технологічних умов обробки. З геометричного погляду мікрометрію обробленої поверхні можна уявити як сліди траєкторії руху різального інструмента, що має певну геометричну форму. Тоді висота мікронерівностей на обробленій поверхні визначається за формулами А.І. Ісаєва, а також за відомою теоретичною формулою В.Л. Чебишева:

$$Rz = \frac{S^2}{8r}, \quad (6.6)$$

де r – радіус при вершині різця в плані, мм.

На формування мікронерівностей під час різання істотно впливають геометрія інструмента, режими різання, властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, вібрації технологічної системи.

Відомі теоретичні залежності для визначення висоти нерівностей враховують тільки геометричні параметри зони різання. Однак якщо вважати подачу, що входить у ці формули, функцією товщини зрізу, то можна враховувати фізико-механічні властивості

оброблюваного та інструментального матеріалів і режими різання. Отже, у відомі теоретичні формули для визначення висоти нерівностей, отримані з геометричних міркувань, слід підставляти не S , а деяке значення S_ϕ , отримане у вигляді функції від товщини зрізу.

Таким чином, параметри шорсткості можуть бути визначені за такими уточненими теоретичними залежностями:

$$Rz = \frac{\sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \left[(S_\phi - r) \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right], \quad (6.7)$$

якщо $\varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi < \arcsin \frac{S}{2r};$ (6.8)

$$Rz = r(1 - \cos \varphi_1) + S_\phi \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{S_\phi \sin \varphi_1 (2r - S_{\text{TM}} \sin \varphi_1)}, \quad (6.9)$$

якщо $\varphi > \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r};$ (6.10)

$$Rz = r(1 - \cos \varphi_1) + S_\phi \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi \sqrt{S_\phi \sin \varphi (2r - S_{\text{TM}} \sin \varphi)}, \quad (6.11)$$

якщо $\varphi < \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 > \arcsin \frac{S}{2r};$ (6.12)

$$Rz = \frac{S_\phi^2}{8r}, \quad (6.13)$$

якщо $\varphi > \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 > \arcsin \frac{S}{2r}.$ (6.14)

Значення S_ϕ визначається за формулою:

$$S_\phi = \frac{1}{t\tau_p \left[1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(\operatorname{arctg} B - \gamma) \right]} \left[\frac{a_1^{0,125} b_1^{0,7} \operatorname{cp} \theta \rho_1^{0,1} a^{0,43}}{\nu \lambda \sin^{0,165} \alpha} \right] \times \\ \times \left[2,85 \sin^{0,115} \alpha \nu^{0,57} a_1^{0,345} \lambda b^{0,3} + 0,6625 \lambda_p \beta \varepsilon a^{0,57} \rho_1^{0,075} \right] - 0,5 \tau_p \rho_1 b \times$$

$$\times \left[\arccos \left(1 - a_2 B^{-b_2 (1 - \sin)^{-x}} \right) + \frac{a_2 B^{1 - b_2 (1 - \sin)^{-x}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \lambda)} + \frac{\delta}{\rho_1} \right] \cos \alpha, \quad (6.15)$$

де φ і φ_1 – відповідно головний і допоміжний кути різця в плані;

r – радіус при вершині різця в плані;

τ_p – опір оброблюваного матеріалу пластичному зсуву;

$B = \operatorname{tg} \beta_1$ – величина, що характеризує ступінь пластичних деформацій металу знімаемого припуску та поверхневого шару оброблюваної деталі;

β_1 – кут нахилу умовної площини зсуву;

α та γ – відповідно задній і передній кути різця;

a_1 та b_1 – відповідно товщина і ширина зрізу;

c_p – питома об'ємна теплоємність оброблюваного матеріалу;

θ – температура в зоні різання;

ρ_1 – радіус заокруглення ріжучої кромки різця;

a – температуропровідність оброблюваного матеріалу;

v і t – відповідно швидкість і глибина різання;

λ і λ_p – коефіцієнти теплопровідності оброблюваного та інструментального матеріалів;

b – сумарна довжина робочої частини ріжучих крайок;

β і ε – відповідно кут загострення і кут при вершині різця в плані;

a_2, b_2, x – величини, що визначаються залежно від B ;

δ – фаска зносу по задній поверхні різця.

Фізико-механічні характеристики оброблюваних матеріалів, необхідні для розрахунків, наведено в табл. 6.4.

Формули (6.7)–(6.15) встановлюють залежність висоти нерівностей обробленої поверхні від параметрів, що характеризують процес різання. Визначення Rz за наведеними формулами практично можливе тільки з використанням електронно-обчислювальних пристроїв. Для конкретного поєднання оброблюваного та інструментального матеріалів із загальноприйнятою геометрією інструменту встановлено спрощені залежності, що враховують основні параметри процесу різання.

Так, під час чистового точіння, коли різання відбувається тільки

радіусною частиною різця, висота нерівностей може бути визначена за формулою:

$$Rz = \frac{c S^{X_1}}{r^{Y_1} \rho_1^{Z_1}}, \text{ мкм}, \quad (6.16)$$

де S , мм/об; r , мм; ρ_1 , мкм; c , X_1 , Y_1 , Z_1 – константи, що залежать від поєднання оброблюваного та інструментального матеріалів, а також від геометрії інструменту.

Під час обробки різцем із ВК8 значення констант можуть бути взяті з табл. 6.5. Інші параметри шорсткості для умов лезової обробки можуть бути виражені через Rz за відомими залежностями (табл. 6.6).

Таблиця 6.4 – Фізико-механічні характеристики оброблюваних матеріалів

Оброблюваний матеріал	σ_b , МПа	σ_T , МПа	τ_p , МПа	$\theta_{пл}$, °C
ВТ9	1200	850	350	1700
ХН73МБТЮ	1200	800	800	1450
Л62	360	110	228	905
ЛС59-1	370	140	147	900
АК7ч	200	110	90	700
Д16Т	530	390	130	780
МА2-1	270	160	73	630
МЛ5	220	80	100	750

Таблиця 6.5 – Значення коефіцієнтів у формулі (6.16)

Оброблюваний матеріал	c	X_1	Y_1	Z_1
ВТ9	4865	1,71	1,1	0,96
ХН73МБТЮ	1016	1,42	1,0	0,85
Л62	608	1,58	1,04	0,95
ЛС59-1	123	1,64	0,94	0,93
АК7ч	242	1,37	0,95	0,79
Д16Т	82	1,23	1,07	1,07
МА2-1	125	2,04	1,54	1,44
МЛ5	146	1,66	1,25	1,05

Таблиця 6.6 – Взаємозв'язок параметрів шорсткості

Параметр шорсткості	Вираження через інші параметри
$R_{\max}$	$R_{\max} = 6 \cdot Ra$
Ra	$Ra = 0,21 \cdot Rz^{1,02}$
Sm	$Sm = 2\sqrt{Rz(2r - Rz)} \text{ при } S < 2r \sin \varphi_1$ $Sm = 2r \sin \left[\varphi_1 - \arctg \frac{r(1 - \cos \varphi_1) - 0,5Rz}{r \sin \varphi_1} \right] + Rz \operatorname{ctg} \varphi_1$ $\text{при } 2r \sin \varphi_1 < S \leq r \left[\frac{1 - \cos(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi_1} \right];$ $Sm = \frac{2r(1 - \cos \varphi_1)}{\sin \varphi_1} + 0,5Rz(\operatorname{ctg} \varphi + 3 \operatorname{ctg} \varphi_1)$ $\text{при } S > r \left[\frac{1 - \cos(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi_1} \right]$

Оптимальна швидкість різання, за якої справедливе рівняння (6.16), може бути визначена за такою формулою:

$$v_o = \frac{c_v}{S^{x_v}}, \quad (6.17)$$

де S - подача, мм/об.

Значення c_v і x_v при обробці різцем з ВК8, глибині різання $t = 1$ мм і заданих геометричних параметрах інструменту наведено в табл. 6.7.

6.2 Порядок проведення практичного заняття

1. Для заданого викладачем варіанта (табл. 6.8) визначити значення параметрів шорсткості Rz , Ra , $R_{\max}$, Sm під час токарної обробки різцем із ВК8 двох деталей із різних матеріалів. У розрахунках прийняти $\rho_1 = 30$ мкм і $r = 1$ мм. Параметри шорсткості мають бути розраховані для кожного значення подачі.
2. Визначити оптимальну швидкість різання v_o , за якої буде забезпечено отримання цих значень параметрів шорсткості.
3. Побудувати графік залежності оптимальної швидкості різання v_o від подачі S .

Таблиця 6.7 – Значення коефіцієнтів у формулі (6.17)

Оброблюваний матеріал	c_V	x_V	Геометричні параметри різця
BT9	0,37	0,48	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$
ХН73МБТЮ	0,35	0,38	$\alpha = 12^\circ; \gamma = 12^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 45^\circ; r = 1 \text{ мм}$
Л62	1,65	0,45	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$
ЛС59-1	0,58	0,67	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$
АК7ч	4,00	0,40	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$
Д16Т	3,29	0,31	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 20^\circ; r = 1 \text{ мм}$
МА2-1	3,30	0,38	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$
МЛ5	3,10	0,42	$\alpha = 10^\circ; \gamma = 0^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 1 \text{ мм}$

Таблиця 6.8 – Варіанти завдань для самостійної роботи

Номер варіанта	Оброблюваний матеріал	Значення подач, мм/об
1	BT9 МА2-1	0,1; 0,15; 0,2; 0,25 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
2	Л62 Д16Т	0,15; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
3	ЛС59-1 МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
4	ЛС59-1 МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
5	ХН73МБТЮ (ЭИ698) Л62	0,1; 0,15; 0,2; 0,25 0,1; 0,2; 0,3; 0,4
6	BT9 ХН73МБТЮ (ЭИ698)	0,15; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,15; 0,2; 0,25
7	BT9 МЛ5	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
8	ХН73МБТЮ (ЭИ698) МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4;
9	Л62 ЛС59-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
10	АК7ч Д16Т	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
11	ЛС59-1 АК7ч	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
12	BT9 АК7ч	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5

4. Побудувати графік залежності параметрів шорсткості R_z , R_a , $R_{\max}$, S_m від подачі S .
5. Зробити висновки про вплив режиму різання і властивостей оброблюваних матеріалів на параметри шорсткості під час механічної обробки.

6.3 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- назву та мету роботи;
- вихідні дані за варіантом завдання;
- відповідні розрахунки відповідно до пунктів 1, 2 і 3 розд. 6.2;
- графіки відповідно до пунктів 3 і 4 розд. 6.2;
- висновки щодо виконаної роботи.

Під час здачі звіту викладачу, студент зобов'язаний відповісти викладачеві на поставлені контрольні запитання за змістом роботи і теоретичної частини, викладеної в розд. 6.1.

6.4 Контрольні запитання

1. Чим пояснити неоднозначний вплив режимів обробки на продуктивність і якість обробки?
2. Як пояснити необхідність регламентації параметрів шорсткості не тільки висотними, а й кроковими параметрами?
3. Як пояснити вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу на характер шорсткості?
4. Чим пояснити характер отриманих залежностей параметрів шорсткості від оптимальної швидкості різання v_0 , від подачі S ?

Література

[1]-[5].

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ

Мета: Ознайомлення з поняттям технологічності виробу і методами оцінки технологічності як якісним, так і кількісним способами.

