

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХ-
НІКА»

Кафедра Технологія
Машинобудування

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ
для студентів спеціальності 131
«Прикладна механіка»
освітня програма "Технології машинобудування"
усіх форм навчання

2024

Конспект лекцій з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл.: Вишнепольський Є.В., – Запоріжжя: НУЗП, 2024 – 94 с.*

Укладач: Є.В. Вишнепольський, доц., к.т.н. каф. ТМБ

Рецензент: Н.В. Гончар, доц., к.т.н. каф. ТМБ

Відповідальний за випуск: С.І. Дядя, доц., к.т.н. зав. каф. ТМБ

Затверджено на засіданні кафедри
"Технології машинобудування"
протокол № 1 від 06.08.2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК Машинобудівного факультету
протокол № 1 від 27.08.2024 р.

*Автор висловлює щирю подяку авторам Штефану Є.В, Литвиненко О.А. НУХТ та О. В. Дерібо ВНТУ за матеріалами конспектів лекцій та підручників яких створено цей конспект лекцій.

ЗМІСТ

1	Тема 1. Вступ. Поняття виробничого і технологічного процесів (ТП). Їх структура.....	4
2	Тема 2. Види, типи, форми організації виробництва, основні характеристики. Приклади. Основні етапи виробничого процесу.....	9
3	Тема 3. Якість ТП. Деталь. Виріб. Показники якості.....	18
4	Тема 4. Основна характеристика похибок механічної обробки, обумовлених різними технологічними факторами. Сумарна похибка.....	23
5	Тема 5. Базування заготовок Класифікація баз. Основні види розрахунку похибок базування та закріплення. Принципи та вимоги базування.....	28
6	Тема 6. Похибки, зумовлені пружними відтисканнями складових системи ВПД: верстата, пристосування, інструмента та деталі. Копіювання похибок форми.....	43
7	Тема 7. Похибки, зумовлені зношенням інструменту.....	49
8	Тема 8. Похибки, зумовлені неточністю верстата та настроювання інструмента на розмір.....	54
9	Тема 9. Похибки, зумовлені тепловими деформаціями складових системи ВПД.....	60
10	Якість поверхневого шару. Вплив технологічних факторів на якість поверхні.....	64
11	Шляхи підвищення точності обробки та фізико-механічних властивостей поверхонь деталей машин.....	75
12	Складання машини. Методи досягнення точності при складанні (ПВЗ,НПВЗ).....	88
13	ЛІТЕРАТУРА.....	94

Тема 1. Вступ. Поняття виробничого і технологічного процесів (ТП). Їх структура (2 години)

Технологія - сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей сировини, матеріалу або напівфабрикату для отримання чистої продукції (відповідними знаряддями виробництва).

Основним завданням технології машинобудування є розвиток знань, що забезпечують безперервне вдосконалення технологій методів виробництва і підвищення продуктивності в машинобудуванні.

Її мета: отримання необхідних суспільству машин високої якості, виготовлення їх при найменшій собівартості і найменших витратах.

Види технологій:

- Заготівельна
- Механічної обробки
- Складання
- Випробувань і ін.

Галузі машинобудування:

- автомобілебудування;
- моторобудування;
- суднобудування;
- верстатобудування;
- авіабудування і ін.

Предметом вивчення технології машинобудування є технологія механічної обробки і складання.

Сутність технології машинобудування: знайти рішення і відповіді на питання:

1) Як? На чому? Чим? Коли? Якими методами метрології та автоматизації забезпечити якісне виконання технологічного процесу?

2) Якими методами виготовити заготовку?

3) Як обробляти? На якому обладнанні? Яким інструментом?

4) У якій послідовності проводити обробку або складання?

5) Як? Коли? Чим контролювати об'єкт виготовлення?

Технологія машинобудування охоплює всі етапи процесу виготовлення машинобудівної продукції. На підприємстві одночасно з основними (безпосередньо пов'язаними з виготовленням деталей і складання їх) процесами відбувається безліч допоміжних процесів:

- отримання матеріалів;
- транспортування;
- облік і зберігання;
- обробка і консервація;
- виготовлення пристосування, інструмента;
- ремонт.

Виробничий процес (ВП) - сукупність окремих процесів, що здійснюються для отримання з матеріалів і напівфабрикатів готових машин і виробів.

Структура виробничого процесу. Виробничий процес – це сукупність взаємопов'язаних дій людей, засобів праці та природи, потрібних для виготовлення продукції. Основними елементами виробничого процесу є процес праці як свідомо діяльність людини, предмети та засоби праці (рис. 1).

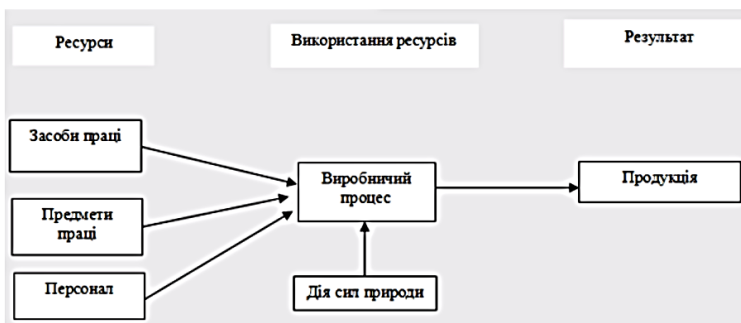


Рис. 1. Схема елементів виробничого процесу.

Це ресурсні складові виробничого процесу, які потребують певних витрат коштів. Поряд з цим у багатьох виробництвах використовуються природні процеси, які здійснюються під впливом сил природи (біологічні, хімічні процеси у аграрних та аграрно-промислових виробництвах, сушіння, остигання деталей після термічної обробки тощо). Природні процеси потребують витрат часу, а витрат ресурсів — тільки у випадку їх штучної інтенсифікації.

Головною складовою виробничого процесу є технологічний процес — сукупність дій по зміні та значенню стану предмета праці. На підприємствах здійснюються різноманітні виробничі процеси. Їх

поділяють передусім за такими ознаками: призначення, перебіг у часі, автоматизації.

За призначенням виробничі процеси поділяються на основні, допоміжні та обслуговуючі.

Основні процеси — це процеси безпосереднього виготовлення основної продукції) підприємства, яка визначає його виробничий профіль, спеціалізацію і поступає на ринок як товар для продажу.) Всі процеси у ряді виробництв поділяються на стадії: обробну, випускную (складальную).

Разом вони створюють основне виробництво. До допоміжних належать процеси виготовлення продукції, яка використовується на самому підприємстві для забезпечення правильного протікання основних процесів.

Допоміжні процеси групуються за їх призначенням, утворюючи такі. Допоміжні виробництва, як ремонтне, інструментальне, енергетичне та ін. Обслуговуючі процеси забезпечують нормальні умови здійснення основних і допоміжних процесів. До них належать складські, транспортні процеси.

За перебігом у часі виробничі процеси поділяють на дискретні (перервні) та безперервні. Дискретним Процесам притаманна циклічність, пов'язана з виготовленням виробів певної форми, які обчислюються в штуках (машини, прилади, одяг-тощо). Безперервні - продуктивність одного робочого місця, кількість робочих місць.

Принципи організації виробничого процесу. Виробничий процес і окремі його операції повинні бути раціонально організовані у просторі і часі. Для цього слід дотримуватися певних принципів при проектуванні та організації виробничого процесу. До таких принципів належать: спеціалізація, пропорційність, паралельність, прямо точність, безперервність, ритмічність, автоматичність, гнучкість, гомеостатичність.

➤ Принцип пропорційності вимагає, щоб у всіх частинах виробничого процесу, у всій взаємопов'язаній системі підрозділів і машин була узгоджена пропускна спроможність, тобто однакова здатність виконання робіт і випуску продукції.

Недотримання цього принципу призводить до виникнення "вузьких місць" або неповного завантаження окремих підрозділів. На підприємствах із складною структурою виробництва важко

досягти повної пропорційності потужностей окремих підрозділів (бригад, дільниць, цехів, виробництв). Вона періодично порушується внаслідок освоєння нових виробів, неоднакових темпів зниження їх трудомісткості у різних підрозділах тощо. Виникнення диспропорцій — закономірний результат розвитку виробництва, проте їх потрібно передбачати і планомірно усувати.

- Принцип паралельності передбачає одночасне виконання окремих операцій і процесів. Додержання цього принципу особливо важливе при виготовленні складних виробів, що компонуються із багатьох деталей, вузлів, агрегатів, послідовне виробництво яких зайняло б багато часу. Паралельність досягається раціональним розчленуванням виробів на складові частини, суміщенням часу виконання різних операцій над ними, одночасним виготовленням різних виробів. Паралельне виконання робіт на робочому місці забезпечується багато-інструментальною обробкою заготовок, суміщенням часу виконання основних і допоміжних операцій.
- Принцип прямоточності означає, що предмети праці в процесі обробки повинні мати найкоротші маршрути по всіх стадіях і операціях виробничого процесу, без зустрічних і зворотних переміщень. Для дотримання цього принципу цехи, дільниці, робочі місця, наскільки це можливо, розташовують за ходом технологічного процесу., ^Допоміжні виробництва, служби, склади у свою чергу розміщують по можливості ближче до тих підрозділів, які вони обслуговують.
- Принцип безперервності вимагає, щоб перерви між суміжними технологічними операціями були мінімальні або зовсім ліквідовані. Найбільшою мірою цей принцип реалізується у безперервних виробництвах — хімічному, металургійному, енергетичному та ін. У дискретному виробництві, де технологічний процес має широку диференціацію, повністю ліквідувати перерви неможливо як з технологічних, так і організаційних причин. В цих умовах важливим завданням є мінімізація перерв у структурі виробничого циклу шляхом синхронізації операцій, застосування прогресивних методів оперативного управління виробництвом. Безперервність виробничого процесу повинна доповнюватись безперервністю роботи устаткування і робітників.

- Принцип ритмічності полягає в тому, що робота всіх підрозділів підприємства і випуск продукції повинні здійснюватися за певним ритмом, планомірною повторюваністю. При додержанні принципу ритмічності у рівні проміжки часу виготовляється однакова або рівномірно зростаюча кількість продукції, забезпечується рівномірне завантаження робочих місць. Ритмічна робота дозволяє найповніше використовувати виробничу потужність підприємства і його підрозділів.
- Принцип автоматичності передбачає економічно обґрунтоване вивільнення людини від безпосередньої участі у виконанні операцій виробничого процесу. Особливо актуальна реалізація цього принципу у виробництвах з важкими і шкідливими умовами праці. Автоматизуються не тільки виробничі процеси, а й інші сфери діяльності людини, в тому числі управління.
- Принцип гнучкості означає, що виробничий процес повинен оперативно адаптуватися до зміни організаційно-технічних умов, пов'язаних з переходом на виготовлення іншої продукції або її модифікацією. Гнучкість виробничого процесу дозволяє освоювати нову продукцію у короткий термін з меншими витратами. Значення принципу гнучкості особливо зростає в умовах швидких темпів науково-технічного прогресу, коли об'єкти виробництва часто міняються. Гнучкість виробничого процесу досягається універсалізацією знарядь праці, засобів автоматизації та методів обробки, впровадженням верстатів з ЧПК, гнучких виробничих систем.
- Принцип гомеостотичності вимагає, щоб виробнича система була здатною стабільно виконувати свої функції в межах допустимих відхилень і протистояти дисфункціональним впливам. Це досягається створенням технічних і організаційних механізмів саморегулювання і стабілізації. До стабілізаційних організаційних систем належать системи оперативного планування і регулювання виробництва, планово-запобіжного ремонту устаткування, резервних запасів та ряд інших заходів.

Розглянуті принципи раціональної організації виробничого процесу тісно між собою пов'язані, доповнюють один одного і різною мірою реалізуються на практиці в конкретних умовах. При проектуванні виробничого процесу, його організації треба їх враховувати, але

вибирати оптимальні організаційно-технічні рішення за критерієм економічної ефективності.

Тема 2. Види, типи, форми організації виробництва, основні характеристики. Приклади. Основні етапи виробничого процесу. (2 години)

Тип виробництва – це техніко-економічна характеристика виробничого процесу, яка обумовлена його спеціалізацією, повторюваністю, ритмічністю і обсягом виробництва.

Одиничний тип – характеризується широкою номенклатурою продукції, малим обсягом випуску однакових виробів і повною відсутністю повторюваності випуску готових виробів. (Багато ручної праці, висока якість, мала продуктивність.)

Серійне виробництво – має обмежену номенклатуру продукції, виготовлення окремих виробів періодично повторюється певними серіями і загальний обсяг може бути дуже великий.

Масове виробництво – характеризується вузькою номенклатурою продукції, великим обсягом безперервного і тривалого виготовлення окремих виробів.

Дослідне виробництво – в якому виготовляються зразки або партії для проведення дослідних робіт, випробувань. На їх основі розробляється конструкторська та технологічна документація для серійного та масового виробництва.

Тип виробництва можна визначити за коефіцієнтом спеціалізації робочих місць:

$$K_{СП} = \frac{\Phi_n}{t \times N}$$

де Φ_n - номінальний фон часу роботи на одному робочому місці, год.

t – час виконання однієї технологічної операції, год.

N – кількість виробів, що обробляються на даному робочому місці.

Якщо $K_{СП} = 1 - 2$ – то робоче місце належить до масового виробництва.

$K_{СП} = 2 - 10$ – крупносерійне виробництво.

$K_{cn} = 10 - 20$ – серійне виробництво.

$K_{cn} = 20 - 30$ – дрібносерійне виробництво.

$K_{cn} > 30$ – одиничний тип виробництва.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика типів виробництва

Чинники	Одиничне виробництво	Серійне виробництво	Масове виробництво
1.Номенклатура виробів	Необмежена	Обмежена серіями	Один або декілька виробів
2.Повторювальність	Відсутня	Періодична	Постійна
3.Устаткування	Універсальне	Універсальне, спеціальне	Спеціалізоване
4.Розробка технологічного процесу	На один виріб	По детальна	Поопераційна
5.Застосованні інструменти	Універсальні	Універсальні, спеціальні	Спеціальні
6.Закріплення деталей на операціях за устаткуванням	Не закріпленні	Частково закріплені	Обов'язково закріпленні
7.Кваліфікація робітників	Дуже висока	Висока	Середня і дуже висока
8 Собівартість одиниці продукції	Висока	Середня	Низька

Організація виробництва – це комплекс заходів, спрямованих на раціональне поєднання процесів праці з речовинними елементами виробництва в просторі та часі з метою підвищення ефективності виробництва, тобто досягнення поставлених завдань у найкоротший строк за найкращого використання виробничих ресурсів.

Раціональна організація виробництва полягає в тому, щоб інтегрувати всю сукупність різномірних компонентів процесу виробництва

у цілісну і високоефективну виробничу систему, всі елементи якої оптимально поєднані між собою за всіма аспектами їх функціонування.

Організація виробництва й оптимальне управління ним є найважливішими чинниками прискорення науково-технічного прогресу. Вони забезпечують найбільш повне й ефективне використання трудових, матеріальних і фінансових ресурсів підприємства, зниження собівартості та підвищення якості продукції, зростання продуктивності праці й ефективності виробництва, істотне скорочення тривалості циклу “дослідження – проектування – виробництво – реалізація” та підвищення темпів відновлення продукції та технічного розвитку виробництва.