7.1 Загальні відомості

Розробка нового виробу є складним конструкторським завданням, пов'язаним із досягненням не тільки необхідного технічного рівня цього виробу, але і з наданням його конструкції таких властивостей, які забезпечують максимально можливе зниження витрат праці, матеріалів та енергії на його виготовлення, технічне обслуговування та ремонт. Розв'язання цього завдання визначається спільною роботою конструкторів та технологів.

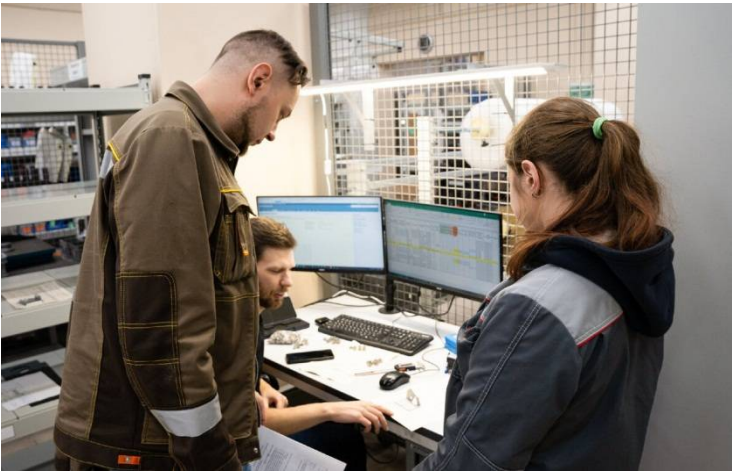


Рисунок 7.1 – Спільна робота конструкторів та технологів над технологічністю конструкції виробу

Для методичного та практичного забезпечення даної задачі розроблено низку стандартів та методичних вказівок у рамках Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), в яких

узагальнено досвід передових підприємств та організацій, дано основні визначення та технології проведення технологічного аналізу складальних креслень виробів.

Технологічністю конструкції виробу, згідно з ГОСТ 14.205–83, називається сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її адаптивність до досягнення оптимальних витрат при виробництві, адаптивність до технічного обслуговування та ремонту із заданими показниками якості; адаптивність конструкції виробу до обсягу випуску та умов виконання робіт.

Під **забезпеченням технологічності конструкції виробу** розуміють функцію підготовки виробництва, що передбачає взаємопов'язане вирішення конструкторських та технологічних завдань, спрямованих на підвищення продуктивності праці, досягнення оптимальних трудових і матеріальних витрат, скорочення часу на виробництво (в тому числі і монтаж за межами підприємства-виробника), технічне обслуговування та ремонт виробу.

Саме поняття «технологічність» можна трактувати як властивість виробів, що проявляється відповідно до вимог економічної технології виготовлення. Іншими словами, технологічність конструкції можна характеризувати як властивість конструкції, що проявляється в оптимальних витратах ресурсів (трудових, матеріальних та ін.) при її виробництві, експлуатації, ремонті та утилізації.

Досвід машинобудування показує, що шляхом підвищення технологічності конструкції виробу можна отримати додаткове скорочення трудомісткості виготовлення на 15...25 % і зниження собівартості на 5...6 %.

Звідси стає очевидною важливість вирішення завдань, пов'язаних з відпрацюванням конструкції виробу на технологічність, під якою розуміють частину робіт із забезпечення технологічності, спрямованих на досягнення заданого рівня технологічності та виконуваних на всіх етапах розробки виробу.

Головними факторами, що впливають на забезпечення технологічності конструкції виробу, є:

- вид виробу;
- обсяг випуску та тип виробництва;
- конструктивна складність;
- новизна конструкції;

- характеристика вихідних матеріалів тощо.

Залежно від кінцевої стадії конкретного виробництва, виробом може бути деталь, складальна одиниця і складніші складальні утворення самостійного призначення, такі як агрегати, автомобільні двигуни тощо.

За сферою прояву технологічності конструкції виробу, розрізняють такі види технологічності:

- **виробничу** – технологічність конструкції виробу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, а також монтажі поза підприємством–виробником;
- **ремонтну** – технологічність конструкції виробу за всіх видів ремонту, крім поточного;
- **експлуатаційну** – технологічність конструкції виробу при підготовці виробу до використання за призначенням, технічним обслуговуванням, поточним ремонтом та утилізації.

Неодмінною умовою забезпечення технологічності виробів є виконання низки вимог, які пред'являються до конструкції виробу та складальних одиниць і деталей, що входять до нього. Ці вимоги увійшли у галузеві стандарти та в комплекс державних стандартів ЄСТПВ.

Основні положення зазначених вимог зводяться до наявності в конструкції наступних властивостей:

- раціональність поділу, компонування виробів та їх складових частин, а також вибору типу заготовок, що застосовуються;
- широке використання принципів конструктивної та технологічної спадкоємності, уніфікації та стандартизації;
- раціональне обмеження кількості марок та сортamentів матеріалів, що застосовуються;
- ширше використання недефіцитних матеріалів, та таких матеріалів, обробка яких не викликає труднощів;
- раціональне призначення допусків і параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь;
- доцільне проставлення розмірів з урахуванням особливостей обробки деталей на певних видах технологічного обладнання;
- забезпечення зручності базування деталей при їх обробці і, по можливості, досягнення достатньої жорсткості конструкції;
- дотримання умов взаємозамінності деталей, спрощення

- складальних робіт і можливості їх механізації;
- створення деталей таких конструктивних форм, які дозволяють застосовувати більш продуктивні методи механічної обробки та використовувати високопродуктивне обладнання;
- забезпечення умов врізання і виходу ріжучого інструменту, а також хорошого доступу для обробки і здійснення замірів поверхонь деталі;
- зменшення різноманіття видів оброблюваних поверхонь і геометричних розмірів однотипних елементів конструкції деталі;
- максимально можливе спрощення конструкції збірних одиниць та деталей;
- можливість застосування прогресивних технологічних процесів, високопродуктивного обладнання і більш досконалих методів організації праці, для чого може бути потрібна наявність в деталях або складальних одиницях певних конструктивних елементів;
- зручність технічного обслуговування та ремонту в процесі експлуатації, що може вимагати внесення в конструкцію певних елементів.

Загальні вимоги до технологічності конструкції виробу конкретизуються та уточнюються з урахуванням особливостей певних видів робіт (штампування, лиття, механічної обробки, збирання тощо).

Відомо, що при механічній обробці технологічність деталі залежить від її габаритних розмірів, конфігурації, раціонального вибору заготовки, простановки розмірів та правильного встановлення точності та параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь. Вимоги до конструктивних форм деталі багато в чому визначаються можливостями технологічного обладнання та конкретними умовами виробництва (типом виробництва, наявністю достатньої кількості верстатів із ЧПУ та ін.).

Забезпечення зручного та надійного закріплення деталі на верстаті накладає обмеження на жорсткість її конструкції, оскільки недостатність або відсутність цієї властивості призводить до необхідності розробки спеціального технологічного оснащення, а також зменшення граничних режимів обробки.

Окремі геометричні елементи можуть бути визнані

технологічними, якщо їх розміри і конфігурація будуть відповідати параметрам стандартного різального інструменту, так як розробка спеціального інструменту вимагає додаткових витрат і подовжує терміни технологічної підготовки виробництва.

Ця відповідність є необхідною, але недостатньою умовою. При розробці геометричних елементів поверхонь деталі, повинні широко використовуватися принципи уніфікації для скорочення їх різновидів в конструкції деталі, що дозволить зменшити номенклатуру застосовуваного стандартного різального інструменту.

Більш краща конфігурація поверхонь, що дозволяє проводити їхню обробку напрохід. **Необхідно по можливості уникати** глибоких отворів, глухих отворів з двох сторін деталі та внутрішніх виточок, виготовлених з високою точністю, а також отворів, що перетинають зону загартування. Співвісні отвори в конструкції деталі слід розташовувати з урахуванням зменшення діаметрів в одному напрямку, а ступінчасті вали повинні мати по можливості невеликі перепади діаметрів.

Найбільш технологічними є наскрізні циліндричні отвори. Необхідно розташовувати оброблювані поверхні в одній площині, застосовувати стандартні розміри діаметрів, допусків, посадок, параметрів шорсткості. У деталях, що піддаються термічній обробці, потрібно передбачати жолобники або радіусні переходи. Внутрішні різьблення мають бути по можливості наскрізними. Ряд додаткових вимог до деталей, що піддаються механічній обробці, обумовлюються особливостями технологічного обладнання, що застосовується.

Необхідність забезпечення високоякісного проведення складальних робіт визначає номенклатуру спеціальних вимог щодо конструкції виробів. Відомо, що їх поділ на окремі складові повинен бути здійснений таким чином, щоб можна було проводити одночасно складання багатьох складових частин виробу.

Переважно здійснювати членування виробу з урахуванням функціонального призначення окремих складових частин. Необхідно враховувати принцип взаємозамінності, поєднувати технологічні та вимірювальні бази, забезпечувати зручність підходів до з'єднань для того, щоб використовувати різні засоби малої механізації.

Конструкція повинна забезпечувати можливість застосування нескладних пристроїв та стандартного інструменту. Слід передбачати можливість проведення паралельного збирання складальних одиниць.

Складання має бути зручним. Обсяг механічних робіт при складанні виробу – мінімальним. При складанні повинна забезпечуватися взаємна фіксація деталей, які збираються, і складальних одиниць.

Для цього використовуються виступи та пази, шпонки, штифти, настановні фіксуючі отвори. Існують досить відомі вимоги до технологічності різних видів з'єднань (зварювальних, заклепувальних та ін.). Точність складальних з'єднань забезпечується методами припасування, регулювання, групової взаємозамінності.

Під час *розподілу складної складальної одиниці на простіші елементи* необхідно виконувати наступні *вимоги*.

1. Складальні одиниці повинні бути розраховані на мінімальну кількість різних видів технологічних процесів складання (з'єднання болтами, клепкою, зварюванням, паянням тощо.). Вони повинні бути простими, являти собою закінчений виріб для певної виробничої ділянки та мати мінімально можливу кількість зчленувань.

2. Розчленування складної складальної одиниці на прості повинно здійснюватися з урахуванням виробничої структури підприємства–виробника та передбачати з'єднання простих збірних одиниць у певній послідовності таким чином, щоб одна складальна операція не заважала виконанню інших.

3. Розчленування складної складальної одиниці має бути зроблено з урахуванням можливості заміни будь-якої простої складальної одиниці без порушення інших з'єднань простих складальних одиниць.

4. Конструкція складальної одиниці повинна забезпечувати можливість проведення регулювальних та контрольних операцій. При цьому часті регулювання не повинні порушувати регулювання складної складальної одиниці.

Заходи щодо скорочення витрат матеріалів можуть бути поділені на дві наступні групи.

1. Конструктивні заходи, пов'язані з удосконаленням методів розрахунку і використанням нових принципів конструювання із забезпеченням рівномірності деталей у всіх її перерізах, а також із застосуванням нових, недорогих і недефіцитних матеріалів (зокрема пластмас). До цієї групи належать також заходи щодо застосування раціональних видів заготовок для виготовлення деталей.

2. Технологічні заходи, серед яких можна назвати такі:

- розробка більш досконалої технології створення нових конструкційних матеріалів для забезпечення можливості широкого їх застосування у виробках;
- зміна технології створення існуючих конструкційних матеріалів, а також введення додаткових контрольних операцій з метою підвищення їх якісних характеристик;
- впровадження технологічних методів зміцнення матеріалів;
- розширення номенклатури видів прокату, що випускаються, а також зменшення полів допусків на його геометричні розміри;
- раціональне застосування більш досконалих технологічних процесів і обладнання в рамках певного виду виробництва (наприклад, у ливарному виробництві використання більш досконалих способів лиття, в механообробному виробництві верстатів з ЧПУ, багатоцільових верстатів тощо).

Застосування раціональних видів заготовок має бути обґрунтоване відповідними техніко-економічними розрахунками. При цьому враховують матеріал, габаритні розміри та масу деталі, серійність виробництва, точність розмірів та допуски на обробку, а також специфічні умови експлуатації. Вид заготовки, що застосовується, може накладати певні обмеження на конфігурацію деталі та вимоги, що пред'являються до неї з точки зору технологічності.

Наприклад, застосування такого способу формоутворення заготовок, як лиття, накладає низку обмежень на форму і ув'язку окремих поверхонь деталі:

- прагнення до зменшення габаритних розмірів;
- зовнішні поверхні повинні складатися з прямолінійних контурів, з'єднаних плавними переходами;
- товщина стінок повинна призначатися такою, щоб виключити різкі відхилення в їхніх розмірах;
- необхідно уникати виступаючих частин, великих тонких ребер і поверхонь, які ускладнювали б ливарну форму;
- форма заготовки повинна виключати складнощі під час роз'єму моделі тощо.

Залежно від застосовуваного способу лиття (лиття в піщано-глинисті форми, в оболонкові форми, за моделями, що виплавляються, під тиском та ін.) вимоги до технологічності литих деталей

доповнюються і уточнюються. Застосування того чи іншого різновиду лиття визначається особливостями конструкції деталі, її призначенням, умовами експлуатації, а також виробничими можливостями. Для деталей, що працюють на вигин, розтягування та кручення і мають суттєву відмінність в окремих перерізах, рекомендують застосовувати заготовки у вигляді поковок та штампованих заготовок. Штампування забезпечує отримання якіснішої заготовки, але вимагає застосування дорогих штампів. Тому використання цього виду формоутворення деталей має бути економічно обгрунтованим.

Розробник враховує особливості технологічних процесів обробки тиском і надає відповідно до них певної форми деталям, до яких висуваються особливі вимоги щодо технологічності їхньої конструкції.

Так, під час використання гарячого штампування необхідно передбачити: можливість скорочення кількості переходів, операцій і мінімізацію подальшого механічного оброблення; виготовлення деталі на простих і дешевих штампах; роз'єднання штампів, а також низку інших вимог, які в сукупності характеризують технологічність штампованої заготовки.

Виконання кожної з наведених вимог накладає певні обмеження на конфігурацію виготовленої деталі. Так, під час штампування на молотах і пресах деталь повинна мати роз'ємну геометричну форму з наявністю штампувальних ухилів на вертикальних (до площини роз'єму) стінках, а також плавні заокруглені контури. Необхідна величина штампувальних ухилів змінюється залежно від застосовуваного обладнання. Просторові деталі складної форми або близькі до них заготовки технологічно виготовляти із застосуванням холодного штампування, яке можна віднести до одного з найбільш прогресивних способів формоутворення деталей. Застосовуваний вид холодного штампування (згинання, витягування, холодне видавлювання, холодне об'ємне штампування та ін.) багато в чому визначає номенклатуру вимог, що характеризують технологічність деталі. Фізико-механічні властивості окремих конструкційних матеріалів (пластмас, спечених порошкових матеріалів та ін.) та умови спеціальних видів обробки накладають додаткові вимоги до технологічності конструкції деталей.

Технічне обслуговування та ремонт виробів проводяться з

урахуванням забезпечення окремих вимог до їхньої експлуатаційної технологічності. Зміст цих вимог багато в чому визначається функціональним призначенням виробів та особливостями процесу їх експлуатації.

Загальними вимогами до експлуатаційної технологічності великої кількості різноманітних конструкцій є:

- доступність, взаємозамінність складових частин виробів в процесі експлуатації;
- можливість застосування найбільш досконалих засобів контролю технічного стану систем;
- можливість проведення регульовально-дослідних робіт;
- можливість застосування прогресивної технології відновлювальних робіт;
- забезпечення зручності при обслуговуванні та ремонтах;
- мінімальна кількість місць регулювання і точок змащування;
- легkozнімність окремих агрегатів і складових частин.
- залежно від функціонального призначення окремих систем однотипних виробів вимоги щодо експлуатаційної технологічності уточнюються та доповнюються.

Під час використання робототехнічних систем, верстатів з ЧПУ, гнучких автоматизованих виробництв мають місце специфічні вимоги до технологічності конструкцій. Одним із суттєвих напрямів підвищення ефективності дорогих верстатів із ЧПУ є застосування для обробки на них деталей, відпрацьованих на технологічність з урахуванням особливостей цього виду обладнання.

У результаті відпрацювання конструкцій на технологічність з'являється можливість підвищити режими оброблення, зменшити терміни підготовки програм і скоротити час на переналагодження устаткування під час переходу на виготовлення іншого типорозміру деталей. Для верстатів з ЧПУ технологічною може бути конструкція деталей складної конфігурації, що відрізняється великою кількістю оброблюваних поверхонь з високими вимогами до точності і параметрів шорсткості. Форма поверхонь може описуватися сферою, дугами, параболою, гіперболою, еліпсами та іншими складними контурами.

При аналізі технологічності деталей, що обробляються на верстатах з ЧПУ, необхідно враховувати вимоги надійного видалення стружки, максимального спрощення програмування, забезпечення

сприятливих умов роботи різального інструменту, надійного закріплення заготовки, що забезпечує можливість обробки максимальної кількості її поверхонь і одночасно високу жорсткість системи заготовка–пристосування. При автоматичному завантаженні заготовок додатково слід враховувати можливість їхнього орієнтування та захвату завантажувальним пристроєм.

Основними вимогами, що пред'являються до конструкції деталей, що обробляються на верстатах з ЧПУ, є:

1. Максимальна уніфікація елементів конструкції деталі.

Конструкція заготовки деталі повинна бути такою, щоб для обробки була потрібна мінімальна кількість інструментів. Цьому сприяє раціональне оформлення канавок (рис. 7.2, а) та широка уніфікація розмірів основних та кріпильних отворів. Для зменшення обсягу робіт з підготовки керуючої програми слід радіуси r закруглень внутрішніх контурів виконувати однаковими та узгодженими з діаметром фрези $D_{\phi} : r > D_{\phi}/2$ (рис. 7.2, б).

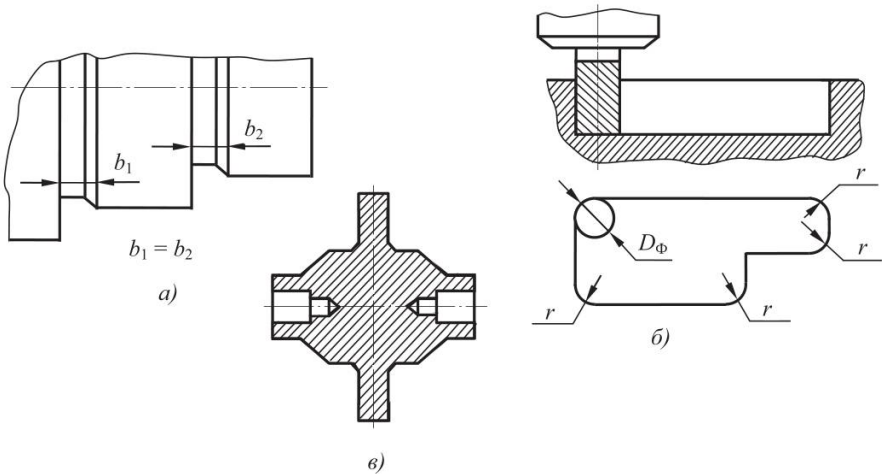


Рисунок 7.2 – Технологічні конструкції деталей для верстатів із ЧПУ

2. Симетричність форми деталі, що дозволяє проводити обробку із застосуванням одного комплекту інструменту з однієї установки в поворотному пристрої за однією програмою (рис. 7.2, в). Симетричність конструкції деталі за формою та розмірами скорочує

кількість необхідних програм.

3. Конструкція деталі повинна дозволяти використовувати при її обробці інструмент більш високої жорсткості. Радіуси фрезерування в кишнях (рис. 7.2, б), вікнах і заниженнях слід, по можливості, збільшувати, що підвищує жорсткість інструменту.

З цих міркувань в корпусних деталях, що мають співвісні отвори у двох стінках, слід проектувати конструкцію так, щоб при розточуванні відношення довжини l до діаметра d було не більше $5 \div 6$.

4. Для забезпечення високопродуктивних режимів різання відношення висоти ребра до його товщини має бути не більше 10, застосування похилих стінок має бути по можливості обмеженим.

5. Конструкція деталі повинна забезпечувати зручність видалення стружки. При багатоперехідній обробці доцільно замість глухих отворів та кишень передбачати наскрізні отвори та вікна, що сприяє кращому стружковидаленню.

6. Конструкція деталі повинна сприяти виключенню або максимальному зменшенню подальшої післяобробки на верстатах з ЧПУ верстатного або ручного доопрацювання. Для цього недоцільно передбачати різьбові отвори з діаметром різьби менше М6.

7. Креслярські розміри деталі слід проставляти в залежності від того, в якій системі працює верстат з ЧПУ (абсолютної, за збільшенням, комбінованої).

При обробці деталей на автоматичних лініях та агрегатних верстатах слід враховувати такі вимоги щодо технологічності конструкції:

- оброблювані поверхні обертання бажано розташовувати таким чином, щоб була можливість обробки тільки з осьовою подачею ріжучого інструменту (свердління, зенкерування, розгортання, розточування, зняття фасок, різьбонарізання, підрізання торців та ін);
- бажано витримувати співвісне розташування оброблюваних поверхонь;
- найкращим вважається таке оформлення поверхонь, при якому можливе застосування збірного багатолезового ріжучого інструменту, що забезпечує суміщення в часі технологічних переходів (їх концентрацію);
- необхідно передбачати паралельне розташування осей оброблюваних отворів;

- слід уникати перетину поверхонь отворів для забезпечення одночасної обробки кількома інструментами;
- для обробки ступінчастих отворів необхідно розташовувати поверхню більшого діаметру з боку підведення інструменту;
- у конструкції корпусних деталей бажано таке оформлення отворів, що розточуються, обробка яких можлива консольною борштангою (застосування довгих борштанг з додатковими опорами ускладнює виконання обробки на автоматичних лініях і агрегатних верстатах).

При аналізі технологічності конструкції виробу використовують два види оцінки: якісну та кількісну.

7.1.1 Якісна оцінка технологічності конструкції виробу

Якісна оцінка – це оцінка відповідності прийнятих рішень вимог оптимальних технологічних процесів. Результатом якісної оцінки технологічності конструкції виробу є оцінки типу «добре – погано», «технологічно – нетехнологічно», «допустимо – недопустимо» тощо. Якісна оцінка не дозволяє при порівнянні різних варіантів конструкції сказати, наскільки один з них кращий за інший у відсотковому відношенні або наскільки він наближається до еталонного варіанту, що є її недоліком. Вона допустима на всіх стадіях проектування, коли здійснюється вибір кращого конструктивного рішення і не потрібне визначення ступеня відмінності технологічності порівнюваних варіантів.