Головна мета організації виробництва – забезпечити високу економічну та соціальну ефективність функціонування підприємств. Водночас із генеральною метою підприємства – виробництвом і реалізацією матеріальних благ для задоволення потреб покупців – підприємство прагне досягти безліч окремих цілей: економічних, соціальних, техніко-технологічних, екологічних та ін.

Безліч цілей підприємства визначає різноманітні завдання та напрями організаційної діяльності (табл. 5.1).

Система організації виробництва – це сукупність організаційних форм, методів і правил, здійснення яких забезпечує раціональне функціонування елементів виробничої системи та їх взаємодію в процесі виробництва продукції.

Під час формування системи організації виробництва можна виділити окремі функції організаційної діяльності, згрупувавши їх у вигляді відособлених комплексів – підсистем. В основу виокремлення цих функцій покладений цільовий підхід. Охарактеризовані в табл. 5.1 сфери діяльності підприємства, основні цілі організації виробництва і напрями діяльності за їхньою реалізацією, дозволяють спочатку виокремити, а потім і згрупувати види організаційної роботи по підсистемам організації виробництва (за елементами, функціями на основі інтеграційного підходу).

Таблиця 2.1 – Основні цілі організації виробництва та напрями роботи щодо їх реалізації

Напрями діяльності	Основні цілі організації виробництва	Напрями роботи щодо реалізації цілей організації виробництва
1	2	3
Виготовлення і постачання продукції споживачам	Задоволення попиту споживачів, постачання продукції відповідно до замовлень і договорів. Виконання планів виробництва з номенклатури, асортименту і якості продукції	Організація маркетингових досліджень; оперативного планування виробництва; виробничих процесів; матеріального і технічного забезпечення виробництва; збуту і реалізації продукції
Підвищення якості і забезпечення конкурентноспроможності продукції	Розробка нових видів продукції й удосконалення виробів, що випускаються, відповідно до вимог ринку. Забезпечення стабільності випуску продукції високої якості, скорочення браку	Організація маркетингових досліджень; підготовка виробництва й освоєння нових видів продукції; робота щодо забезпечення якості продукції і організації технічного контролю; метрологічне забезпечення
Раціональне використання виробничих ресурсів	Підвищення продуктивності праці працівників. Поліпшення використання основних фондів і виробничих потужностей. Скорочення тривалості виробничого циклу і запасів товарно-матеріальних цінностей. Раціоналізація інформаційних потоків	Організація праці працівників, функціонування знарядь праці, руху предметів праці у виробництві. Організація інформаційних потоків

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Науково-технічний і організаційний розвиток виробництва	Удосконалення виробничо-технічної бази підприємств і підвищення рівня організації виробництва	Реалізація робіт зі складання і виконання планів технічного розвитку й удосконалення організації виробництва
Удосконалення економічних відносин на підприємстві	Створення умов для забезпечення єдності інтересів суспільства, колективу і його членів	Надання економічної самостійності підрозділам підприємств і налагодження господарських відносин між ними
Соціальна організація колективу підприємства	Створення умов для підвищення якості трудового життя й активізації творчої активності працівників	Організація праці працівників. Залучення їх до вирішення завдань організації та управління виробництвом

У складі виробничого процесу виокремлюються групи процесів, різнохарактерних за змістом, принципами та методами організації. Відповідно в складі системи організації виробництва виокремлюються кілька підсистем, що враховують особливості тих або інших виробничих процесів. Цей комплекс підсистем включає *функціональні підсистеми*: організації підготовки виробництва й освоєння випуску нової продукції, організації основних виробничих процесів, організації виробничої інфраструктури, організації робіт із забезпечення якості продукції, організації матеріального забезпечення виробництва, організації збуту і реалізації продукції (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Функціональні підсистеми організації виробництва

Організація виробництва на підприємстві – форма одиничного розподілу праці. Розрізняють такі рівні організації виробництва на підприємстві:

1. *організація виробництва на робочому місці* – оптимальне поєднання засобів праці, предметів праці, робочої сили;
2. *внутрішньоцехова організація праці* – пов’язана з організацією праці на дільницях та організацією праці між дільницями;
3. *міжцехова організація виробництва* – організація виробничих процесів, які виконуються цехами, спрямована на функціонування їх як єдиного цілого.

Виділяють три види організації виробництва:

1. *поелементний* – усі елементи виробничого процесу повинні відповідати один одному, що є вихідним моментом його організації;
2. *просторовий* – пов’язаний з певним рівнем організації цехів і ділянок та відповідним рівнем виробничої структури підприємства;
3. *часовий* розріз організації виробництва – оптимальне поєднання в часі початку і закінчення окремих виробничих процесів, пов’язаних між собою.

Організація будь-якого процесу виробництва здійснюється відповідно до:

1. форми, найбільш характерної тому чи іншому виробництву;
2. типу виробництва, що відображає специфічні його особливості;
3. методу організації виробництва, визначаючи “масовість” або масштабність випуску виробів в одиницю часу.

До найбільш відомих і широко поширених в сучасних умовах господарювання *форм організації виробництва* відносяться концентрація, спеціалізація, кооперування, комбінування та диверсифікація.

Концентрація є процесом зосередження виготовлення продукції на обмеженій кількості підприємств і в їхніх виробничих підрозділах. Рівень концентрації залежить, передусім, від обсягу випуску продукції, величини одиничної потужності машин, агрегатів, апаратів, технологічних установок, кількості однотипного устаткування, розмірів і числа технологічно однорідних виробництв. Для вимірювання рівня концентрації використовуються показники обсягу продукції, чисельності працівників, а в окремих галузях – вартості основних засобів.

Під *спеціалізацією* розуміється зосередження на підприємстві і в його виробничих підрозділах випуску однорідної, однотипної продукції або виконання окремих стадій технологічного процесу. Розрізняють технологічну, предметну та подетальну спеціалізацію.

Технологічна спеціалізація – відособлення підприємств, цехів і ділянок з метою виконання певних операцій або стадій виробничого процесу (наприклад, прядильні, ткацькі і обробні фабрики в текстильній промисловості).

Предметна спеціалізація передбачає концентрацію виробництва на підприємстві (в цеху) повністю готових видів продукції (наприклад, мотоциклів, велосипедів, хлібопродуктів тощо).

Подетальна спеціалізація є різновидом предметної, заснована на виробництві окремих деталей і частин готової продукції (моторів, підшипників тощо).

У практиці діяльності підприємств часто поєднуються всі форми спеціалізації. Передумовами підвищення рівня спеціалізації є стандартизація, уніфікація та типізація процесів. *Стандартизація* встановлює суворі норми якості, форми та розміри деталей, вузлів, готової продукції. Вона створює передумови для обмеження номенклатури продукції, яка випускається, та збільшення масштабів її виробництва. *Уніфікація* припускає скорочення існуючого різноманіття в типах конструкцій,

формах, розмірах деталей, заготовок, вузлів, матеріалів і вибір з них найбільш технологічно та економічно доцільних. *Типізація* процесів полягає в обмеженні різноманітності виробничих операцій, розробленні типових процесів для груп технологічно однорідних деталей. Проте слід мати на увазі, що реалізація розглянутих передумов спеціалізації не повинна погіршувати споживчих властивостей готової продукції, зменшувати попиту на неї.

В умовах конкуренції в ряді випадків привабливішою для підприємства є *диверсифікація виробництва*, яка допускає різноманітність сфер діяльності за рахунок розширення номенклатури продукції. Спеціалізація на випуску обмеженого асортименту продукції, орієнтованого на задоволення чітко визначених потреб ринку, властива відносно невеликим за розмірами підприємствам.

Кооперація передбачає виробничі зв'язки підприємств, цехів, ділянок, які спільно беруть участь у виробництві продукції. В її основі лежить подетальна та технологічна форми спеціалізації. Внутрішньозаводська кооперація виявляється в передачі напівфабрикатів з одних цехів в інші, в обслуговуванні основних підрозділів допоміжними. Вона сприяє повному завантаженню виробничих потужностей і ліквідації “вузьких місць”, забезпечує поліпшення результатів діяльності підприємств у цілому. До основних показників, що характеризують рівень кооперації, належать: частка деталей і напівфабрикатів, отриманих по кооперованих постачаннях, у загальному обсязі продукції, яка випускається; кількість підприємств, що кооперуються з даним підприємством; частка деталей і напівфабрикатів, які поставляються на сторону, тощо.

Комбінування - це з'єднання на одному підприємстві виробництв, іноді різногалузевих, але тісно пов'язаних між собою. Комбінування може мати місце:

- на базі поєднання послідовних стадій виготовлення продукції (текстильні, металургійні й інші комбінати);
- на основі комплексного використання сировини (підприємства нафтопереробної, хімічної промисловості);
- при виділенні на підприємстві підрозділів з перероблення відходів (підприємства лісової, шкіряної й інших галузей промисловості).

Показниками, які характеризують рівень комбінування, є кількість і вартість продуктів, які одержуються з вихідної сировини, що переробляється на комбінаті; частка сировини і напівфабрикатів, які переробляються в подальший продукт на місці їх отримання (наприклад,

чавуну в сталь, сталі в прокат); частка побічної продукції в загальному обсязі продукції комбінату тощо.

Метод організації виробництва – це певний спосіб виконання виробничого процесу, який передбачає сукупність відповідних заходів та прийомів його реалізації. Для методу організації виробництва особливо важливими є взаємозв'язок послідовності виконання операцій технологічного процесу з порядком розміщення обладнання і ступінь неперервності виробничого процесу.

Розрізняють три методи організації виробництва:

- непотоковий (одиничний);
- потоковий;
- автоматизований.

Потокове виробництво – високоефективний метод організації виробничого процесу, який передбачає обробку предметів праці за встановленим найкоротшим маршрутом з фіксованим часом.

Головною ознакою потокового виробництва є стійка номенклатура випуску однорідної продукції. У потоковому виробництві найповніше виражені основні принципи високоефективної організації виробничого процесу і, передусім, принципи прямоточності, неперервності. Потокові методи застосовуються в умовах виготовлення значних обсягів продукції протягом тривалого часу переважно у масовому та великосерійному виробництвах.

Потокове виробництво є вищою формою реалізації масового виробництва з такими характерними особливостями:

- розподіл технологічного процесу на певні операції та закріплення їх за конкретними робочими місцями;
- точно визначена тривалість (синхронність) операцій;
- розміщення робочих місць у послідовності технологічного процесу виготовлення виробу (предметний принцип розміщення).

Основною структурною ланкою потокового виробництва є **потокова лінія** – технологічно та організаційно відокремлена група робочих місць, на яких виготовляється один або кілька подібних типорозмірів виробів.

Автоматичні потокові лінії – це сукупність машин, які автоматично, без участі людини, виконують задані технологічні операції, охоплюючи транспортування, контроль якості тощо.

Отже, **автоматизація виробництва** – процес, за якого всі або переважна частина операцій, що потребують фізичних зусиль

робітника, передаються машинам і відбуваються без його безпосередньої участі. За робітником залишається тільки функція налагодження, нагляду та контролю.

Тема 3. Якість ТП. Деталь. Виріб. Показники якості. (2 години)

Якість продукції – це сукупна характеристика основних властивостей, що визначають здатність задовольняти відповідні потреби найбільш прийнятним і економічним способом відповідно до призначення.

Властивості, які визначають якість продукції, можуть характеризуватися:

- параметрами якості (кількісна характеристика якості);
- ознаками якості (якісні характеристики).

Параметри та ознаки якості об'єднані в показники якості.

Для оцінки рівня якості продукції всі показники якості згруповані. Класифікація груп показників якості така:

1. Показники призначення.
2. Показники надійності.
3. Показники економічного використання сировини, матеріалів, палива й енергії.
4. Показники технологічності.
5. Показники транспортабельності.
6. Ергономічні показники.
7. Екологічні показники.
8. Показники безпеки.
9. Естетичні показники.
10. Показники стандартизації й уніфікації.
11. Патентно-правові показники.
12. Економічні показники.

Показники призначення. Група показників призначення характеризує ступінь відповідності виробу його цільовому призначенню, а також властивості, що визначають основні функції, для виконання яких виріб призначений. Показники призначення визначають і сферу

застосування даного виробу. Крім того, показники призначення виробів, наприклад, машинобудування й деяких інших галузей, характеризують корисну роботу, чинену виробом.

Група показників призначення складається з таких підгруп:

- класифікаційних;
- функціональних;
- конструктивних;
- складу та структури.

Класифікаційні показники характеризують належність даної продукції до відповідної класифікаційної групи, оскільки будь-яка сукупність однорідної продукції має свою класифікацію.

Функціональні показники характеризують корисний ефект від експлуатації або вживання продукції, а також прогресивність технічних рішень, які були реалізовані в даній продукції. До функціональних показників можна віднести: питому потужність, продуктивність машин, точність виконання операцій та інші.

Конструктивні показники характеризують основні проектно-конструкторські рішення, зручність монтажу та установки, можливість агрегативання та взаємозамінності продукції. До конструктивних показників відносять: коефіцієнт блочності, рівень механізації та автоматизації роботи виробу, питомі розміри та інші.

Показники складу та структури характеризують в оброблених матеріалах кількість домішок хімічних елементів та структурний стан цих матеріалів. До показників складу матеріалу можна віднести відсотковий вміст компонентів.

Показники надійності. Надійність – це властивість виробу зберігати в установлених часом межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виробу виконувати відповідні функції в заданих режимах і умовах використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання, транспортування і інших дій.

До показників надійності відносять:

Безвідмовність – властивість виробу безупинно зберігати працездатність протягом заданого часу або наробітку в певних умовах експлуатації.

Довговічність – властивість виробу зберігати в часі працездатність, із необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту, до його граничного стану, застереженого технічною документацією.

Ремонтопридатність – властивість виробу, що полягає в його пристосованості до підтримки і відновлення працездатного стану шляхом виявлення та усунення дефекту й несправності технічною діагностикою, обслуговуванням або ремонтом.

Збереженість – властивість виробів безупинно зберігати значення встановлених показників його якості в заданих межах протягом тривалого зберігання і транспортування.

Показники технологічності характеризують властивості виробів, що спричиняють оптимальний розподіл витрат матеріалів, коштів, праці й часу під час підготовки виробництва й виготовлення, а також під час експлуатації, ремонтів та утилізації. Тому варто розрізняти й оцінювати роздільно технологічність створення виробів, технологічність їхнього експлуатаційного періоду життєвого циклу й технологічність утилізації. Одиначними показниками технологічності можуть бути різні характеристики процесу виробничого виготовлення виробу. У машинобудуванні, наприклад, до одиначних показників технологічності відносять коефіцієнт складності форми виробу, показники точності обробки, коефіцієнт оброблюваності матеріалу, взаємозамінність деталей та інші.

Узагальненими показниками технологічності виробів служать: трудомісткість, матеріалоемність, енергоємність і собівартість виготовлення.

Ергономічні показники характеризують машину в системі "людина-машина" і враховують її пристосованість до антропометричних, біомеханічних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, що проявляється у виробничих процесах. Групу ергономічних показників технічних виробів розподіляють на чотири підгрупи:

а) гігієнічні й біомеханічні – показники, використовувані під час визначення відповідності виробу гігієнічним умовам роботи людини з виробом;

б) антропометричні – показники, використовувані при ' визначенні відповідності виробу розмірам, формі й вазі людини, що працює із цим виробом;

в) фізіологічні й психофізіологічні – показники відповідності виробу фізіологічним властивостям людини й особливостям функціонування його органів почуттів (силові й швидкісні можливості людини; пороги слуху, зору, тактильного відчуття і т.ін.);

г) психологічні – показники відповідності виробу психологічним особливостям людей відповідної професії, відбитим в інженерно-психологічних вимогах, вимогах психології праці.

До підгрупи гігієнічних і біомеханічних показників входять кількісні характеристики: освітленості, температури, вологості, напруженості магнітного й електричного полів, випромінювання, токсичності, шуму, вібрації, перевантажень від прискорень та ін.

До підгрупи антропометричних показників входять показники відповідності конструкції розмірам тіла людини, формі тіла і його окремих частин, ваги людини й ін.

До підгрупи фізіологічних і психофізіологічних показників входять показники відповідності конструкції виробу силовим, зоровим, слуховим, дотикальним та іншим можливостям людини.

До підгрупи психологічних показників входять показники відповідності виробу можливостям сприйняття й переробки інформації, закріпленім і новоформованим навичкам роботи людини з виробом.

Естетичні показники характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання й стабільність товарного вигляду виробу. Відповідність виробу вимогам технічної естетики характеризується такими показниками: інформаційною виразністю, раціональністю форми, цілісністю композиції, досконалістю виготовлення, стабільністю товарного вигляду.

Методи визначення значень показників якості продукції. Методи визначення числових значень показників якості промислової продукції підрозділяються на дві групи:

- за способами одержання інформації;
- за джерелами одержання інформації.

Залежно від способу одержання інформації методи визначення числових значень показників якості продукції поділяються на вимірювальний, реєстраційний, органолептичний і розрахунковий. Залежно від джерела інформації методи визначення значень показників якості

продукції розподіляються на традиційний, експертний, соціологічний (маркетинговий).

Вимірювальний метод визначення числових значень показників якості продукції заснований на інформації, одержуваній під час використанні технічних засобів виміру. Вимірювальним методом визначають більшість показників якості. Наприклад, масу виробу, форму й розміри, механічні й електричні напруги, число обертів двигуна, швидкість транспортних засобів та інші одиничні показники якості.

Реєстраційний метод заснований на використанні інформації, одержуваної шляхом підрахунку певних подій, предметів або витрат. Цим методом визначають, наприклад, число відмов під час експлуатації виробів, заданий час, витрати на створення та експлуатацію виробів, число різних частин складного виробу (усього, стандартними, уніфікованими, оригінальними, захищеними патентами й т.п.). Реєстраційним методом визначають, наприклад, показники довговічності, безвідмовності і збереженості, а також показники стандартизації й уніфікації, патентно-правові показники й ін.

Органолептичний метод використовує інформацію, одержану в результаті аналізу відчуттів від органів відчуття людини: зору, слуху, нюху, болючих відчуттів, дотику й смаку. При цьому методі значення показників знаходять шляхом аналізу отриманих відчуттів і образних сприйнятів з урахуванням наявного досвіду, і виражаються вони в балах. Очевидно, що точність і вірогідність значень показників якості, обумовлених даним методом, залежать від здатностей, кваліфікації й навичок осіб, які визначають відповідні параметри властивостей, що входять до складу характерних властивостей продукції. При цьому методі не виключається використання деяких технічних засобів (крім вимірювальних і реєстраційних), що підвищують можливості органів відчуттів людини, наприклад, лупи, мікроскопа, мікрофона з підсилювачем гучності й т.ін. Органолептичним методом визначають такі показники якості, як ергономічні й естетичні.

Розрахунковий метод характерний тим, що він ґрунтується на використанні теоретичних або емпіричних залежностей для визначення числових значень показників якості виробів. Цим методом користуються під час проектування й конструювання техніки, коли розроблюваний виріб ще не може бути об'єктом експериментальних досліджень. Як правило, розрахунковий метод використовують для прогнозування

або визначення оптимальних (нормативних) значень, наприклад, показників продуктивності, трудомісткості, надійності й ін.

Експертний метод визначення значень показників якості продукції використовують тільки у разі, коли ті або інші показники якості не можуть бути визначені іншими, більш об'єктивними методами. Експертний метод рішення завдань заснований на використанні узагальненого досвіду й інтуїції фахівців-експертів. Експертний метод оцінки рівня якості технічної продукції використовується в тих випадках, коли неможливо або дуже важко застосувати методи об'єктивного визначення значень одиничних або комплексних показників якості такими методами, як інструментальний, емпіричний або розрахунковий.

Рівень якості. Під час оцінки рівня якості, тобто технічного рівня однорідних виробів, варто використовувати диференціальний, комплексний, змішаний або інтегральний методи.

Для оцінки технічного рівня (рівня якості) різномірних виробів застосовують метод на основі індексації якості. Іноді у відношенні оцінки однорідних або різномірних виробів використовують метод експертних оцінок якості.

Диференціальний метод оцінки якості виробів складається в зіставленні одиничних показників якості оцінюваних виробів з відповідними показниками базового зразка.

У той же час при диференціальному методі оцінки технічного рівня (якості) промислової продукції кількісно оцінюються окремі властивості виробу, що дозволяє приймати конкретні рішення з керування якістю даної продукції.

При диференціальному методі оцінки якості приладобудівної продукції розраховують окремі відносні показники рівня якості оцінюваної продукції за формулами

Тема 4 Основна характеристика похибок механічної обробки, обумовлених різними технологічними факторами. Сумарна похибка.(2 години)

На процес механічної обробки залежно від конкретних технологічних умов впливає низка факторів. До таких факторів відносять:

- неточності установаження заготовки у верстатному пристрої;

- пружні зміщення в системі «верстат – пристрій – інструмент – заготовка» під дією сил різання;
 - неточності настроєння різального інструмента на розмір обробки;
 - деформації заготовки під дією сил закріплення;
 - зношування різального інструмента;
 - геометричні неточності верстата і верстатного пристрою;
 - теплові деформації в системі «верстат – пристрій – інструмент – заготовка»;
 - деформації від дії залишкових напружень в матеріалі заготовки.
- Вплив цих факторів спричиняє похибки обробки.

Під похибкою обробки (machining error) розуміють відхилення отриманої під час механічної обробки величини певного геометричного параметра від заданого [3]. Абсолютну похибку обробки (absolute error of machining) однієї заготовки показують в одиницях параметра, що розглядається:

$$\Delta X = X_d - X_n \quad (4.1)$$

де X_d і X_n — відповідно дійсне (отримане) і номінальне значення параметра.

За несиметричного розташування поля допуску відносно номінального значення замість номінального значення параметра приймають його середнє значення. Таким параметром може бути:

- діаметральний розмір;
- розмір (лінійний чи кутовий), що визначає бажане відносне розташування поверхні чи поверхонь відносно іншої поверхні чи поверхонь;
- вимога щодо правильності форми поверхні.

В технологічних розрахунках певна неточність виготовлення розглядається як похибка обробки тільки тоді, коли за наявних на операції технологічних умов ця неточність не може бути ліквідована або зменшена до величини, якою можна знехтувати, завдяки вжиттю відповідних заходів.

Похибки обробки за характером виявлення поділяють на три види: систематичні постійні; систематичні, що закономірно змінюються; випадкові.

Систематична постійна похибка (systematic constant error) — це похибка, яка у всіх деталях партії залишається однаковою. Прикладом є похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата.

Систематична похибка, що закономірно змінюється (systematic error that changes regularly) — це похибка, що змінюється за певним законом з переходом від однієї партії деталі до іншої. Прикладом є похибка, що спричиняється розмірним зносом різця.

Випадкова похибка (accidental error) має різні значення у всіх деталях партії, причому ці значення не підпорядковуються очевидній закономірності.

Заздалегідь визначити момент появи і величину цієї похибки для кожної конкретної деталі партії неможливо. Найчастіше виникнення випадкових похибок є наслідком одночасного впливу не пов'язаних між собою факторів. Прикладом є похибка установа заготовки у верстатній пристрій.

Сумарна похибка обробки (total machining error) або поле розсіювання заданого параметра є наслідком впливу низки технологічних факторів, кожний з яких зумовлює появу первинної або елементарної похибки (elementary error).

Мета визначення сумарної похибки обробки ε_{Σ} залежить від призначення технологічного переходу.

Якщо здійснюється *остаточна обробка*, то, визначивши ε_{Σ} , перевіряють виконання умови

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T, \quad (4.2)$$

де T — допуск отриманого на переході розміру.

Якщо умова (4.2) не виконується, то мають бути вжиті заходи щодо зменшення ε_{Σ} . Визначивши ступінь впливу кожної з елементарних похибок на величину ε_{Σ} , можна встановити, які саме заходи потрібно реалізувати для зменшення сумарної похибки.

Для переходів проміжної обробки сумарну похибку найчастіше визначають для знаходження допусків проміжних технологічних розмірів, тобто визначивши ε_{Σ} , приймають $\varepsilon_{\Sigma} = T$.

Сумарну похибку, що виникає під час обробки на попередньо настроєному верстаті, в загальному випадку можна записати у вигляді такої функціональної залежності

$$\varepsilon_{\Sigma} = f(\varepsilon_{\nu}, \varepsilon_H, \varepsilon_{\text{ПД}}, \varepsilon_i, \varepsilon_B, \varepsilon_T). \quad (4.3)$$

Всі величини, що знаходяться в дужках, є елементарними похибками і не залежить одна від одної. Для кожного конкретного випадку ці похибки визначаються умовами виконання технологічної операції.

Таким чином, вважається, що на точність механічної обробки заготовок деталей машин на настроєних верстатах впливають такі елементарні похибки [3 та ін.]:

1) похибка установлення заготовки у верстатний пристрій у ε_{ν} (далі – похибка установлення (setting error);

2) похибки настроєння верстата ε_H (далі – похибка настроєння (tuning error);

3) похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання $\varepsilon_{\text{ПД}}$ (error caused by elastic deformation of technological system under the influence of cutting forces);

4) похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента і ε_i (error caused by dimensional drift of a cutting tool);

5) похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата ε_B (error caused by geometric inaccuracy of a machine-tool);

6) похибка, що спричиняється тепловими деформаціями технологічної системи ε_T (error caused by thermal deformation of a technological system).

Функція (4.4) конкретизована для розрахунку ε_{Σ} у деяких поширених випадках. Так, згідно з [13], для лінійних розмірів, що координують розташування оброблюваної поверхні відносно іншої поверхні, сумарна похибка обробки визначається за формулою

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_{\nu})^2 + (K_2 \varepsilon_H)^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{ПД}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_B)^2 + (K_6 \varepsilon_T)^2}, \quad (4.4)$$

де $1/K$ – коефіцієнт, який залежить від бажаної гарантованої імовірності P_T роботи без браку; $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ — коефіцієнти, значення яких залежать від характеру законів розподілу відповідних елементарних похибок. Виконуючи технологічні розрахунки, можна

прийняти $K_1=K_2=K_3=1$; $K_4=K_5=K_6=1,73$. Згідно з [3], величину коефіцієнта K_1 можна знайти за таблицею 4.1.

Таблиця 4.1 — Залежність коефіцієнта $1/K$ від бажаної гарантованої імовірності P_r роботи без браку

P_r	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,9973	0,9995	0,99999
$1/K$	0,347	0,427	0,548	0,683	0,775	1,000	1,167	1,470

Очевидно, що формула (4.4) може бути використана і для визначення сумарної похибки кутових розмірів (наприклад, відхилень від паралельності чи перпендикулярності) з урахуванням того, що настроювання верстата на забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. Тому можна вважати, що у цьому випадку $\varepsilon_H = 0$.

Формулою (4.4) можна скористатися і для визначення сумарної похибки на показники точності макрогеометрії (наприклад, відхилень від круглості, циліндричності, прямолінійності, площинності тощо) також з урахуванням того, що настроювання верстата для забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. На ці показники точності не впливає також схема установа заготовки у верстатний пристрій і тому можна вважати, що у цьому випадку як $\varepsilon_H = 0$, так і $\varepsilon_V = 0$.

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_H)^2 + (K_3 \varepsilon_{пл})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_B)^2 + (K_6 \varepsilon_T)^2} \quad (4.5)$$

Важливим є те, що під час аналізування точності механічної обробки сумарна похибка завжди має визначатися на конкретний геометричний параметр (розмір між поверхнями, діаметральний розмір, вимоги: співвісності, перпендикулярності, паралельності, циліндричності, площинності, прямолінійності тощо).

Тема 5 Базування заготовок Класифікація баз. Основні види розрахунку похибок базування та закріплення. Принципи та вимоги базування. (2 години)

У процесі виготовлення (складання) машини необхідно вирішити комплексну задачу забезпечення взаємного розташування деталей і вузлів з необхідною точністю. Стосовно оброблення заготовки, вказана задача трансформується у забезпечення з необхідною точністю взаємного постійного положення заготовки відносно інших елементів системи ВПД. Вибір та розрахункове обґрунтування цього положення виконується на основі теорії базування (ГОСТ 21495-76).

Процес базування – це надання заготовці, деталі чи виробу необхідного положення відносно вибраної системи координат.

База – це поверхня (сукупність поверхонь, що виконують ту ж функцію), вісь, точка, які належать заготовці, деталі чи виробу, і використовуються для їх базування у процесі оброблення чи складання.

Збазувати одну деталь відносно іншої означає забезпечити першій деталі відносну нерухомість відносно другої.

З теоретичної механіки відомо, що кожне просторове тіло має 6 ступені в рухомості, тобто може рухатися у шести напрямках:

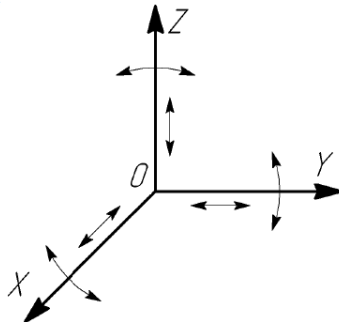


Рисунок 5.1 – Можливі рухи твердого тіла у просторі.

Під час оброблення заготовка обов'язково повинна бути нерухомою відносно встановлювальних елементів пристрою, тобто позбавлена всіх 6-ти ступенів вільності. Для цього на заготовку накладається

6 зв'язків – обмежень позиційного (геометричного) чи кінематичного характеру, які накладаються на рух точок заготовки чи деталі. При цьому геометричні зв'язки обмежують переміщення, кінематичні – швидкості. Зв'язки не залежать від часу.

У процесі базування тіла контактують між собою реальними поверхнями, тобто окремими елементарними ділянками, які називаються точками контакту чи опорними точками.

Опорна точка – це точка, яка символізує один із зв'язків заготовки з вибраною системою координат. Для позначення опорних точок на базових елементах заготовки (виробу) використовують т. зв. теоретичну схему базування (скорочено: схема базування). Усі опорні точки на схемі базування зображають умовними знаками (рис. 5.2) і нумерують порядковими номерами, починаючи з бази, на якій розташована найбільша кількість точок. При накладанні у будь-якій проекції однієї опорної точки на іншу, зображується одна точка. Біля неї проставляється номери суміщених точок.

Кількість проєкцій заготовки чи виробу на схемі базування повинна бути достатньою для чіткого уявлення про розташування опорних точок.