При проектуванні нових конструкцій та відпрацювання їх на технологічність слід враховувати, що покращення технологічності окремо взятої деталі може викликати необхідність проведення змін у вузлі або виробі в цілому. Тому технологічність конструкції доцільно розглядати як комплексне рішення задачі, що враховує вимоги по всіх складових частинах виробничого процесу виготовлення виробу (починаючи з заготовки та закінчуючи збиранням та використанням виробу). При проведенні якісної оцінки технологічності конструкції виробу формуються технічні вимоги, рекомендації, систематизована інформація, що дозволяє зробити правильний вибір на базі вже існуючого досвіду. Якісна оцінка при порівнянні конструкцій у процесі проектування виробу передує кількісній, визначає доцільність останньої і, відповідно, витрат часу на визначення чисельних значень

показників технологічності порівнюваних варіантів.

7.1.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу

Кількісна оцінка технологічності конструкції спрямована на порівняння показників з еталоном в кількісному вираженні. Ця оцінка дозволяє визначити, наскільки один варіант відрізняється від іншого.

При проведенні кількісної оцінки технологічності конструкції виробу використовують часткові показники, комплексні та базові показники технологічності конструкції виробу.

Частковий показник – показник технологічності, який характеризує одну з властивостей, що входять до неї.

Комплексний показник – показник технологічності, характеризує кілька часткових або комплексних властивостей, що входять до неї.

Базовий показник технологічності конструкції виробу – показник, прийнятий за вихідний при оцінці технологічності.

Часткові та комплексні показники бувають абсолютними та відносними. Абсолютні показники характеризують одну або декілька ознак технологічності конструкції виробу, наприклад, кількість оригінальних деталей. Відносні показники ґрунтуються на порівняльній характеристиці технологічності конструкції.

Необхідно застосовувати мінімальну, але достатню для оцінки технологічності кількість показників.

Розглянемо **визначення** деяких **показників технологічності**.

1. Абсолютний техніко–економічний показник трудомісткості виготовлення виробу $T_{\text{и}}$ виражається сумою нормогодин, витрачених на виготовлення виробу:

$$T_{\text{и}} = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (7.1)$$

де T_i – трудомісткість виготовлення i -ї складової частини виробу в нормогодинах;

n – число складових частин у виробі.

2. Рівень технологічності конструкції з трудомісткості виготовлення $K_{\text{у.т}}$ – відношення досягнутої трудомісткості виготовлення виробу $T_{\text{и}}$ до базового показника трудомісткості його

виготовлення $T_{б.и}$:

$$K_{у.т} = \frac{T_{и}}{T_{б.и}}. \quad (7.2)$$

3. Технологічна собівартість виробу C_T визначається як сума витрат на одиницю виробу при здійсненні технологічного процесу виготовлення виробу.

4. Рівень технологічності конструкції з технологічної собівартості $K_{у.с}$ визначається як відношення досягнутої собівартості виробу C_T до базового показника технологічної собівартості виробу $C_{б.т}$:

$$K_{у.с} = \frac{C_T}{C_{б.т}}, \quad (7.3)$$

5. Конструкція деталі повинна складатися зі стандартних та уніфікованих елементів або бути стандартною в цілому. Ця вимога оцінюється за коефіцієнтом уніфікації конструктивних елементів $K_{у.э}$ і визначається за формулою:

$$K_{у.э} = \frac{Q_{у.э}}{Q_э}, \quad (7.4)$$

де $Q_{у.э}$ – кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів;

$Q_э$ – кількість типорозмірів конструктивних елементів у виробі.

Прикладами конструктивних елементів є різьби, проточки, фаски, отвори, шліци тощо. Ознакою уніфікації є використання рекомендованих відповідними стандартами розмірів цих елементів та його співвідношень.

6. Деталь повинна виготовлятися із заготовок, максимально наближених до форми готової деталі. Витрата конструкційних матеріалів для виготовлення деталей характеризується коефіцієнтом використання матеріалу $K_{и.м}$:

$$K_{и.м} = \frac{M_d}{M_з}, \quad (7.5)$$

де M_d – маса деталі;

$M_з$ – маса заготовки.

Цей показник характеризує досконалість конструкцій деталі та заготовки, технології виготовлення заготовок, а також обсяг механічної обробки різанням як найбільш трудомісткої стадії.

7. Коефіцієнт точності обробки $K_{\text{тч}}$ визначається за формулою

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{IT_{\text{cp}}} = 1 - \frac{\sum n_q}{\sum ITq \cdot n_q}, \quad (7.6)$$

де IT_{cp} – середній квалітет точності обробки поверхонь виробу:

$$IT_{\text{cp}} = \frac{\sum ITq \cdot n_q}{\sum n_q}, \quad (7.7)$$

ITq – квалітет точності обробки;

q – цифровий індекс квалітету точності поверхні деталі;

n_q – число розмірів відповідного квалітету точності (припустимо визначати n_q як число деталей, для поверхонь яких призначається однаковий квалітет точності).

Граничне значення коефіцієнта точності $K_{\text{тч}}$, що забезпечує достатню технологічність конструкції деталі, не повинно бути менше 0,875. Цьому значенню відповідає середній квалітет точності деталі $IT8$. Ще більше збільшення усередненого квалітету точності знижує витрати на механічну обробку, підвищуючи технологічність конструкції.

8. Коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{\text{ш}}$:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ra_{\text{cp}}} = \frac{\sum n_{Ra_i}}{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}, \quad (7.8)$$

де Ra_{cp} – середня величина шорсткості поверхонь деталей виробу:

$$Ra_{\text{cp}} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}{\sum n_{Ra_i}}, \quad (7.9)$$

Ra_i , – числове значення шорсткості i -ї поверхні;

n_{Ra_i} – число поверхонь відповідної величини шорсткості, для яких дана шорсткість є однаковою (можна визначати n_{Ra_i} як число деталей, для яких шорсткість є найвищою).

Вигляд розрахункової формули для визначення технологічності

за середньою величиною шорсткості всіх поверхонь деталі дозволяє наочно відобразити їхній взаємозв'язок: необґрунтоване підвищення вимог до шорсткості збільшує число етапів і знижує технологічність деталей при механічній обробці.

Середня величина шорсткості, що забезпечує достатню технологічність деталей загального машинобудування при механічній обробці, повинна перевищувати $R_a = 3,125$ мкм. Коефіцієнт шорсткості наданої величини дорівнює 0,32.

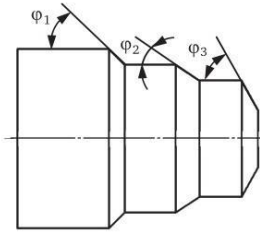
7.2 Порядок проведення практичного заняття

Виконати письмово наведені нижче завдання, відповідно до варіанту роботи заданим викладачем. Оформити звіт.

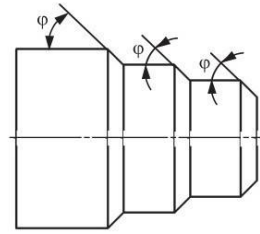
Завдання 1. В табл. 7.1 наведено два ескізи конструкції деталі (стовбці таблиці I і II). Необхідно провести якісну та кількісну оцінку технологічності деталі одного з наведених варіантів (7.1–7.18), і визначити яка конструкція деталі є більш технологічною з позицій механічної обробки, і пояснити чому.

Таблиця 7.1 – Варіанти конструкції деталей

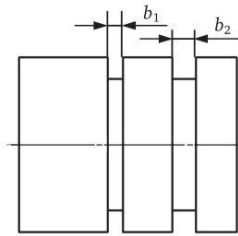
Варіант	I	II
7.1	Ескіз 1	Ескіз 2
7.2	Ескіз 3	Ескіз 4
7.3	Ескіз 5	Ескіз 6
7.4	Ескіз 7	Ескіз 8
7.5	Ескіз 9	Ескіз 10
7.6	Ескіз 11	Ескіз 12
7.7	Ескіз 13	Ескіз 14
7.8	Ескіз 15	Ескіз 16
7.9	Ескіз 17	Ескіз 18
7.10	Ескіз 19	Ескіз 20
7.11	Ескіз 21	Ескіз 22
7.12	Ескіз 23	Ескіз 24
7.13	Ескіз 25	Ескіз 26
7.14	Ескіз 27	Ескіз 28
7.15	Ескіз 29	Ескіз 30
7.16	Ескіз 31	Ескіз 32
7.17	Ескіз 33	Ескіз 34
7.18	Ескіз 35	Ескіз 36



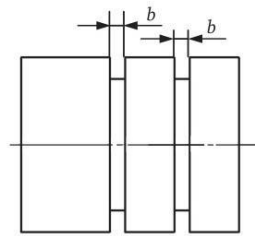
Ескіз 1



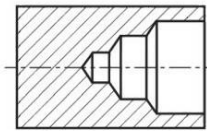
Ескіз 2



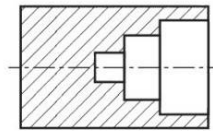
Ескіз 3



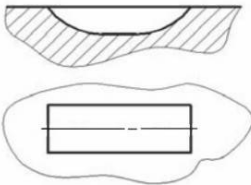
Ескіз 4



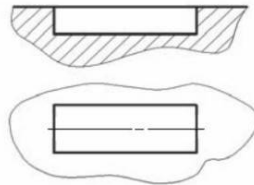
Ескіз 5



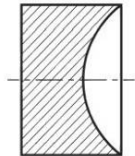
Ескіз 6



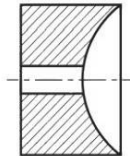
Ескіз 7



Ескіз 8

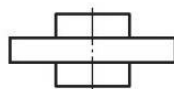
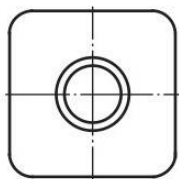


Ескіз 9

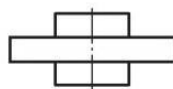
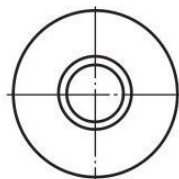


Ескіз 10

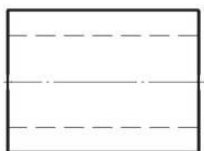
Рисунок 7.3 – Ескізи конструкцій деталей № 1–10



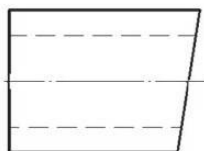
Ескіз 11



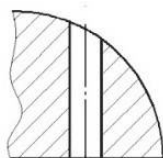
Ескіз 12



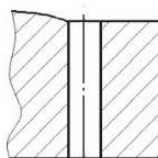
Ескіз 13



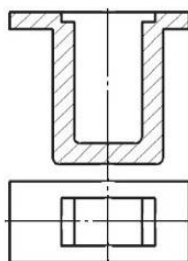
Ескіз 14



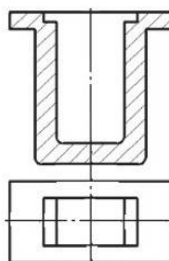
Ескіз 15



Ескіз 16

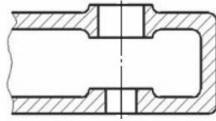


Ескіз 17

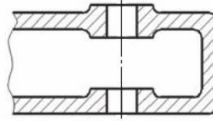


Ескіз 18

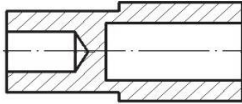
Рисунок 7.4 – Ескізи конструкцій деталей № 11–18



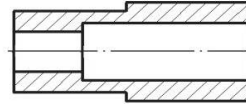
Ескіз 19



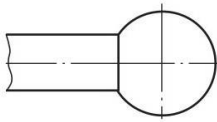
Ескіз 20



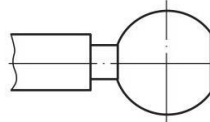
Ескіз 21



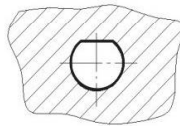
Ескіз 22



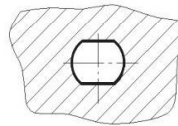
Ескіз 23



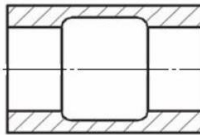
Ескіз 24



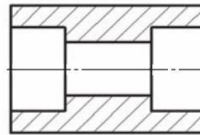
Ескіз 25



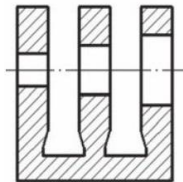
Ескіз 26



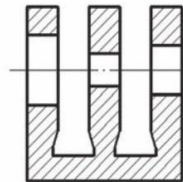
Ескіз 27



Ескіз 28



Ескіз 29



Ескіз 30

Рисунок 7.5 – Ескізи конструкцій деталей № 19–30

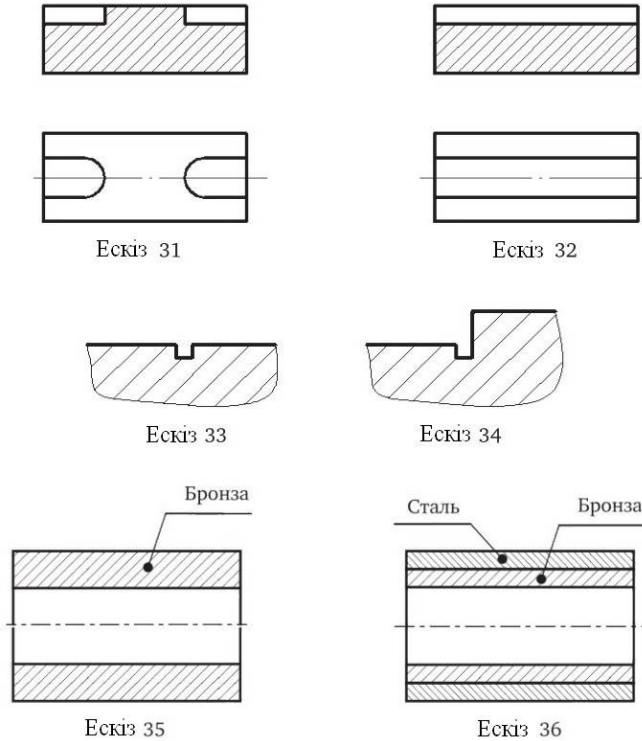


Рисунок 7.6 – Ескізи конструкцій деталей № 31–36

Завдання 2. Проаналізувати конструктивні елементи деталі (рис. 7.7) з погляду можливості більш продуктивної та економічної обробки отвору.

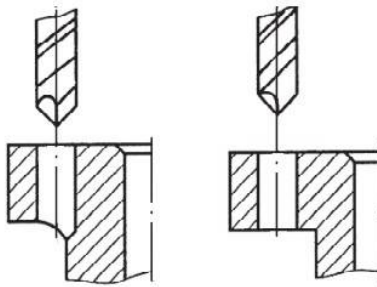


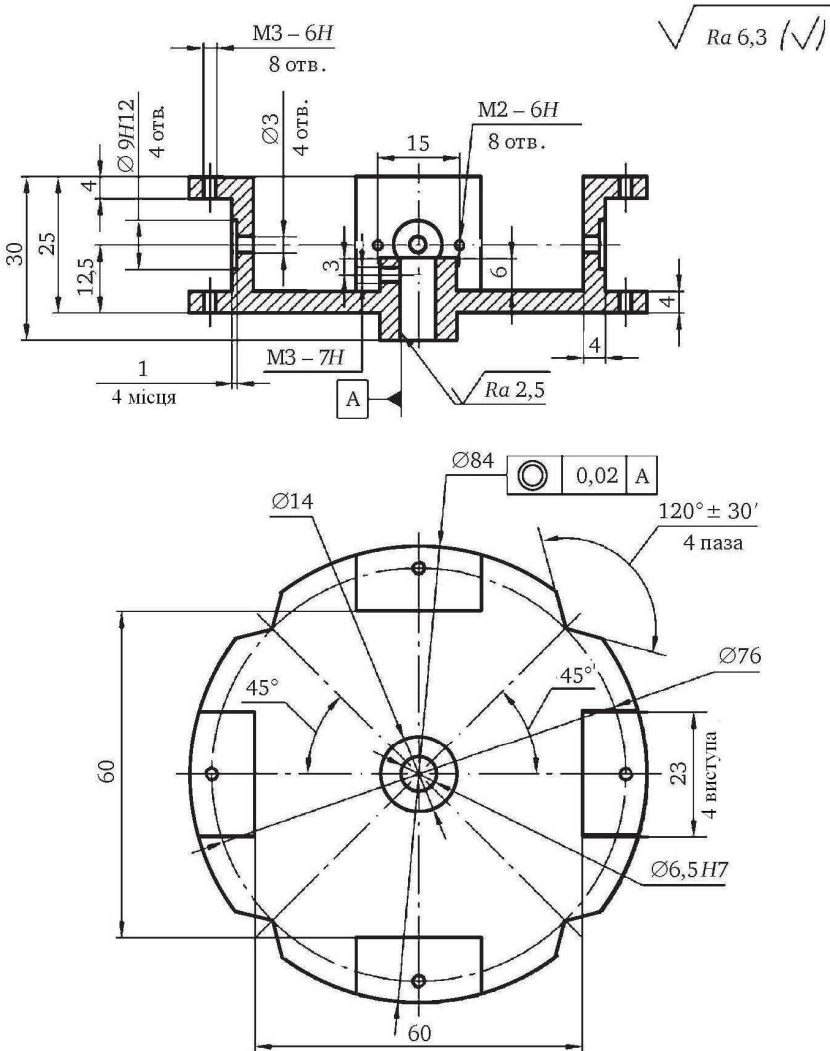
Рисунок 7.7 – Два варіанти конструкції деталі

Завдання 3. Визначити технологічність деталі за коефіцієнтами трудомісткості, собівартості, використання матеріалу, точності, шорсткості на підставі вихідних даних, наведених у табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Варіанти завдань

Номер варіанту	Кількість поверхонь деталі	Кількість уніфікованих елементів	Маса, кг		Трудомісткість, хв		Собівартість, грн.		Середній коефіцієнт точності	Середня шорсткість, мкм
			деталі	заготовок	деталі	зразка	деталі	зразка		
1	19	12	0,8	1,1	28	31	170	210	8	0,63
2	15	8	0,8	1,6	14	10	150	180	6,9	3,5
3	28	17	1,3	1,4	16	24	90	130	9,5	3,2
4	33	25	3,1	3,8	78	86	340	410	7,3	1,1
5	41	27	12	14	31	39	220	344	6,8	0,4
6	55	40	4,8	5,5	68	89	480	530	7,9	0,5
7	36	29	3,9	4,8	88	96	370	480	6,3	2,1
8	18	27	7,3	8,4	65	74	900	110	7,5	2,2
9	15	14	7,8	8,1	218	310	270	410	9	0,93
10	35	20	9,8	15,5	98	189	680	590	11,9	9,5

Завдання 4. Визначити технологічність деталі (рис. 7.8) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – Д16 (дюраль).



1. $H14, h14, \pm IT14/2$

Рисунок 7.8 – Ескіз деталі «корпус»

Завдання 6. Визначити технологічність деталі (рис. 7.10) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 20Х13.

$$\sqrt{Ra\ 6,3/\sqrt{}}$$

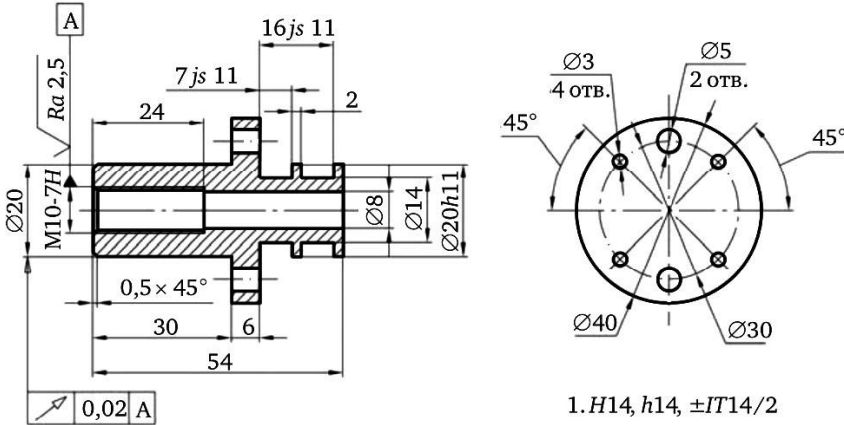


Рисунок 7.10 – Ескіз деталі «перехідник»

Завдання 7. Визначити технологічність деталі (рис. 7.11) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 35.

Завдання 8. Визначити технологічність деталі (рис. 7.12) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – СЧ40.

Завдання 9. Визначити технологічність деталі (рис. 7.13) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – ХН62МВКЮ (ЭИ867).

Завдання 10. Визначити технологічність деталі (рис. 7.14) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – 65Г.

Завдання 11. Визначити технологічність деталі (рис. 7.15) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 40Х13.

Завдання 12. Визначити технологічність деталі (рис. 7.16) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 50.

Завдання 13. Визначити технологічність деталі (рис. 7.17) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 20ХНР.

Завдання 14. Визначити технологічність деталі (рис. 7.18) за коефіцієнтами точності та шорсткості. Матеріал деталі – сталь 40ХН.