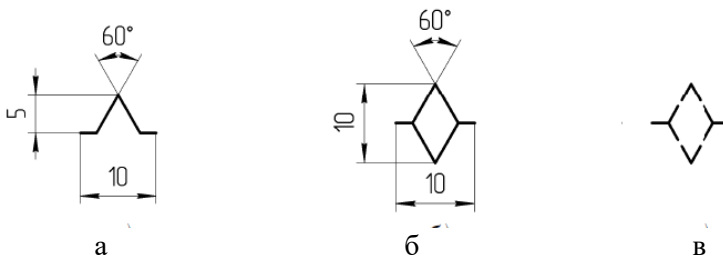


Рисунок 5.2 – Умовне зображення опорних точок: вид спереду і збоку (а); вид зверху (б); вид знизу (в).

Кількість опорних точок на схемі базування завжди рівна кількості ступенів вільності, яких опора позбавляє заготовку в процесі базування останньої.

Для однозначного визначення положення заготовки, яка розглядається як абсолютно тверде тіло, відносно іншої координатної системи

(іншого елемента системи ВПД) необхідно і достатньо 6 опорних точок. Це правило шести точок.

Схему базування розробляють з метою раціонального вибору базових елементів деталі (точка, вісь, площина). Правильний вибір базових елементів дозволяє надати заготовці однозначного положення в пристрої і забезпечити необхідну стійкість при її обробленні та взаємне розташування поверхонь оброблених і необроблених поверхонь заготовки з відповідною точністю. Приклади найбільш розповсюджених схем базування заготовок деяких класів деталей у пристроях наведено на рис. 5.3 – 5.12.

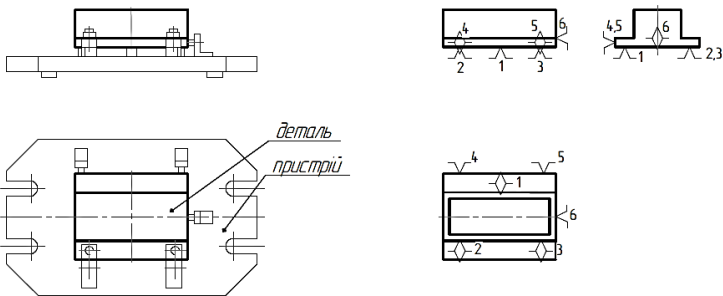


Рисунок 5.3 – Схема базування корпусної деталі по площині основи і двох бокових поверхнях.

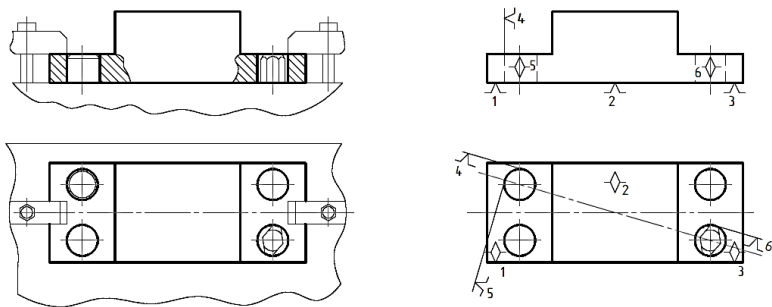


Рисунок 5.4 – Схема базування корпусної деталі по площині і двох отворах.

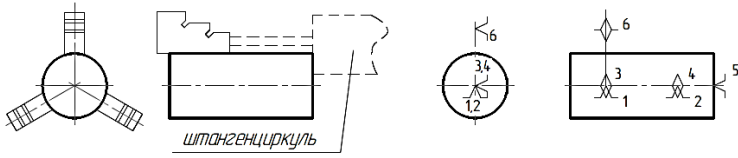


Рисунок 5.5 – Схема базування вала у трикулачковому самоцентрувальному патроні.

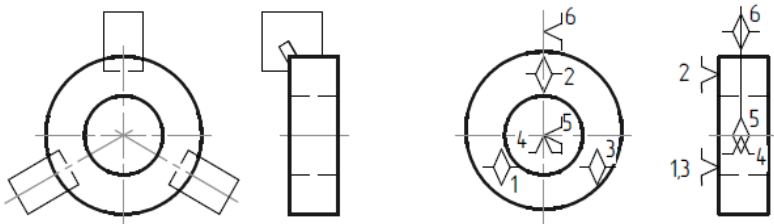


Рисунок 5.6 – Схема базування диска у трикулачковому самоцентрувальному патроні

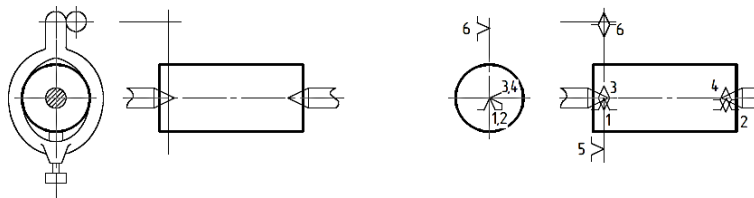


Рисунок 5.7 – Схема базування вала у центрах.

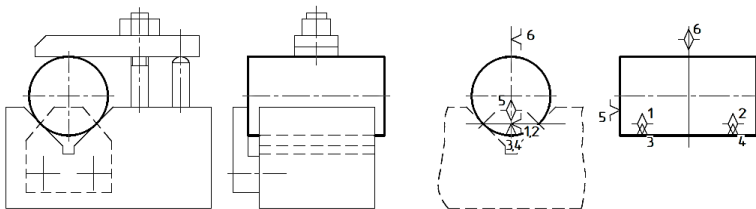


Рисунок 5.8 – Схема базування вала на призмі.

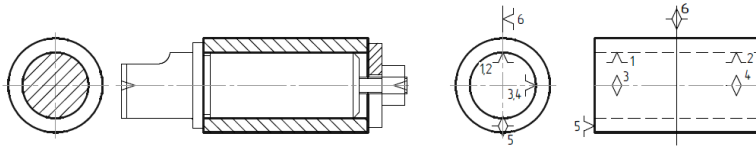


Рисунок 5.9 – Схема базування втулки на циліндричній оправці з зазором.

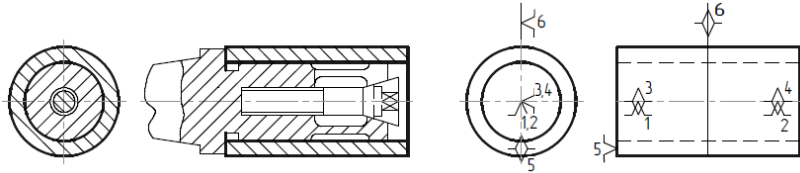


Рисунок 5.10 – Схема базування втулки на розтискній оправці.

Використання в певному координатному напрямку зайвої (сьомої і більше) постійної опорної точки є неприпустимим, оскільки супроводжується невизначеністю базування. Невизначеність базування заготовки – це одно- чи багаторазова зміна її положення відносно баз інших елементів системи ВПД, які спряжені з цією заготовкою і визначають її положення. Невизначеність базування заготовки завжди призводить до додаткових похибок, пов'язаних з втратою стійкого положення під час її встановлення та/чи закріплення в пристрої, які необхідно врахувати у процесі оброблення.

Для забезпечення визначеності базування до заготовки прикладають сили, які створюють т. зв. силове замикання. Ці сили забезпечують контакт між базами спряжених деталей і тому повинні бути більшими за сили, які намагаються порушити цей контакт. Для створення силового замикання використовують такі сили:

- пружні сили окремих кріпильних деталей чи механізмів (напр., болтове з'єднання);
- сили тяжіння самих деталей;
- сили тертя;
- магнітні та електромагнітні сили;
- сили стисненого повітря та рідин;
- комбінація перелічених сил.

Вказані сили можуть створювати контактні деформації і вносять додаткову похибку на точність деталей при виготовленні.

Для отримання умов визначеності базування необхідно:

- правильно вибрати необхідні бази;
- створити правильне силове замикання;
- зменшити контактні деформації (розрахунки, режими різання тощо);
- правильно вибрати точки прикладання замикаючих сил (при можливості ближче до опор);
- правильно встановити послідовність прикладання сил (щоб не викликати зміну положення деталі під час її закріплення);
- при обробленні недостатньо жорстких деталей вводити додаткові опори.

Якщо відповідно до умов оброблення чи технічних умов, встановлених кресленням деталі, однозначне встановлення в пристрої заготовки у відповідних координатних напрямках не потрібне чи допускається її поворот навколо певної координатної осі (наприклад, при обробленні наскрізного шпонкового пазу чи лиски на циліндричній поверхні), то доцільно застосувати неповну схему базування, у якій може використовуватись п'ять, чотири і навіть три опорні точки. У цьому випадку при базуванні у пристрої заготовка позбавляється за допомогою встановлювальних елементів лише частини ступенів вільності. Решти ступенів вільності заготовку позбавляють затискні елементи пристрою. Таким чином на схемі базування формально відображають вплив сил затиску, прикладених до заготовки (наприклад, трикулачковий патрон, магнітна плита тощо).

Класифікація баз.

Бази класифікуються:

- 1) за призначенням;
- 2) за позбавленням ступенів вільності;
- 3) за характером проявлення.

ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ БАЗИ ПОДІЛЯЮТЬСЯ НА ТАКІ.

Конструкторська база – база, яка визначає положення деталі чи складальної одиниці у виробі. Фактично конструкторська база задає конструктор при проектуванні. Основна конструкторська (складальна) база – база, яка належить заданій деталі чи складальній одиниці і

визначає її положення у виробі відносно інших деталей і складальних одиниць.

Допоміжна конструкторська база – база, яка належить заданій деталі чи складальній одиниці і визначає положення приєднаних до неї інших деталей відносно основних баз.

Технологічна база – база, яка використовується для визначення положення заготовки, деталі чи складальної одиниці в процесі виготовлення, ремонту чи складання. Технологічні бази бувають чорновими, чистовими, допоміжними й додатковими.

Чорнова технологічна база – технологічна необроблена база, яку використовують при встановленні на першій операції.

Чистова технологічна база – технологічна попередньо оброблена база, яку використовують на всіх етапах оброблення, окрім першого.

Допоміжна технологічна база – це оброблена база, яку використовується з технологічних міркувань для спрощення процесу оброблення, але не вимагається конструкцією самої деталі. Прикладом такої бази є центрові отвори для оброблення валів.

Штучна (додаткова) технологічна база – це поверхня заготовки, яка не використовується конструкцією деталі, але наявна у ній для покращення або спрощення встановлення заготовки на верстаті чи забезпечення її стійкості під час затиску та оброблення.

Додаткова технологічна база може бути реалізована у вигляді спеціальних приливів, платиків, боби шок тощо.

Вимірвальна база – база, яка використовується для визначення відносного положення деталі чи складальної одиниці та засобів їх вимірювання (контролю). Від вимірвальної бази ведуть відлік розмірів під час вимірювання деталі.

Передбачена стандартом класифікація баз доповнена додатковою класифікацією, яка дозволяє систематизувати практичні принципи вибору технологічних баз.

Контактна база – технологічна база, яка безпосередньо контактує з відповідними встановлювальними поверхнями пристрою.

Налагоджувальна база – одна з оброблюваних поверхонь при визначеному встановленні заготовки на операції, відносно якої орієнтовані решта оброблюваних поверхонь. Налагоджувальна база безпосередньо пов'язана відповідними розмірами в певному координатному напрямку з кожною з оброблюваних поверхонь.

Перевіркова база (база для вивіряння) – поверхня, лінія або точка заготовки (деталі), відносно якої здійснюється вивіряння положення заготовки на верстаті або встановлення різального інструмента для оброблення заготовки, або вивіряння інших деталей (складальних одиниць) при складанні виробу. Використання методу базування за допомогою перевірових баз виправдане в дрібносерійному та одиничному виробництвах важкого машинобудування, де виготовлення складних пристроїв і додаткове точне оброблення контактних баз є недоцільним.

2. ЗА КІЛЬКІСТЮ СТУПЕНІВ ВІЛЬНОСТІ, ЯКИХ ВОНИ ПОЗБАВЛЯЮТЬ ЗАГОТОВКУ (ВИРІБ), ТЕХНОЛОГІЧНІ БАЗИ ПОДІЛЯЮТЬСЯ НА:

Встановлювальну, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її трьох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі і поворотів навколо інших двох осей);

Напрямну, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі і повороту навколо іншої осі);

Опорну, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її одного ступеня вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі чи повороту навколо іншої осі);

Подвійну напрямну, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її чотирьох ступенів вільності (переміщення вздовж двох координатних осей і повороту навколо цих осей);

Подвійну опорну, яка використовується для накладання на заготовку зв'язків, що позбавляють її двох ступенів вільності (переміщення вздовж двох координатних осей).

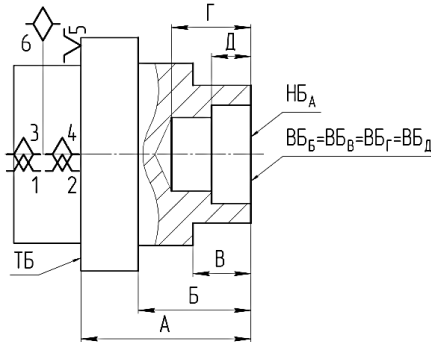


Рисунок 5.13 – Використання налагоджувальної бази для витримування технологічних розмірів (НБА – налагоджувальна база, ТБА – технологічна база, ВББ, ВБВ, ВБГ, ВБД – вимірювальні бази для розмірів Б, В, Г, Д, відповідно).

У технології машинобудування використовують такі основні поєднання трьох технологічних баз:

1) три взаємно перпендикулярні площинні поверхні (зовнішні чи внутрішні) – встановлювальна поверхня (3 опорні точки), напрямна поверхня (2 опорні точки), опорна поверхня (1 опорна точка).

2) циліндрична зовнішня (внутрішня) довга та дві площинні поверхні – циліндрична поверхня (4 опорні точки), торцева поверхня (1 опорна точка), площинна поверхня (1 опорна точка);

3) циліндрична зовнішня (внутрішня) коротка (довжина циліндричної частини менша за $1/3$ діаметра) та дві площинні поверхні – торцева поверхня (3 опорні точки), циліндрична поверхня (2 опорні точки), площинна поверхня (1 опорна точка);

4) одна площинна та дві циліндричні внутрішні поверхні – площинна поверхня (3 опорні точки), одна циліндрична поверхня (2 опорні точки – отвір встановлюється на циліндричний палець); одна циліндрична поверхня (1 опорна точка – отвір встановлюється на зрізаний палець);

5) одна площинна та дві циліндричні зовнішні поверхні – площинна поверхня (3 опорні точки), одна циліндрична поверхня (2 опорні точки); одна циліндрична поверхня (1 опорна точка);

б) комбінація реальних поверхонь з площинами, осями або центрами симетрії – елементами симетрії.

Вибрана сукупність технологічних баз формує систему координат заготовки чи виробу й утворює комплект технологічних баз. У такому комплекті відповідним чином розміщуються шість опорних точок. При цьому необхідно враховувати геометричні ознаки поверхонь. Найбільші габаритні розміри повинна мати поверхня для встановлювальної бази, на якій розміщуються 3 опорні точки (при цьому точки базування розносяться якнайдалі одна від одної), найбільшу протяжність - поверхні для напрямної бази (2 опорні точки), будь-які інші габаритні розміри – поверхня опорної бази (1 опорна точка). Подвійна напрямна база розташовується на осі деталі.