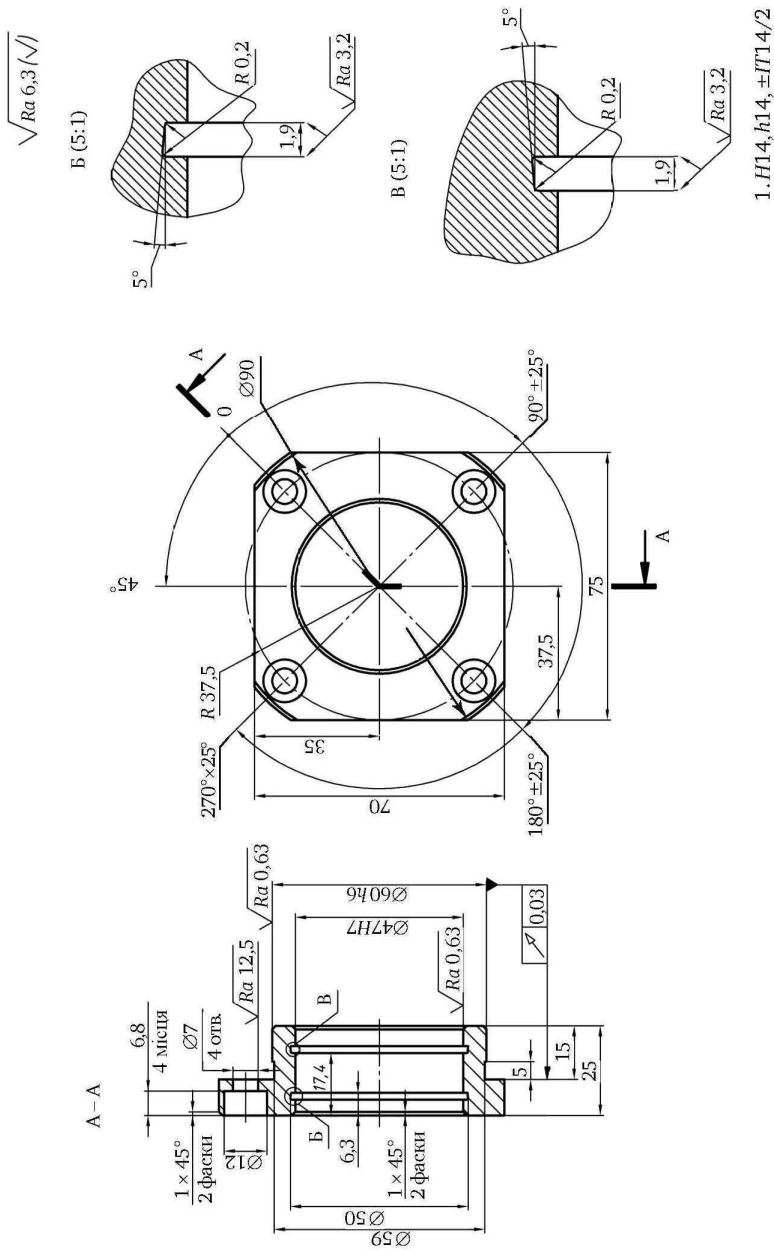
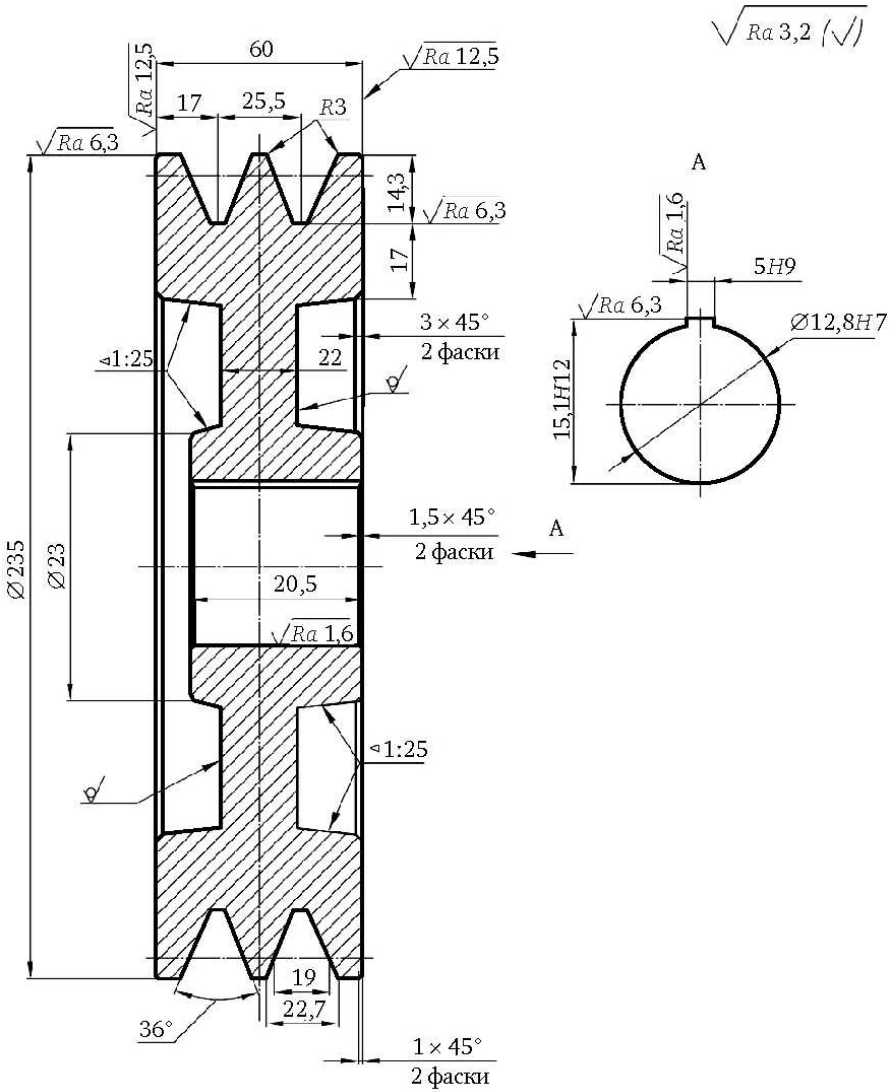
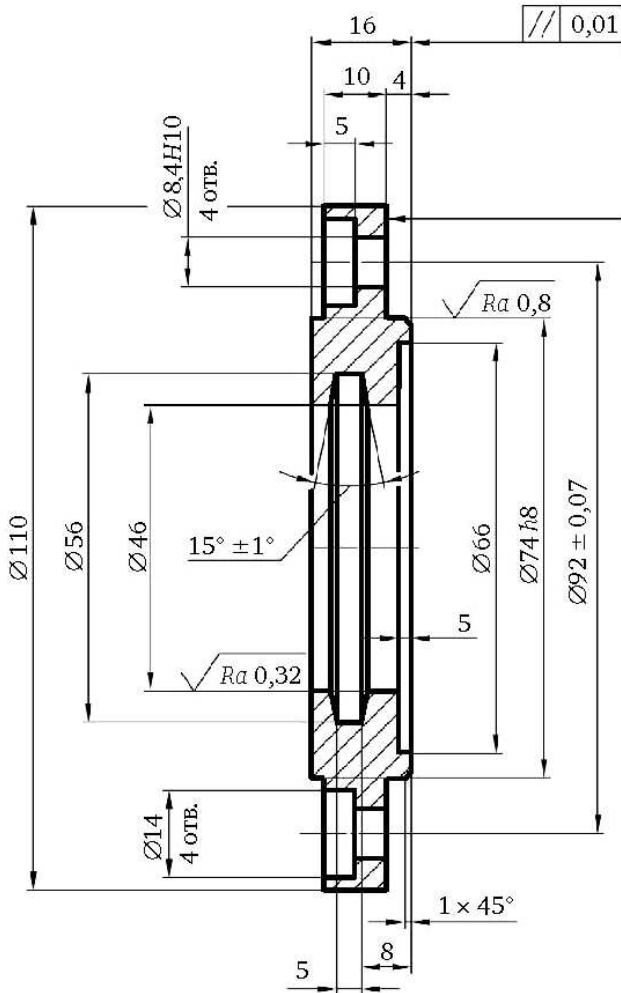


Рисунок 7.11 – Ескіз деталі «стакан»



1.H14,h14,±IT14/2

Рисунок 7.12 – Ескіз деталі «шків»

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$


1. $H11, h11, \pm IT11/2$
2. Невказані радіуси заокруглень 0,5 мм

Рисунок 7.13 – Ескіз деталі «кришка»

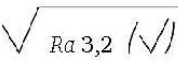
 $1.H_{12}, \hbar_{12}, \pm IT_{12}/2$

Рисунок 7.14 – Ескіз деталі «буфер»

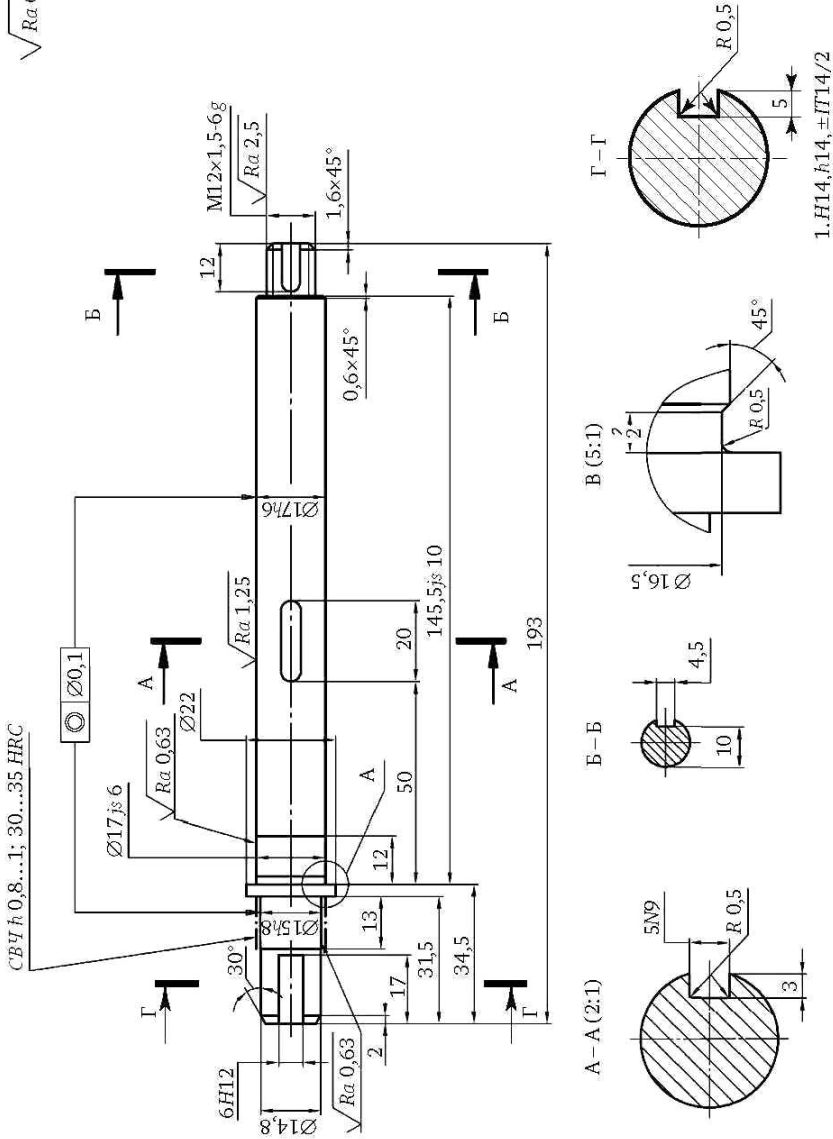
$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\sqrt{I})}$


Рисунок 7.15 – Ескіз деталі «вал»