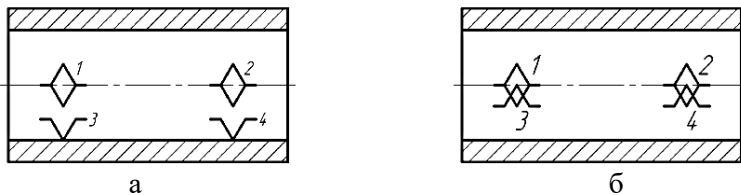
Загалом для кожної окремої заготовки можна запропонувати свій варіант базування. Тому для спрощення використання теорії базування усі деталі згруповано у такі групи:

- 1) призматичні;
- 2) довгі циліндричні;
- 3) короткі циліндричні;
- 4) сферичні.

Відповідно, використовують два комплекти баз. Перший використовується для призматичних, коротких циліндричних та сферичних деталей, другий – для довгих циліндричних деталей.

3. ЗА ХАРАКТЕРОМ ПРОЯВЛЕННЯ БАЗИ ПОДІЛЯЮТЬСЯ НА (РИС. 5.14):

- явні;
- приховані.



а) явна база – циліндричний палець б) прихована база – цанга
Рисунок 5.14 – Приклади явної та прихованої баз.

Принципи призначення баз:

1. *Принцип єдності (суміщення) баз.* Для забезпечення необхідної точності оброблення за технологічні бази необхідно приймати бази, які одночасно є основними конструкторськими і вимірювальними. Принцип єдності баз забезпечує вищу точність отримання початкового розміру за рахунок усунення похибки виготовлення. При неможливості реалізації цього принципу намагаються зменшити вплив похибки виготовлення від несуміщення конструкторських, технологічних і вимірювальних баз. Вирішення подібної задачі на практиці є доволі складним і залежить від багатьох умов конкретного технологічного процесу

2. *Принцип постійності баз.* При проектуванні проміжних та викінчувальних операцій (крім чорнових) необхідно використовувати одну й ту ж технологічну базу. При використанні цього принципу уникають похибки, яка виникає внаслідок перевстановлення заготовки у процесі її оброблення. При цьому забезпечується висока точність взаємного розташування поверхонь деталі, які підлягають обробленню за один установ. Іншими словами, для отримання найменшої похибки від несуміщення баз у розмір, який зв'язує дві поверхні, необхідно обидві поверхні обробляти з однієї бази.

3. *Принцип спадковості баз.* Для забезпечення заданих значень основних показників якості поверхні деталі, у процесі оброблення заготовки необхідно використовувати базові поверхні, значення показників якості яких є співрозмірними з тими, яких необхідно досягти.

Основні принципи вибору технологічних і вимірювальних баз.

Призначення технологічних і вимірювальних баз є одним з найбільш складних і принципових розділів проектування технологічних процесів.

Вибір вимірювальних баз впливає на структуру технологічних контрольних операцій, а також на конструктивне виконання контрольних пристроїв, оскільки формально віддаль між поверхнями деталі можна проконтролювати від однієї з двох поверхонь, з'єднаних на кресленні одним розміром.

Основною метою оптимального вибору технологічних баз є визначення послідовності оброблення різних поверхонь заготовки, що регламентується необхідністю забезпечення точності взаємного розташування поверхонь, передбаченою кресленням деталі.

Від належного вибору технологічних баз значною мірою залежать:

- фактична точність виконання розмірів;
- фактична точність взаємного розташування оброблених поверхонь деталі;
- ступінь складності пристроїв, різальних інструментів та вимірювальних пристроїв;
- ступінь раціональності вибраного варіанта технологічного процесу;
- ймовірність появи браку при обробленні;
- продуктивність оброблення заготовок та загальна собівартість продукції.

Перш ніж вибирати технологічні бази для конкретної операції, необхідно чітко сформулювати задачі, які повинні бути розв'язані в результаті виконання операції. Ці задачі впливають з вимог креслення та технічних умов на виготовлення деталі. Крім цього, вихідними даними при виборі технологічних баз є вид заготовки та стан її поверхонь, а також бажаний ступінь автоматизації технологічного процесу.

Алгоритм вибору технологічних баз.

1. Проведення аналізу функціонального призначення різних поверхонь деталі і розмірних зв'язків між ними, в результаті якого необхідно виявити основні та допоміжні конструкторські бази деталі.
2. Вибір поверхонь, осей, точок, які потенційно можуть виконувати функцію технологічних баз, для відповідного класу деталей.
3. Вибір технологічних баз для виконання останніх (кінцевих) та проміжних операцій маршруту оброблення (вибір чистових баз).
4. Вибір технологічних баз для виконання першої чи перших операцій маршруту оброблення (вибір чорнових баз).

Загальні принципи вибору технологічних баз.

1. Вибір баз необхідно виконувати з умови можливого суміщення конструкторських і вимірювальних, а також технологічних і вимірювальних баз (принцип єдності (суміщення) баз). Кількість баз визначається вимогами креслення деталі й умовами виконання операції.
2. Технологічні бази доцільно вибирати з числа основних конструкторських баз деталі.
3. Технологічні бази необхідно призначати з врахуванням доступності різальних інструментів до оброблюваних поверхонь, а також

наявності поверхонь, до яких у технологічних пристроях будуть прикладені зусилля затиску.

4. Виділити головну технологічну базу, за яку приймається база, яка забезпечує найбільш стійке положення заготовки в пристрої, надає їй максимальної орієнтації, позбавляючи трьох чи чотирьох ступенів вільності.

5. Визначити кількість ступенів вільності, яких була позбавлена заготовка деталі при встановленні на головну базу. Вибрати решту баз.

6. На ескізах деталі на відповідних проекціях відобразити схеми базування умовними позначеннями опорних точок з необхідною нумерацією. Нумерацію починати з головної бази.

Принципи вибору чистових технологічних баз.

1. За чистові бази слід вибирати основні конструкторські бази, від яких задано більшість розмірів, що координують взаємне розташування оброблюваних поверхонь деталі. Відступи від цього правила можливі лише тоді, коли розміри поверхонь задані не відносно основних баз, або коли габарити основних базових поверхонь є недостатніми для надійного базування заготовки або коли оброблення виконують з використанням пристрою-супутника.

2. При виборі чистових баз в першу чергу до уваги необхідно приймати можливість досягнення точності відносного розташування поверхонь деталі, а потім точність отримання розміру (точність взаємного розташування забезпечується на верстатах методами взаємозамінності, що практично виключає можливість корекції, а точність розмірів – методом регулювання, при якому можлива компенсація відхилень).

3. Чистові бази повинні забезпечувати можливість оброблення з одного установу максимальної кількості поверхонь. Ця вимога особливо важлива при обробленні деталей на верстатах з ЧПК, поздовжньо-стругальних та поздовжньо-фрезерних верстатах.

4. Кількість поверхонь, що формують чистову базу, повинна бути мінімально достатньою для забезпечення отримання всіх розмірів, які отримуються на даній операції.

5. При виборі чистових баз рекомендується брати до уваги також зручність встановлення деталі та простоту і собівартість виготовлення пристрою.

6. Вибір технологічних баз для проміжних та викінчувальних операцій технологічного процесу визначає послідовність виконання цих операцій.

7. Для операції, наступної після термічного оброблення, технологічні бази слід встановлювати, відповідно до правил вибору чорнових баз.

8. На проміжних операціях оброблення деталі необхідно, за можливістью, дотримуватись принципів єдності (суміщення), постійності та спадковості баз.

У тих випадках, коли базові поверхні заготовки не забезпечують надійного орієнтування чи необхідної точності встановлення заготовки в пристрої, необхідно передбачити штучні (додаткові) технологічні бази. Оброблення таких баз необхідно проводити з точністю, яка була б співрозмірною з точністю оброблюваних з цих баз поверхонь (відповідно до принципу спадковості баз).

Принципи вибору чорнових технологічних баз.

Встановивши чистові технологічні бази, вибирають технологічні бази для першої операції – чорнові бази. Чорнова база є з'єднувальною ланкою між заготівельними операціями й операціями механічного оброблення, тобто фактично визначає маршрут всього технологічного процесу. При цьому в більшості випадків можна реалізувати кілька варіантів базування. Для знаходження переваг та недоліків кожного варіанту необхідно провести їх аналіз. На першій операції, яка має особливе значення, переважно вирішуються дві задачі: 1) встановлення зв'язків, які визначають відстані і відхилення розташування оброблених поверхонь деталі відносно необроблених поверхонь заготовки; 2) забезпечення рівномірного розподілу припуску на оброблюваних поверхнях.

1. Базові поверхні мають бути простими за формою і мати достатню протяжність, оскільки в цьому випадку відхилення форми менше впливають на положення деталі. Правильна геометрична форма базових поверхонь забезпечує її стійкість і жорсткість під час чорнового оброблення зі значними силами різання і разом з тим дозволяє максимально спростити конструкцію використовуваного пристрою. Заготовка повинна займати в пристрої відповідне їй місце під дією власної ваги, а не в результаті прикладання затискних зусиль.

2. Для деталей, у яких оброблюється лише частина поверхонь, на чорнову базу вказує розмір, який у певному координатному напрямі

поєднує два типи розмірних ланцюгів, що встановлюють зв'язки між оброблюваними та необроблюваними поверхнями 1.

3. Для деталей, у яких оброблюються всі поверхні, чорною базою вибирають поверхню з мінімальними припуском для механічного оброблення. У цьому випадку забезпечується правильний розподіл припуску.

4. Чорнова база повинна бути характерною для деталі. Положення чорнової бази повинно визначати точність розташування необроблюваних поверхонь деталі відносно оброблюваних. Чорнова база вибирається так, щоб вже на першій операції механічного оброблення була можливість оброблення тієї поверхні, стосовно якої скоординовано найбільшу кількість решти поверхонь оброблюваної деталі. Іншими словами бажано, щоб перша оброблена поверхня використовувалася надалі як встановлювальна база, будучи одночасно і конструкторською.

5. Базові поверхні повинні бути без явних дефектів для забезпечення однозначності базування. Неприпустимо використовувати поверхні зі слідами роз'єму штампів, ливарних форм, залишками ливникової системи тощо. Поверхні, які знаходились під час відливання внизу, потрібно вважати переважальними порівняно з тими, що знаходились вгорі, оскільки в останніх більша ймовірність наявності рифлень, раковин та інших дефектів.

6. З точки зору експлуатації деталі за чорнові бази слід вибирати найбільш відповідальні поверхні заготовки, відносно яких забезпечується рівномірність припусків та стабільна якість оброблюваних поверхонь.

7. З метою забезпечення правильного взаємного розташування оброблюваних поверхонь відносно необроблюваних, базами для першої операції обирають ті поверхні, які в готовій деталі повинні залишатись необробленими. Лише у цьому випадку оброблені поверхні будуть мати мінімальні зміщення відносно необроблених 3.

8. Чорнову базу можна використовувати лише один раз внаслідок її відносно невисокої точності. Повторне використання чорнових баз є неприпустимим. Тим самим вибір чорнової бази визначає поверхню, з якої починається виготовлення деталі. Єдиним винятком з цього правила є обґрунтована необхідність використання принципу спадковості баз.

Тема 6. Похибки, зумовлені пружними відтисканнями складових системи ВПД: верстата, пристосування, інструмента та деталі. Копіювання похибок форми. (2 години)

При виготовленні деталі неможливо досягнути абсолютно точних номінальних розмірів. В зв'язку з цим при складанні робочих креслень призначаються допустимі відхилення від номінального розміру. Ці відхилення повинні відповідати вимогам точності при виготовленні деталей.

Точність деталі характеризується:

- допустимими відхиленнями її розмірів від номінальних;
- допустимими відхиленнями від геометричної форми деталі і її окремих елементів (овальність, конусоподібність, бочкоподібність, не площинність, непрямолінійність та ін.);
- допустимі відхилення поверхонь та осей деталі від їх взаємного розташування відносно базової (відхилення між осьюової відстані двох отворів, непаралельність площин, осей, неспіввісність, відхилення базового торця відносно вісі отвору).

Самостійним критерієм оцінки точності являється шорсткість поверхонь.

Під точністю виготовлення деталі розуміють відповідність її всім вимогам робочого креслення, технічним умовам і стандартом. Чим більша ця відповідність, тим більша точність виготовлення деталі. Дійсні відхилення параметрів реальної деталі від заданих номінальних їх значень називають похибкою виготовлення.

Різниця граничних відхилень при виготовленні деталі – це допуск на розмір.

Допуски, що проставляються на кресленнях, називаються конструкторськими.

Допуски на заготовки, які необхідно витримати при виконанні проміжних технологічних операцій називаються технологічними або операційними (допуск на довжину при відрізанні заготовки, розміри після горнової обробки і т.п.).

Необхідна (задана конструктором) точність механічного обробітку може бути забезпечена наступними методами:

А. Метод пробних робочих ходів та промірів.

При цьому методі шляхом послідовного зняття стружки визначають отриманні розміри деталі. По результатам замірів роблять корекцію ріжучого інструменту, вивірку заготовки.

Цей метод трудомісткий, вимагає багато часу, використовується в одиничному і інколи в дрібносерійному.

Б. Метод автоматичного отримання заданого розміру.

Суть методу полягає в тому, що партію заготовок обробляють на попередньо налагодженому верстаті, ріжучий інструмент встановлюють на визначений розмір, який називають налагоджувальним. При цьому заготовки встановлюють в пристосування без вивірення (уточнення) їх положення. Отримання заданого розміру досягають за один робочий хід, тобто при одноразовій обробці.

Налагодженням називається підготовка технологічного обладнання та пристосувань до виконання технологічної операції (встановлення пристосування, ріжучого інструменту, режимів різання).

Цей метод більш продуктивний в порівнянні з методом пробних робочих ходів та промірів, але вимагає спеціальних пристосувань і більш стабільних по розмірам заготовок. Цей метод використовують в серійному і масовому виробництвах.

В обох методах на точність обробки впливає кваліфікація робітника. В першому випадку це вплив точності установки і вивірки заготовки, а також точності установки ріжучого інструменту (кваліфікація робітника – токаря, фрезерувальника), в другому випадку – на процес налагодження верстату перед обробкою партії заготовок.

Аналізуючи основні способи отримання заданої точності до основних факторів, які впливають на точність обробки можна віднести наступні:

1. Неточність верстатів.
2. Точність виготовлення ріжучого і допоміжного інструментів та їх зношення.
3. Неточність встановлення інструменту і налагодження верстату на розмір.
4. Похибка базування і встановлення деталі на верстаті або пристосуванні.
5. Деформації деталей верстата, деталі і інструмента під час роботи.
6. Теплові деформації деталі, верстата і ріжучого інструменту в процесі обробки.

7. Якість поверхні деталі після обробки, яка може дати невірні показники при вимірюванні.

8. Помилка вимірювання внаслідок неточності вимірювального інструменту, неправильного використання, температури і т.п.

9. Помилка робітника.

Неточність верстатів

Неточність верстатів в не навантаженому стані залежить головним чином від точності виготовлення їх основних деталей і вузлів та їх складання.

В першу чергу це великі зазори в підшипниках або направляючих, зносу поверхонь, овальності шийок шпинделя, порушення взаємного розташування, неточності направляючих, ходових гвинтів.

Норми точності верстатів регламентовані стандартами.

Наприклад, радіальне биття шпинделів токарних і фрезерних верстатів допускається не більше 0,01 – 0.015 мм.

Похибка прямолінійності і паралельності направляючих токарних і поздовжньо стругальних верстатів не більше 0.02 мм на 1000 мм довжини, на всій довжині не більше 0.05 – 0.08 мм.

Внаслідок зношування шпинделя і підшипників верстатів (наприклад токарних) з'являється биття шпинделя, що впливає на неточність геометричної форми деталі.