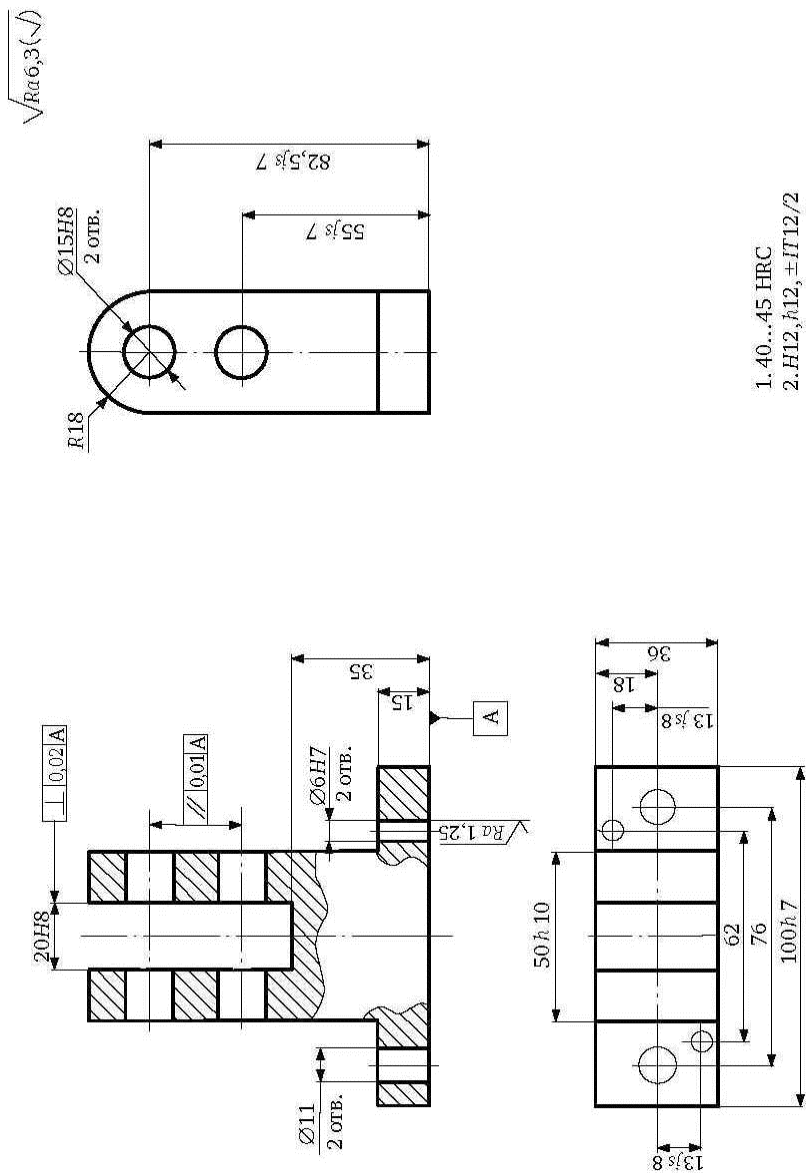
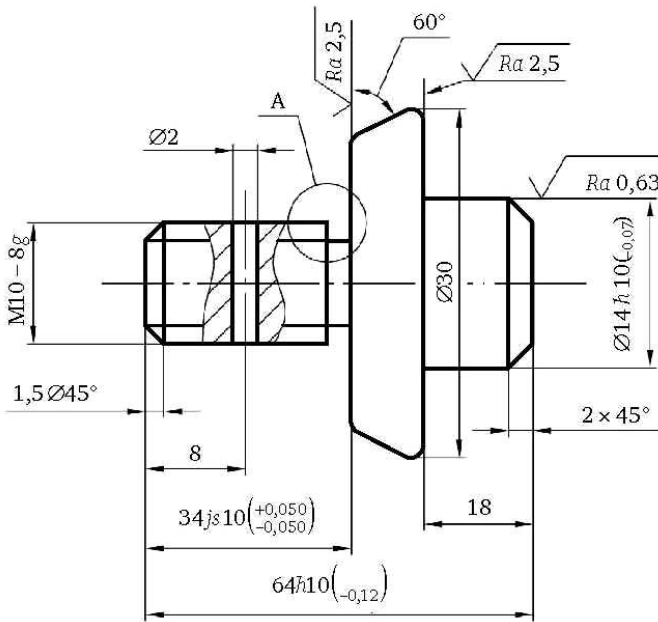
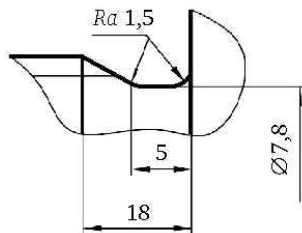


Рисунок 7.16 – Ескіз деталі «ложмент»

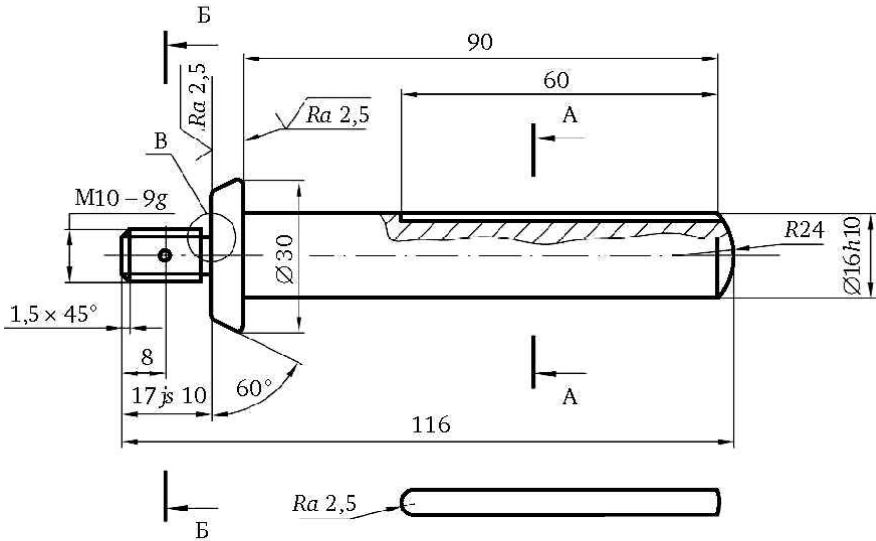
$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$


A (4:1)

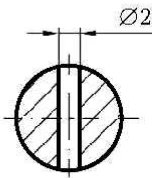
1. $H14, h14, \pm IT14/2$

2. Невказані радіуси 2...3 мм

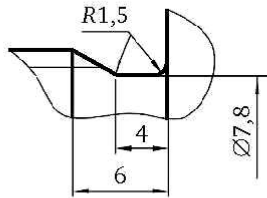
Рисунок 7.17 – Ескіз деталі «упор»

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\sqrt{ })}$


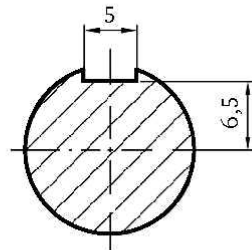
B – B (2:1)



B (4:1)



A – A (2:1)



1. $H14, h14, \pm IT14/2$
2. Невказані радіуси 2 мм

Рисунок 7.18 – Ескіз деталі «шток»

7.3 Приклад виконання роботи

7.3.1 Якісне оцінювання

Приклад 1. Порівняємо два варіанти конструкції деталі (рис. 7.19) на предмет технологічності з позицій механічної обробки.

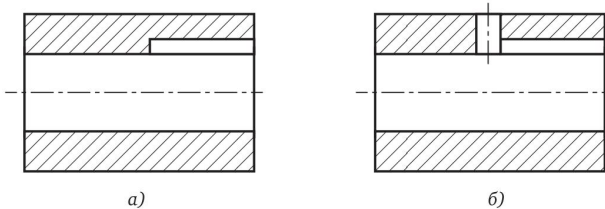


Рисунок 7.19 – Два варіанти конструкції деталі

У цьому випадку на рис. 7.19, б представлено технологічний варіант конструкції, а на рис. 7.19, а – нетехнологічний. Це пояснюється тим, що обробку шпонкового паза у втулці до упору (рис. 7.19, а) технологічно складно здійснити: потрібен отвір або кільцева виточка для виходу інструменту (рис. 7.19, б).

Приклад 2. Порівняємо два варіанти розташування кріпильних отворів у корпусній деталі на предмет технологічності з позицій механічної обробки (рис. 7.20).

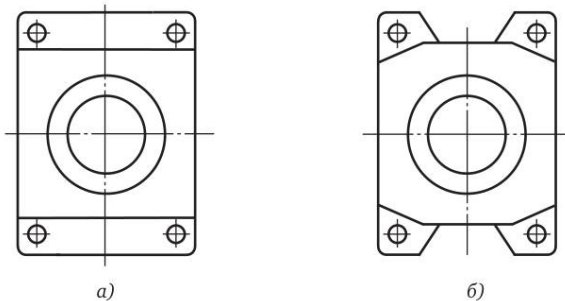


Рисунок 7.20 – Два варіанти розташування кріпильних отворів у корпусній деталі

Розміщення кріпильних отворів у корпусі на суцільній полиці (рис. 7.20, а), а не на лапках (рис. 7.20, б) дає змогу обробляти

поверхню полиці напрохід і скористатися перевагами багатомісного оброблення. Таким чином, варіант конструкції, представлений на рис. 7.20, а, є більш технологічним порівняно з варіантом на рис. 7.20, б.

7.3.2 Кількісне оцінювання

Постановка задачі. Деталь «корпус» масою 0,95 кг виготовляється з магнієвого сплаву МЛ5 (рис. 7.21). Спосіб отримання заготовки – лиття в кокіль. Маса заготовки – 1,1 кг. Трудомісткість механічної обробки деталі 45 хв за базової трудомісткості (трудомісткості виготовлення аналога) 58 хв. Технологічна собівартість деталі 210 грн. за базової собівартості 245 грн.

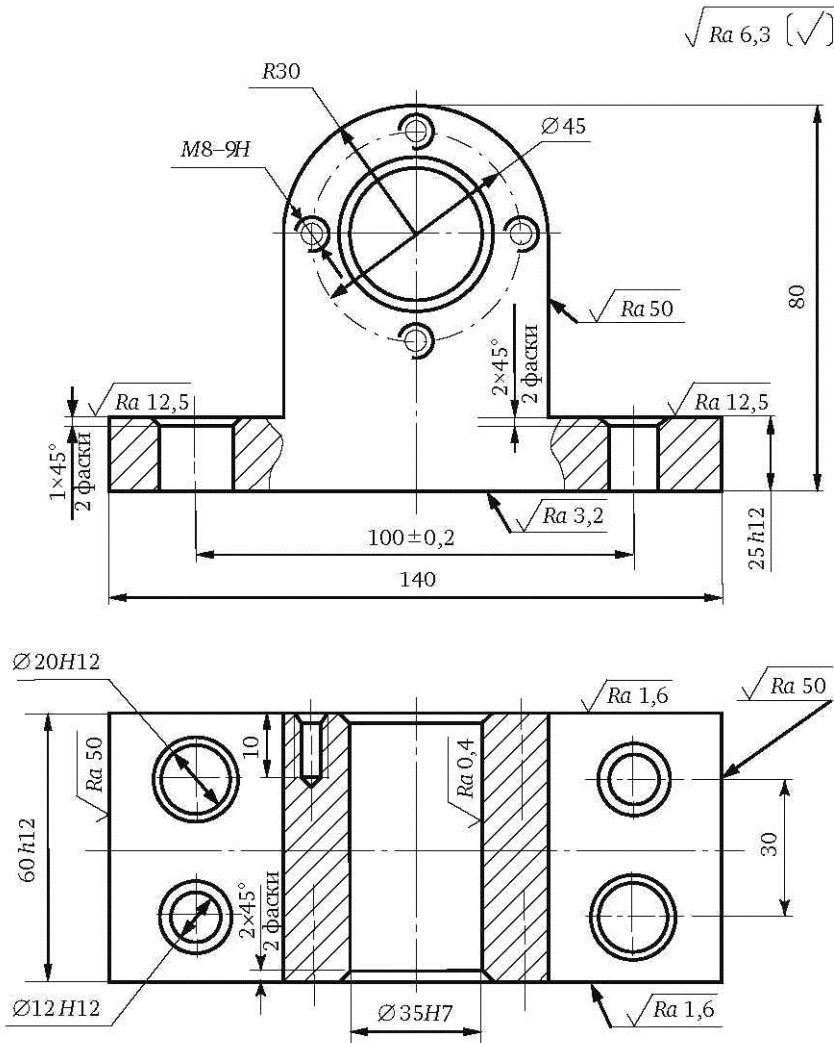
Необхідно визначити кількісні показники технологічності конструкції цієї деталі і зробити висновки про технологічність конструкції розглянутого виробу.