При зносі направляючих виникає неспіввісність центрів задньої і передньої бабки, що призводить до похибки геометричної форми.

Точність виготовлення ріжучого, допоміжного інструментів, пристосування і їх зношування в процесі роботи.

Інструмент, як і будь який виріб неможливо виготовити по абсолютним розмірам неможливо. В залежності від інструменту такі похибки часто переносяться в деякій мірі на деталь, після обробку. Неточність виготовлення інструменту регламентується стандартами.

Суттєво впливає на точність обробки знос ріжучого інструменту.

Ріжучий інструмент зношується по передній і задній поверхням. Розміри деталі також змінюються при затупленні інструменту, що збільшує радіальну складову сили різання внаслідок чого збільшується деформація системи ВПД.

Неточність встановлення інструменту і налагодження верстату на розмір.

Похибкою налагодження єн називається похибку, що виникає внаслідок неправильного положення інструменту і елементів верстата (упорів і т.п.) відносно оброблюваних і базових поверхонь деталі. Похибка налагодження залежить як від кваліфікації і уважності робітника, так і від досконалості пристроїв, що полегшують виконання настройки (відлікові пристрої верстата, шаблони, вимірювальні інструменти і т.п.). Крім того, похибка налагодження залежить від похибки встановлення і закріплення пристосування, а також правильності вибраної схеми базування.

Похибки обробки, що пов'язані з пружними деформаціями елементів технологічної системи верстат-приспособування-інструмент-деталь (ВППД)

Практично кожна система ВППД являє собою пружну систему, деформації елементів якої під час обробки призводять до виникнення похибок форми та розмірів оброблених поверхонь.

Для оцінки здатності технологічної системи створювати опір зовнішнім навантаженням використовують поняття «жорсткість» та «піддатливість».

Жорсткість - це здатність технологічної системи створювати опір зовнішнім навантаженням. Для її кількісної оцінки жорсткості введений коефіцієнт жорсткості - j , який визначають за формулою

$$j = \frac{P_y}{y} \text{ (кН/мм, Н/мкм),}$$

де P_y – сила різання, що викликає зміщення елементів системи;
 y – зміщення певного елемента системи ВППД (або сумарне зміщення) під дією цієї сили.

Коефіцієнт жорсткості також можна визначити із співвідношення прирощення сили ΔP до прирощення переміщення ΔY (кН/мм, Н/мкм).

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta Y}$$

Величина, зворотна жорсткості ω , (мм/кН, мкм/Н), називається піддатливістю системи:

$$\omega = \frac{1}{j}$$

Піддатливість – це зміщення елемента системи (або сумарне зміщення) під дією одиниці сили.

Жорсткість системи ВПД не є постійною величиною у процесі роботи.

Як правило, збільшення сили, що діє на систему, не викликає прямо пропорційного збільшення її переміщення.

Величина пружних переміщень поступово зменшується при зростанні сили і може навіть перейти у пластичні або руйнівні деформації.

Велике значення жорсткості при механічній обробці призвело до розробки наступних методик розрахунку та експериментальної перевірки окремих складових технологічної системи:

- 1) статичний метод (випробування при непрацюючому верстаті);
- 2) виробничий метод (випробування при обробці заготовок);
- 3) динамічний метод (випробування в процесі коливань).

Найпростішим методом оцінки жорсткості технологічної системи є статичний метод. Однак, у випадку, коли верстат не працює, не враховуються температурні фактори, поштовхи та вібрації, які збільшують деформацію технологічної системи.

Сила різання викликає пружну деформацію елементів технологічної системи, а колювання сил різання призводять до постійної зміни пружних деформацій.

Якщо процес різання стійкий (нормальний), то різальний інструмент і деталь здійснюють тільки рухи, які передбачені схемою обробки. Наприклад, при точінні шпindel з деталлю рівномірно обертаються, а супорт з різцем здійснюють рівномірний поступальний рух. Але, в деяких випадках нормальний процес різання порушується. Виріб та інструмент, окрім передбачених рухів, починають здійснювати також періодичні колювання - тобто виникають вібрації.

Періодичні взаємні переміщення виробу і інструменту приводять до того, що на обробленій поверхні залишаються характерні хвилі і шорсткість поверхні зростає. Верстати, що працюють в режимах вібрацій, зношуються значно швидше, стикові зазори в них збільшуються і обладнання швидше виходить з ладу. Крім того, при вібраціях помітно знижується стійкість інструменту, а іноді вібрації приводять до поломки інструменту. Значний шум, що виникає при вібраціях, викликає швидку втому робітника. Можливість виникнення інтенсивних вібрацій в багатьох випадках примушує знижувати режими різання, отже вимушено обмежувати продуктивність металорізальних верстатів. Розрізняють такі види коливань:

- власні або вільні коливання;
- вимушені коливання;
- автоколивання.

Власні коливання виникають під впливом яких-небудь поштовхів і швидко затухають. Частота власних коливань визначається масою і жорсткістю системи, що коливається. В процесі різання на верстатах у зв'язку з великими силами опору затухання власних коливань відбувається швидко.

Вимушені коливання виникають під дією зовнішньої збуджуючої періодичної сили. Частота вимушених коливань визначається частотою збуджуючої сили. Амплітуда вимушених коливань різко зростає в тому випадку, коли частота збуджуючої сили близька до частоти власних коливань елементів системи верстата (резонанс). При різанні вимушені коливання в основному викликаються перервним (періодичним) характером процесу різання, дисбалансом частин, що обертаються, дефектами передач верстата і т.п.

Автоколивання виникають не під дією зовнішньої збуджуючої періодичної сили, а під дією такої змінної сили, яка створюється і керується самим коливальним рухом системи (самозбудження). Частота автоколивань близька до власної частоти коливання елементів системи. Наприклад, при точінні зустрічаються як низькочастотні коливання, пов'язані з коливаннями вала і його опор, так і високочастотні коливання, пов'язані з коливаннями різця. На інтенсивність автоколивань низької частоти впливають: жорсткість системи, сили тертя, швидкість різання, глибина різання, подача, головний кут в плані ріжучого інструменту, ступінь затуплення ріжучих кромки і т. д.

Основними заходами, що підвищують вібростійкість верстатів що проектуються є:

- підвищення жорсткості;
- посилення здатності системи демпфувати (гасити) коливання (застосування динамічних гасників коливань);
- використання матеріалів з високим внутрішнім тертям;
- поліпшення динамічної урівноваженості всіх частин верстата, що швидко обертаються (балансування).

Вібрації, що виникають під час роботи верстата, усуваються шляхом регулювання підшипників шпинделя, направляючих і стиків, більш ретельною перевіркою і урівноваженням заготовки, що обробляється, підбором відповідного інструмента.

Ефективним засобом боротьби з вібраціями, що виникають в процесі різання, є спеціальні пристосування - гасники коливань, які встановлюють на самому верстаті [9].

Тема 7. Похибки, зумовлені зношенням інструменту. (2 години)

Вплив неточності виготовлення різального інструмента на точність механічної обробки. Поняття розмірного зносу різального інструмента, похибки обробки, що ним спричиняються. Шляхи зменшення розмірного зносу інструментів на точність механічної обробки.

Похибки виготовлення мірних різальних інструментів (свердел, розверток, зенкерів, протяжок, шпонкових фрез, фасонного інструмента та ін.) безпосередньо переносяться на оброблювані заготовки і зумовлюють появу систематичних постійних похибок розмірів та форми оброблюваних поверхонь. Разом з тим, реальна точність виготовлення таких інструментів на інструментальних заводах та в інструментальних цехах машинобудівних підприємств досить висока і тому похибками обробки, що зумовлені неточністю виготовлення різальних інструментів, зазвичай нехтують.

Причинами зносу лезового різального інструмента є тертя його задньої поверхні об поверхню заготовки. Тому зношування відбувається переважно по задній поверхні інструмента. Це призводить до того, що в процесі обробки партії заготовок на настроєному верстаті

отримуваний розмір буде поступово змінюватися (розмір першої заготовки буде відрізнятися від розміру останньої на величину розмірного зносу u).

Розмірний знос визначають у напрямку нормалі N (рис. 7.1) до оброблюваної поверхні.

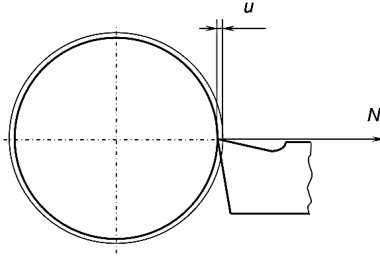


Рисунок 7.1 — Схема утворення розмірного зносу різця

Розмірний знос строго не підпорядковується лінійному закону (рис. 7.2). Перший нетривалий період роботи інструмента (зона I), під час якого відбувається припрацьовування леза інструмента після заточування, супроводжується викришуванням окремих нерівностей і заглажуванням рисок — слідів заточування різальних граней. Перший період характеризується інтенсивним зношенням. Початковий знос u_n і довжина шляху різання L_n , яка йому відповідає, залежать від матеріалу різальної частини інструмента і матеріалу заготовки, якості заточування і режимів різання. Зазвичай величина L_n складає 500...2000 м.

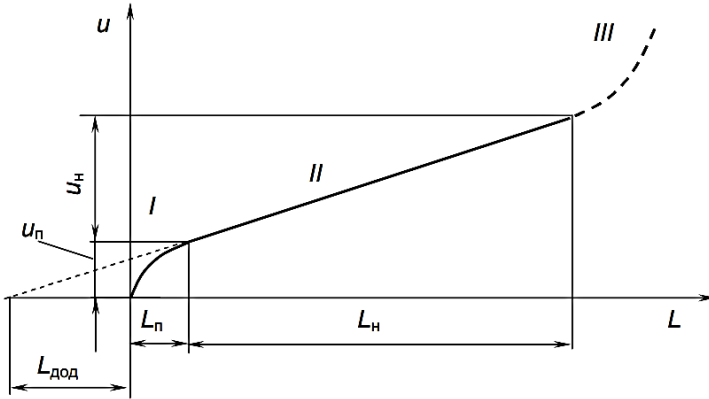


Рисунок 7.2 – Залежність розмірного зносу від довжини шляху, пройденого лезом інструмента під час обробки

Другий (основний) період характеризується нормальним експлуатаційним зношуванням інструмента (зона II). Характеристика зношування у зоні II прямолінійна і нахилена до осі абсцис під невеликим кутом. Інтенсивність зношування інструмента у цій зоні оцінюють відносним (питомим) зносом u_0 і (мкм/км), який визначається за формулою

$$u_0 = \frac{u_n}{L_n}. \quad (7.1)$$

Відносний знос залежить від способу обробки, матеріалів заготовки та різального інструмента, конструкції різального інструмента, режимів різання, кутів різальної частини, жорсткості технологічної системи. З підвищенням жорсткості технологічної системи відносний знос помітно зменшується. Орієнтовні кількісні значення відносного зносу для деяких технологічних умов наведені у додатку Б.

Під час третього періоду роботи інструмента (зона III) відбувається швидке зношування різальної кромки, спричинене розростанням мікротріщин і перетворенням їх в макротріщини. Робота в зоні III є неприпустимою, оскільки через короткий проміжок часу відбувається руйнування різальної кромки.

Розрахунок зносу різального інструмента в зоні нормального експлуатаційного зношування здійснюють за формулою

$$u = \frac{u_0 \times L}{1000}, \quad (7.2)$$

де L — довжина шляху різання, м.

Для точіння і розточування циліндричних поверхонь довжина шляху різання під час обробки однієї деталі складе

$$L_1 = \frac{\pi \times d \times l}{1000 \times s} \quad (7.3)$$

де d , l — відповідно діаметр і довжина оброблюваної поверхні, мм; s — подача, мм/об.

Для торцевого фрезерування довжину шляху різання, який проходить один зуб в процесі обробки однієї заготовки можна наближено знайти за формулою

$$L_1 = \frac{l \times B}{1000 \times z \times s_z} \quad (7.4)$$

де l , B — відповідно довжина і ширина оброблюваної поверхні, мм; z — кількість зубців фрези; s — подача фрези, мм/зуб.

Згідно з [8] зношування різального інструмента під час торцевого фрезерування відбувається інтенсивніше, ніж під час точіння, оскільки зубці фрези багаторазово врізаються в оброблювану заготовку. Тому відносний знос для торцевого фрезерування пропонується визначати за емпіричною формулою

$$u_{0_{фр}} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) \times u_{0_{т}} \quad (7.5)$$

де $u_{0_{т}}$ - відносний знос під час точіння, визначений, наприклад, за таблицею додатку Б.

Розрахунок за формулами (7.2) і (7.5) стосується умов нормального зношування різального інструмента. Визначити знос нового інструмента або інструмента, встановленого на верстат після заточування можна за формулою

$$u = \frac{u_0 \times (L + L_{\text{дод}})}{1000} \quad (7.6)$$

У формулі (7.6) $L_{\text{дод}}$ — додаткова довжина різання, яка враховує початковий знос (див. рис. 7.2). Для якісно заточених алмазним кругом інструментів можна прийняти $L_{\text{дод}} = 500$ м.

Оскільки знос різального інструмента підпорядкований цілком певній функціональній залежності (див. рис. 7.1), то зумовлена ним похибка обробки має систематичний характер, що закономірно змінюється.

Якщо інструмент новий або встановлений на верстат після заточування, то визначити кількісне значення похибки, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента, можна за формулою

$$\varepsilon_i = \frac{u_0 (L_{\text{п}} + L_{\text{дод}})}{1000} \quad (7.7)$$

де $L_{\text{п}} = L_{1n}$ — довжина шляху різання (м), яка відповідає обробці певної кількості заготовок n без під настроювання різального інструмента.

Якщо інструмент працює в зоні нормального зношування, то величина ε_i

$$\varepsilon_i = \frac{u_0 \times L_{\text{п}}}{1000} \quad (7.8)$$

Тема 8. Похибки, зумовлені неточністю верстата та настроювання інструмента на розмір. (2 години)

У серійному і масовому виробництві обробку деталей здійснюють на попередньо настроєних верстатах. Така обробка забезпечує автоматичне отримання розмірів, які залежать у цьому випадку тільки від положення вершини інструмента відносно опор верстатного пристрою і, відповідно, відносно технологічних баз заготовки.

Задача настроювання верстатів полягає у встановленні вершини різального інструмента у таке положення, яке забезпечувало б розміщення значень дійсних розмірів деталей усієї партії або її частини в межах поля допуску T . Таким чином, в результаті настроювання верстата вершина різального інструмента повинна бути встановлена у таке положення, щоб з самого початку обробки партії заготовок забезпечувалася певний, попередньо розрахований розмір, який називають розміром налагодження (tuning size).

Величина розміру налагодження залежить від умов і факторів, що характеризують технологічний перехід, для якого визначається цей розмір. Визначаючи розмір настроювання, враховують як систематичні, так і випадкові похибки обробки.

Схема, що пояснює підхід до визначення розміру налагодження для обробки (точіння, круглого та безцентрового шліфування) зовнішніх циліндричних поверхонь з урахуванням розмірного зношування різального інструмента, показана на рис. 8.1.

Відповідно до рис. 8.1 номінальне значення розміру налагодження для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь визначається за формулою

$$D_H = [D_{\min}] + 3\sigma + 0,5\varepsilon_H \quad (8.1)$$

де $[D_{\min}]$ — найменший допустимий діаметральний розмір поверхні згідно з операційним ескізом; σ — середньоквадратичне відхилення дійсних розмірів обробленої поверхні, спричинене випадковими похибками, що виникають під час виконання технологічного переходу; ε_H — похибка налагодження (суть і кількісне визначення цієї похибки розглядатиметься нижче).

Величина σ має бути визначена попередньо в результаті виконання статистичного аналізу точності обробки на даному технологічному переході.

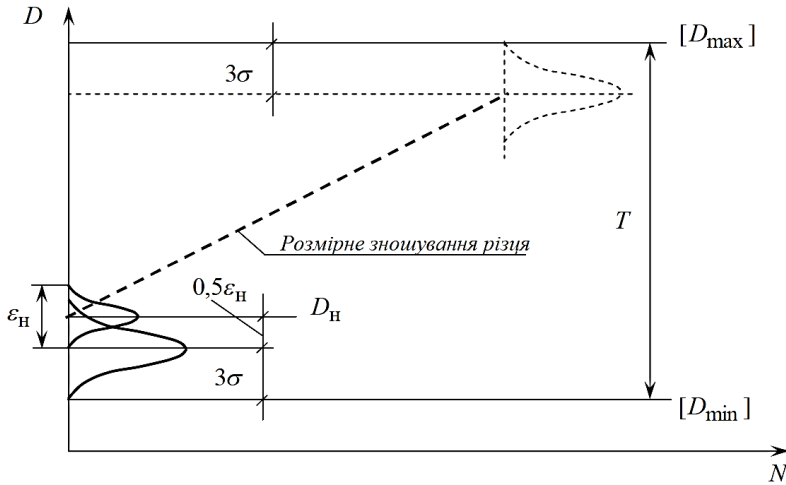


Рисунок 8.1 – Схема, що пояснює визначення розміру налагодження для точіння зовнішніх циліндричних поверхонь з урахуванням розмірного зношування різця N — порядковий номер оброблюваної заготовки

Номінальне значення розміру налагодження для обробки отворів відповідно складе

$$D_H = [D_{\max}] - 3\sigma - 0,5\epsilon_H, \quad (8.2)$$

де $[D_{\max}]$ — найбільший допустимий діаметральний розмір отвору згідно з операційним ескізом.

Номінальне значення розміру налагодження C_H для обробки плоских поверхонь визначається за формулою

$$C_H = [H_{\min}] + 3\sigma + 0,5\epsilon_H, \quad (8.3)$$

де $[H_{\min}]$ — найменший допустимий технологічний розмір, який координує розташування оброблюваної поверхні відносно вимірювальної бази.

У випадках, якщо знос різальної кромки інструмента не впливає на отримуваний розмір, то номінальне значення розміру налагодження береться рівним середньому значенню технологічного розміру. На рис. 8.2 показано приклад технологічної операції з розточування отвору в заготовці деталі типу «корпус підшипника». Оскільки знос різця не впливає на розташування осі оброблюваного отвору, то за номінальне значення розміру налагодження береться середнє значення технологічного розміру. Таким чином, у цьому випадку номінальне значення розміру налагодження складе 80 мм.

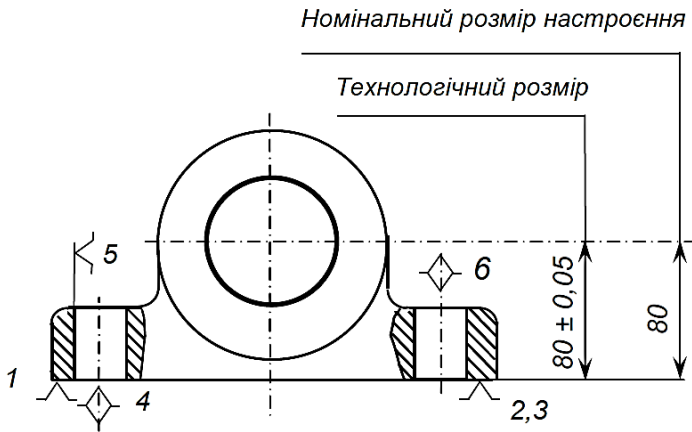


Рисунок 8.2 — Схема, що пояснює визначення розміру налагодження у випадках, коли знос різальної кромки інструмента не впливає на отримуваний розмір

В машинобудуванні застосовуються два способи настроювання верстатів — за пробними заготовками та за еталоном.

Розглянемо спосіб настроювання верстатів за пробними заготовками. Суть цього способу полягає в тому, що вершина різального інструмента встановлюється на розмір налагодження в процесі обробки т

пробних заготовок (найчастіше $m = 5 \dots 6$ шт.). Під час обробки першої пробної заготовки верстат наструюється для отримання заздалегідь визначеного розміру наструювання за допомогою способу спробних робочих ходів і промірів. Після цього з незмінним розташуванням вершини інструмента обробляють решту пробних заготовок. Дійсні розміри оброблених заготовок визначають за допомогою універсального вимірювального інструмента з ціною поділки $\Delta_{e.i.} \leq T / 10$ (T — допуск отриманого розміру).

Розрахований попередньо розмір налагодження розглядається як номінальний розмір. Оскільки під час обробки групи пробних заготовок відбувається розсіювання розмірів, то потрібно за фактичний (отриманий) розмір налагодження прийняти середнє арифметичне значення \bar{D} дійсних розмірів цих заготовок. Величина \bar{D} характеризує центр «миттєвого» розсіювання в початковий період роботи верстата, тобто одразу після його наструювання.

Налагодження вважається задовільним, якщо виконується умова

$$D_H - \frac{1}{2}T_H \leq \bar{D} \leq D_H + \frac{1}{2}T_H, \quad (8.4)$$

де T_H — допуск налагодження, який визначається за формулою

$$T_H = 1,2\sqrt{(\varepsilon_P)^2 + (\varepsilon_{BM})^2} \quad (8.5)$$

де ε_P — похибка регулювання; ε_{BM} — похибка вимірювання.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_P = \Delta_L, \quad (8.6)$$

де Δ_L — ціна поділки лімба регульовального пристрою верстата (в діаметральному вимірі).

Похибка вимірювання

$$\varepsilon_{eM} = \Delta_{e.i.}, \quad (8.7)$$

де $\Delta_{e.i.}$ — ціна поділки універсального вимірювального інструмента, яким вимірюються пробні заготовки.

Установити вершину різального інструмента під час виконання декількох настроювань строго в одне і те ж саме положення неможливо. Тобто, матиме місце певний розкид (розсіювання) положень вершини інструмента. Поле цього розсіювання називають **похибкою налагодження**.

Для способу настроювання верстата за спробними заготовками похибку налагодження знаходять за формулою

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_{вм}^2 + \varepsilon_{зм}^2}, \quad (8.8)$$

де $\varepsilon_{зм} = 6\sigma / \sqrt{m}$ - поле імовірного зміщення розташування вершини кривої розподілу дійсних розмірів спробних заготовок.

Сутність способу настроювання верстатів за еталонам полягає в тому, що вершина різального інструмента встановлюється на розмір налагодження на зупиненому верстаті за допомогою спеціально виготовленої деталі – еталону. Таким чином, під час настроювання вершина інструмента підводиться до відповідної поверхні еталона на певну відстань, яка контролюється щупом.

Оскільки під час установлення інструмента на розмір обробки верстат не працює, то настроювання за еталонам є статичним способом. Пружні зміщення елементів системи ВПД під дією сил різання враховують, підбираючи розмір еталона.

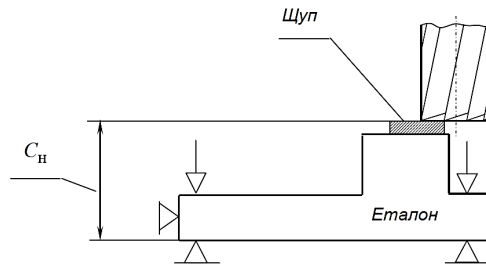


Рисунок 8.3 – Схема, що пояснює настроювання верстата за еталонам

Похибка налагодження верстата з використанням настроювання за еталонном залежить від похибки регулювання положення вершини інструмента ε_p і похибки вимірювання розміру деталі ε_B .

Похибка налагодження для діаметральних розмірів може бути розрахована за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{\left(K_p \varepsilon_p\right)^2 + \left(K_e \frac{\varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2}, \quad (8.9)$$

а для розмірів, які координують розташування плоских поверхонь за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{\left(K_p \varepsilon_p\right)^2 + \left(K_e \varepsilon_{\text{вм}}\right)^2}. \quad (8.10)$$

Коефіцієнти K_p і K_B враховують відхилення законів розподілу величин ε_p та ε_B від нормального закону розподілу. Можна прийняти, що $K_p = 1,14 \dots 1,73$ і $K_B = 1$.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_p = k \sqrt{\varepsilon_{\text{в.е.}}^2 + \varepsilon_{\text{у.і.}}^2}, \quad (8.11)$$

де $\varepsilon_{\text{в.е.}}$ – похибка виготовлення еталона; $\varepsilon_{\text{у.і.}}$ – похибка установлення інструмента на еталон; $k=1,2$ – коефіцієнт, який враховує відхилення законів розподілу величин $\varepsilon_{\text{в.е.}}$ та $\varepsilon_{\text{у.і.}}$ від нормального закону розподілу.

Похибка вимірювання $\varepsilon_{\text{вм}}$ визначається за формулою (8.7). Похибка виготовлення еталона $\varepsilon_{\text{в.е.}}$ складає 10...20 мкм.

Похибка установлення інструмента на еталон може змінюватись в досить широких межах і суттєво залежить від способу регулювання положення різця в процесі настроювання. Якщо для установлення інструмента на еталон використовується металевий щуп, то $\varepsilon_{\text{у.і.}} = 7 \dots 10$ мкм.

За характером виявлення похибка налагодження є випадковою похибкою.

Вважається, що для настроювання верстатів на розмір обробки мають бути використані такі способи і засоби, щоб $\varepsilon_H \leq 0,3T$ (для 6...8 квалітетів точності) і $\varepsilon_H \leq 0,1T$ (для 9...11 квалітетів точності).

Визначаючи похибку налагодження, слід враховувати, що ця похибка впливає на точність певного розміру тільки тоді, коли перед обробкою партії заготовок передбачене настроювання верстата або різального інструмента на цей розмір. Наприклад, якщо оцінюється вплив похибки налагодження на діаметральний розмір отвору, то слід враховувати, яким саме різальним інструментом цей отвір оброблятиметься – якщо нерегульованим (свердлом, зенкером, розверткою тощо), то похибка налагодження не виникатиме, бо відсутній сам процес настроювання; якщо ж регульованим (налагоджуваним), наприклад, розточувальним різцем (на токарному верстаті) розточувальною оправкою або головкою, то похибка налагодження впливатиме на точність діаметрального розміру. З цієї ж причини похибка налагодження не впливає на забезпечення вимог відносного розташування (співвісності, биття, паралельності, перпендикулярності тощо) і на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо), оскільки для забезпечення цих показників точності налагодження верстата не відбувається.

Тема 9. Похибки, зумовлені тепловими деформаціями складових системи ВПД. (2 години)

В процесі механічної обробки відбувається нагрівання елементів системи ВПД в результаті впливу теплової енергії, що виділяється в зоні різання, в приводах і механізмах верстата через втрати на тертя, а також від теплової енергії зовнішніх джерел. Це нагрівання спричиняє пружні деформації в системі ВПД і появу похибки обробки ε_T .

Тепловий стан системи ВПД може бути стаціонарним і нестаціонарним. В першому випадку встановлюється тепла рівновага системи – підведення теплової енергії кількісно дорівнює її втратам і тому температура верстата, пристрою і різального інструмента постійна. До умов стаціонарного теплового стану наближені процеси обробки невеликих заготовок на попередньо розігрітих верстатах. Нестаціонарний

тепловий стан спостерігається в період пуску верстата після його тривалої зупинки. Будь-який процес можна вважати нестационарним, якщо теплова енергія, що виділяється під час різання, помітно нагріває заготовку.

Розподіл теплоти в процесі різання між стружкою, заготовкою та інструментом залежить від способу обробки, режимів різання, матеріалів оброблюваної заготовки та інструмента. Так, в процесі точіння (без охолодження) матеріалів з високою теплопровідністю (вуглецевих сталей, алюмінієвих і мідних сплавів) розподіл теплоти такий: в стружку — 60...90%; в інструмент — 3...5%; решта — в заготовку. Під час такої ж обробки матеріалів з низькою теплопровідністю (жаростійкі, титанові сплави) 35...45% теплоти переноситься в заготовку; 20...40% — в інструмент; решта – в стружку. Найбільша кількість теплоти переходить в заготовку під час свердління (до 60%).

Теплові деформації верстата

Нагрівання станини, корпусних та інших деталей верстата відбувається внаслідок втрат на тертя в механізмах, гідروприводах і в електричних пристроях. Значна кількість теплоти передається деталям верстата від охолоджувальної рідини, яка відводить теплоту із зони різання.

Встановлено, що значний вплив на точність остаточної обробки має нагрівання шпиндельних вузлів. Під час роботи верстата відбувається поступове розігрівання шпиндельного вузла і зміщення осі його обертання як в горизонтальній, так і у вертикальній площині. Це пояснюється тим, що під час роботи верстата різниця температур в різних місцях корпусу шпиндельної бабки може досягати 50 °С. Зміщення шпинделя може складати 0,01...0,02 мм.

Теплові деформації верстата можуть бути суттєво зменшені вжиттям таких заходів:

1) забезпечення постійності температурного поля в зоні розташування

верстата завдяки:

- підтриманню в цеху потрібного температурного режиму;
- розміщенню верстатів для точної обробки в спеціальних термоконстантних приміщеннях;

2) зменшення нерівномірного нагріву верстатів завдяки:

- винесенню внутрішніх джерел теплоти (електродвигунів, гідроприводів) за межі верстата;

- використанню спеціальних систем для підтримання заданої температури ЗОР і окремих частин верстата;

3) зменшення впливу нерівномірних деформацій завдяки:

- раціональному вибору матеріалів деталей;
- спрямуванню температурних деформацій деталей верстата таким чином, щоб ці деформації не збігалися з напрямками точних розмірів:

- застосуванню пристроїв для компенсації температурних зміщень;

4) експлуатаційними заходами:

- установленням верстата в зоні найменшого впливу температурних полів;

- своєчасним регулюванням зазорів в підшипникових вузлах;

- проведення фінішної обробки точних деталей після досягнення верстатом стаціонарного теплового стану (після тривалих зупинень верстат має працювати вхолосту протягом 20...30 хв).

Теплові деформації інструмента

Деяка частина теплоти, що виділяється під час різання, переходить в різальний інструмент, нагріває його і змінює розміри. Під час токарної обробки найбільша частка похибки обробки, що зумовлена тепловими деформаціями системи ВПД, спричиняється видовженням різців через їх нагрівання. На рис. 9.1 показано графіки, отримані проф. А. П. Соколовським за результатами точіння твердосплавним різцем заготовок з легованої сталі.

Теплова рівновага встановлюється приблизно через 20...24 хв роботи. В процесі обробки м'якої сталі тепла рівновага різця встановлюється через 12 хв роботи.

Зі збільшенням швидкості різання, глибини різання і подачі інтенсифікується нагрівання і, відповідно, збільшується видовження різця.

За умови ритмічної роботи теплові деформації заготовок постійні (рис. 9.1). За відсутності ритмічності теплові деформації окремих заготовок різні. Це може спричинити розсіювання їх розмірів.