Розв'язувати поставлене вище завдання будемо в такий спосіб.

1. Виконаємо технологічний аналіз конструкції деталі за поверхнями. Для цього розчленуємо деталь на окремі поверхні (рис. 7.22), визначимо кількість поверхонь, кількість уніфікованих елементів, а також квалітет точності та параметр шорсткості за кожною поверхнею (табл. 7.3).

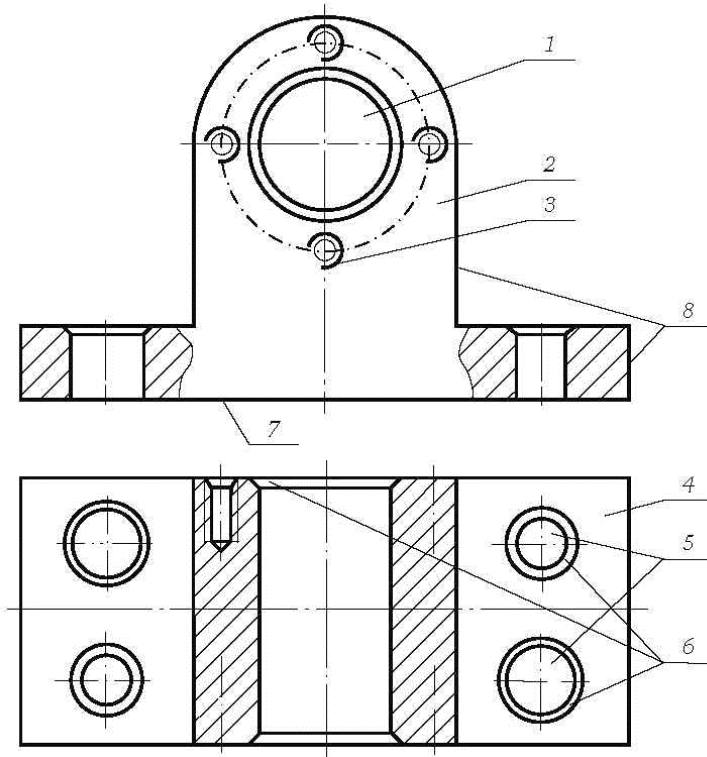
Таблиця 7.3 – Характеристики конструктивного виконання деталі

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих елементів	Квалітет точності	Параметр шорсткості Ra , мкм
Отвір головний	1	1	7	0,4
Торець корпусу	2	0	12	1,6
Різьбовий отвір	8	8	9	6,3
Верх основи	2	0	12	12,5
Отвори основи	4	4	12	6,3
Фаски отворів	6	6	14	6,3
Ніж основи	1	0	12	3,2
Бічна поверхня	3	0	14	50
Всього	27	19		



1. H14, h14, $\pm IT 14/2$

Рисунок 7.21 – Ескіз деталі «корпус»



- 1 – отвір головний; 2 – торець корпусу; 3 – різбовий отвір;
 4 – верх основи; 5 – отвори основи; 6 – фаски отворів;
 7 – низ основи; 8 – бічні поверхні

Рисунок 7.22 – Розчленування деталі на поверхні

2 Визначимо абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення виробу. Виходячи з умов завдання, він становить $T_{\text{н}} = 45$ хв.

3. Відповідно до формули (7.2) розрахуємо рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення:

$$K_{\text{у.т}} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{б.н}}} = \frac{45}{58} = 0,775. \quad (7.10)$$

Деталь за цим показником технологічна, оскільки її

трудомісткість порівняно з базовим показником нижча на 22,5 %.

4. Визначимо технологічну собівартість виробу. Виходячи з умов завдання вона становить $C_T = 210$ грн.

5. Використовуючи формулу (7.3), знайдемо рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю:

$$K_{y.c} = \frac{C_T}{C_{б.т}} = \frac{210}{245} = 0,857. \quad (7.11)$$

Отже, деталь технологічна, оскільки собівартість її порівняно з базовим аналогом знизилася на 14,3 %.

6. Розрахуємо коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі. Згідно з даними таблиці 1 кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів становить $Q_{y.э} = 19$, а кількість типорозмірів конструктивних елементів у виробі $Q_э = 27$. Використовуючи формулу (7.4), отримаємо:

$$K_{y.э} = \frac{Q_{y.э}}{Q_э} = \frac{19}{27} = 0,704. \quad (7.12)$$

За цим показником деталь технологічна. Згідно з ГОСТ 14205–83 деталь вважається технологічною, якщо $K_{y.э}$ більше 0,6.

7. За формулою (7.5) визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{и.м} = \frac{M_d}{M_э} = \frac{0,95}{1,1} = 0,86. \quad (7.13)$$

Для вихідної заготовки цього типу такий показник свідчить про задовільне використання матеріалу.

8. Знайдемо коефіцієнт точності обробки. Для цього, використовуючи залежність (7.7), розрахуємо середній квалітет точності обробки поверхонь деталі:

$$\begin{aligned} IT_{cp} &= \frac{\sum IT_q \cdot n_q}{\sum n_q} = \frac{IT7 \cdot n_7 + IT9 \cdot n_9 + IT12 \cdot n_{12} + IT14 \cdot n_{14}}{n_7 + n_9 + n_{12} + n_{14}} = \\ &= \frac{7 \cdot 1 + 9 \cdot 8 + 12 \cdot 9 + 14 \cdot 9}{1 + 8 + 9 + 9} = 11,59. \end{aligned} \quad (7.14)$$

Тоді на підставі формули (7.6) коефіцієнт точності обробки становитиме:

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{IT_{\text{сп}}} = 1 - \frac{1}{11,59} = 0,914. \quad (7.15)$$

Оскільки $K_{\text{тч}} > 0,875$, то деталь за цим показником є технологічною.

9. Визначимо коефіцієнт шорсткості поверхні. Для цього за формулою (7.9) знайдемо середню величину шорсткості поверхонь деталі:

$$\begin{aligned} Ra_{\text{сп}} &= \frac{\sum Ra_i \cdot n_{Ra_i}}{\sum n_{Ra_i}} = \\ &= \frac{0,4n_{0,4} + 1,6n_{1,6} + 3,2n_{3,2} + 6,3n_{6,3} + 12,5n_{12,5} + 50n_{50}}{n_{0,4} + n_{1,6} + n_{3,2} + n_{6,3} + n_{12,5} + n_{50}} = \\ &= \frac{0,4 \cdot 1 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 18 + 12,5 \cdot 2 + 50 \cdot 3}{1 + 2 + 1 + 18 + 2 + 3} = 10,93 \text{ мкм}. \end{aligned} \quad (7.16)$$

Тоді відповідно до формули (7.8) коефіцієнт шорсткості становитиме:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ra_{\text{сп}}} = \frac{1}{10,93} = 0,09 \text{ мкм}^{-1}. \quad (7.17)$$

Оскільки $K_{\text{ш}} < 0,32$, то за цим показником деталь технологічна.

7.4 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- назву і мету роботи;
- ескіз деталі, що вивчається, і зміст завдання;
- обґрунтування якісної оцінки технологічності деталі;
- кількісну оцінку технологічності;
- висновки за оцінкою технологічності та напрямки її поліпшення.

У процесі здавання звіту студент повинен дати відповіді на поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними в розд. 7.1 теоретичними відомостями.

7.5 Контрольні запитання

1. Що таке похибка базування?
2. Що розуміють під технологічністю конструкції виробу?
3. Які фактори впливають на забезпечення технологічності конструкції виробу?
4. Назвіть види технологічності конструкції виробу.
5. Назвіть вимоги які є неодмінною умовою забезпечення технологічності виробів.
6. Від чого залежить технологічність деталі при механічній обробці?
7. Коли геометричні елементи можуть бути визнані технологічними?
8. Що визначає номенклатуру спеціальних вимог щодо конструкції виробів?
9. Чим забезпечується точність складальних з'єднань?
10. Які вимоги необхідно виконувати під час розподілу складної складальної одиниці на простіші елементи?

Література

[1]–[5].

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Копей В., Одосій З., Онисько О. Технологія машинобудування : навчальний посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. 217 с.
2. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навч. посіб. Львів : Магнолія, 2018. 500 с.
3. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 125 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
5. Основи технології машинобудування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навч. посіб. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. І. Сухоруков. Вінниця : ВНТУ, 2021. 90 с.

Додаткова

6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
7. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
8. Горбатюк Є. О. Технологія машинобудування : навч. посіб. Львів : «Новий світ - 2000». 2009. 358 с.
9. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т. Технологічні основи машинобудування : навч. посіб. Івано-Франківськ : Факел, 2002. 182 с.
10. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М. Основи творення машин. Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.
11. Короп І. В., Петренко В. П. Інтелектуальна власність : навч. посіб. / за заг. ред. В. П. Петренка. Івано-Франківськ : Факел, 2008. 208 с.
12. Корець М. Машинознавство. Київ : Знання України, 2001. 448 с.
13. Флора В. Д. Принципи технічної творчості : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. 398 с.
14. Карпаш О. М., Шейнбаум В. С., Карпаш М. О. Інженерна діяльність в умовах сталого розвитку : навч. посіб. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. 285 с.
15. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

16. ДСТУ ГОСТ 2.601:2006 Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.
17. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник Львів : Світ, 2006. 624 с.
18. Технологія конструкційних матеріалів: підручник. 2-ге вид., перероб. і допов. / за ред. М. А.Сологуба. Київ : Вища шк., 2002. 374 с.
19. Аверченко В. І. Збірник задач і вправ з технології машинобудування : навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2001. 314 с.
20. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2006. 119 с.
21. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
22. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ : Вища школа, 1993. 414 с.
23. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин / Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. Київ : ІСДО, 1993. 304 с.
24. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2006. 119 с.
25. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
26. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій / В. Д. Рудь, О. О. Герасимчук, Т. П. Маркова. Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2008. 344 с.
27. Сторож Б. Д., Мазур М. П., Карпик Р. Т., Каразей В. Д. Технологічні основи машинобудування : навч. посібник. Хмельницький : ТУП, 2003. 153 с.
28. The CNC Handbook : Digital Manufacturing and Automation from CNC to Industry 4.0 / Hans Bernhard Kief, Helmut A. Roschiwal, Karsten Schwarz. Industrial Press, Inc., 2021. 2156 p.
29. Rakesh Kumar Phanden, Ravinder Kumar, Pulak Mohan Pandey, Ayon Chakraborty. Advances in Industrial and Production Engineering : Lecture Notes in Mechanical Engineering (ISBN 978-981-99-1328-2). Singapore : Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2023. 418 p.