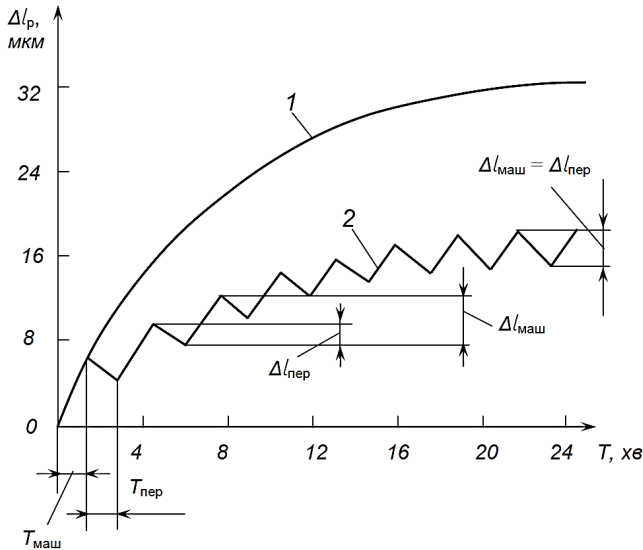


Рисунок 9.1 – Вплив перерв роботи різця на його теплові деформації: 1 - нагрівання різця за час неперервної роботи; 2 - робота в умовах різання з перервами; Δl_p - видовження різця; $\Delta l_{\text{маш}}$ - видовження різця упродовж машинного часу; $\Delta l_{\text{пер}}$ - зменшення довжини різця через охолодження за час перерви

Нагрівання різальних інструментів під час фрезерування, обробки вінців зубчастих коліс та інших операцій, виконуваних з достатнім охолодженням, значно менше впливає на точність обробки, ніж нагрівання токарних різців.

Теплові деформації заготовки

Окрім теплових деформацій верстата та інструмента на точність обробки впливають також теплові деформації оброблюваних заготовок.

Нагрів крупногабаритних заготовок під час механічної обробки незначний і, відповідно, його впливом на точність обробки можна знехтувати, особливо за малих розмірів оброблюваних поверхонь.

Теплові деформації тонкостінних заготовок за відносно великих розмірів оброблюваних поверхонь можуть бути зіставними із допусками, які відповідають 7 квалітету точності. Вплив теплових

деформацій на точність зростає під час обробки внутрішніх поверхонь, коли поглинання тепла заготовкою збільшується.

Помітні теплові деформації заготовок можуть виникати в процесах односторонньої обробки довгих заготовок типу рейок, планок, а також пластин і плит.

Теплові деформації заготовок можуть бути зменшені завдяки:

- підведенню достатньої кількості ЗОР в зону різання;
- підвищенню швидкості різання, в результаті чого більша частка теплоти відводиться в стружку;
- охолодженню заготовок достатнім витримуванням на транспортувальних пристроях або в тарі.

Повну похибку обробки, що спричиняється тепловими деформаціями, зазвичай визначити не вдається. Тому, для операцій точної обробки лезовими інструментами похибку, що спричиняється тепловими деформаціями системи ВПД, наближено приймають рівною

$$\varepsilon_T = (0,1 \dots 0,15)(\varepsilon_\Sigma - \varepsilon_T),$$

а для шліфування

$$\varepsilon_T = (0,3 \dots 0,4)(\varepsilon_\Sigma - \varepsilon_T).$$

Якщо в системі ВПД встановився стаціонарний тепловий стан, то похибка ε_T є систематичною постійною похибкою. Якщо ж система ВПД перебуває в нестаціонарному тепловому стані, то похибка ε_T є систематичною похибкою, що закономірно змінюється.

Тема 10. Якість поверхневого шару. Вплив технологічних факторів на якість поверхні. (4 години)

Забезпечення якості машини і тривалість його збереження суттєво залежить від стану поверхневого шару (surface layer) її деталей.

Світовий досвід експлуатації машин показує, що основною причиною виходу їх з ладу ($\approx 80\%$ випадків) є знос поверхонь пар тертя. Решта 20% припадають на поломки деталей від перевантаження та корозійний знос.

Знос пар тертя, поломки через втомленість, корозійний знос значною мірою залежать від характеристик поверхневого шару. В техніці під поверхневим шаром деталі, який за структурою та іншими властивостями відрізняється від внутрішніх шарів. Сукупність властивостей, які набуваються поверхнею деталі в результаті її механічної, термічної, хіміко-термічної обробки характеризується узагальненим поняттям — «якість поверхні».

Поверхневий шар не є однорідним за будовою. Структура поверхневого шару шліфованої сталеві деталі показана на рис. 10.1.

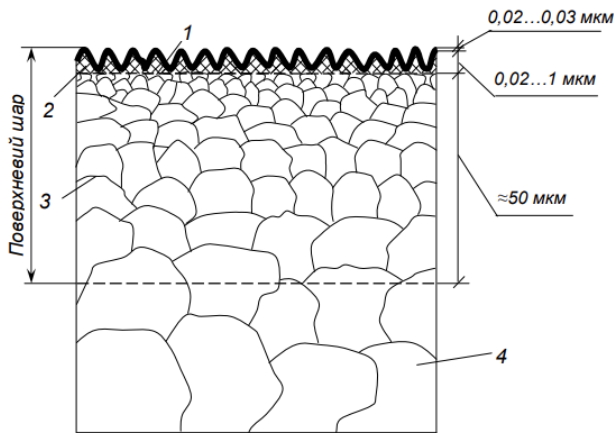


Рисунок 10.1 — Структура поверхневого шару шліфованої сталеві деталі

Граничний шар 1 складається з адсорбованої плівки газів, вологи та змащувально-охолодної рідини. Шар 2 складається із дуже подрібнених зерен металу із істотно спотвореною кристалічною решіткою. У цьому шарі містяться окисли, порожнини й мікротріщини, що утворились в процесі механічної обробки. Перехідний шар 3 складається із зерен, які помітно zdeформувалися під дією сил різання. Шар 4 — це метал з вихідною структурою.

Товщина поверхневого шару в залежності від виду обробки зазвичай складає:

- після точіння — 0,25...2 мм;

- після шліфування — 12...75 мкм;
- після тонкого шліфування — 2...25 мкм;
- після полірування — 0,2 мкм.

Основними показниками стану поверхневого шару є:

- шорсткість;
- ступінь зміцнення (наклеп);
- величина і знак залишкових напружень.

Основні показники якості поверхневого шару. Вплив технологічних факторів на ці показники

Шорсткість поверхні (surface roughness) — це сукупність нерівностей з відносно малими кроками, які утворюють мікрорельєф поверхні. Величина шорсткості поверхонь, які є конструкторськими базами, значною мірою визначає експлуатаційні характеристики машин, оскільки суттєво впливає на тертя та знос в рухомих з'єднаннях, а також на стабільність і визначеність зазорів і натягів в нерухомих з'єднаннях.

Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні. Руйнування деталей під час їх експлуатації найчастіше починається з поверхневого шару через концентрацію напружень, які є наслідком наявних нерівностей.

Чистова обробка деталей (пластичне поверхнєве деформування, полірування та ін.) істотно підвищують їх утомну міцність.

Для кількісного оцінювання шорсткості поверхні ГОСТ 2789-78 встановлені такі параметри:

- Ra — середнє арифметичне відхилення профілю;
- Rz — висота нерівностей профілю по десяти точках;
- Rmax — найбільша висота нерівностей профілю;
- Sm — середній крок нерівності профілю;
- S — середній крок нерівностей профілю по вершинах;
- tr — відносна опорна довжина профілю.

В машинобудуванні для оцінювання шорсткості поверхні найчастіше використовуються величини Ra і Rz.

Базою для визначення відхилень профілю є середня лінія — пряма, яка має форму номінального профілю і проведена так, щоб в межах базової довжини середнє квадратичне відхилення відстаней від поверхні профілю до цієї лінії було мінімальним.

Величина Ra визначається як середнє арифметичне абсолютних значень відхилення у профілю від середньої лінії в границях базової довжини l (рис. 10.2).

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx, \quad (10.1)$$

або наближено

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (10.2)$$

де n – кількість точок, в яких визначається відхилення профілю.

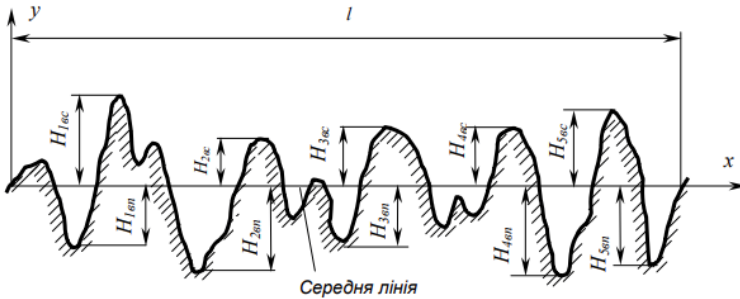


Рисунок 10.1 – Схема мікропрофілю поверхні для визначення параметрів шорсткості

Величина Rz визначається як сума середніх абсолютних відхилень від середньої лінії п'яти вищих за інші виступів і п'яти глибших за інші впадин профілю в межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{iBC}| + \sum_{i=1}^5 |H_{iВП}| \right) \quad (10.3)$$

де H_{iBC} – висота i -го виступу профілю, $H_{iВП}$ – глибина i -ої впадини профілю.

Базова довжина залежить від очікуваного значення параметра шорсткості Rz або Ra і визначається за довідниками. Так наприклад,

якщо Rz знаходиться в межах від 320 до 80 мкм, то базова довжина дорівнює 8 мм, якщо ж Rz знаходиться в межах від 0,1 до 0,32 мкм, то базова довжина складе 0,08 мм.

Між величинами Rz та Ra існує певне співвідношення

$$Ra = \frac{1}{k} Rz. \quad (10.4)$$

Для попередньо оброблених поверхонь $k \approx 4$, для поверхонь, отриманих чистою обробкою, величина k ближче до 5.

Важливе практичне значення мають дані щодо впливу на шорсткість поверхні факторів процесу різання. Поява мікронерівностей під час різання металу спричиняється спільним впливом його пластичної плинності із зони первинної деформації в сторону вершин мікронерівностей; вібрацій технологічної системи; наростотворення, зношування різальної кромки інструмента тощо.

Вплив наростотворення на формування мікронерівностей під час точіння можна пояснити так. В результаті адгезійної взаємодії на передній поверхні різця утворюється нарост. Поступово він збільшується в розмірах і все більше заглиблюється в оброблювану заготовку. Це збільшує опір заглибленню, призводить до утворення тріщини в нарості та спричиняє його руйнування. Зруйнований нарост розділяється на три частини — одна із них міцно скріплюється зі стружкою і виноситься із нею, друга залишається на передній поверхні різця і є основою для формування нового наросту, а третя залишається на обробленій поверхні і впливає на розміщення і розміри мікронерівностей, утворюючи характерну лускатість.

Наростотворення значною мірою зумовлює вплив на шорсткість поверхні швидкості різання. Якщо швидкість різання мала, то нарост відсутній і висота мікронерівностей невелика. Зі збільшенням швидкості висота наросту збільшується, а разом з нею зростає висота мікронерівностей досягаючи максимуму в зоні найінтенсивнішого наростотворення. Далі нарост зменшується, зумовлюючи зниження шорсткості через зменшення об'єму пластичної деформації і коефіцієнта тертя на площинах контакту. Якщо оброблюваний матеріал не схильний до наростотворення, то висота мікронерівностей монотонно зменшується зі збільшенням швидкості різання, хоча рівень цього зменшення невеликий. Коли швидкість різання перевищує 120...150 м/хв, то вона у

більшості випадків практично перестає впливати на шорсткість. Типова залежність параметра Rz від швидкості різання показана на рис. 10.3.

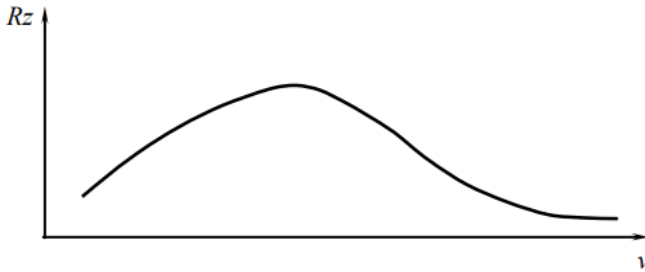


Рисунок 10.3 — Типова залежність параметра Rz від швидкості різання

Зі збільшенням подачі шорсткість обробленої поверхні збільшується (рис. 10.4). Глибина різання (ширина зрізу) значного впливу на шорсткість обробленої не має (рис. 10.5).

З підвищенням твердості й міцності оброблюваного матеріалу та зниженням його пластичності шорсткість зменшується внаслідок зниження середнього коефіцієнта тертя й інтенсивності процесів пластичного деформування та наростоутворення.

Зі зменшенням головного кута в плані ϕ , допоміжного ϕ_1 та зі збільшенням радіуса при вершині різця шорсткість зменшується. Величина переднього кута різця на шорсткість помітно не впливає.

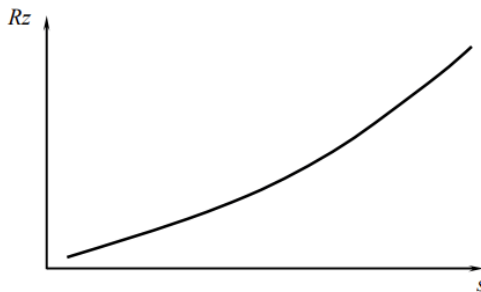


Рисунок 10.4 – Типова залежність параметра Rz від подачі

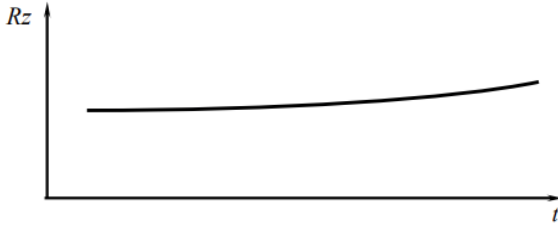


Рисунок 10.5 — Типова залежність параметра Rz від глибини різання

Ступінь зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару

Різання металів є складним процесом, який супроводжується низкою взаємопов'язаних явищ: пружного і пластичного деформування, інтенсивного тертя, виділення тепла, зношування інструмента, збільшення твердості і зміна структури як стружки, так і поверхневого шару обробленої заготовки.

Для того, щоб зрізати шар металу, необхідно його здеформувати аж до появи в ньому руйнівальних напружень. Таке деформування супроводжується подрібненням і витягуванням кристалічних зерен, виникненням міжкристалітних напружень і спотворень кристалічної решітки. При цьому збільшується межа міцності металу, твердість і крихкість, зменшуються пластичність і в'язкість. Таке деформаційне зміцнення поверхневого шару називають наклепом (cold-work hardening).

Деформаційне зміцнення поверхневого шару оцінюють такими показниками: глибиною наклепу h_H , ступенем наклепу u_H ,

$$u_H = \frac{H_{\text{поверхні}}}{H_{\text{серцевини}}},$$

розподілом наклепу по глибині поверхневого шару — градієнтом наклепу

$$u_{gr} = \frac{H_{\text{поверхні}} - H_{\text{серцевини}}}{h_H}.$$

Зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару під час механічної обробки спричиняється дією сили різання і сили тертя інструмента об

заготовку. Встановлено, що ступінь і глибина наклепу зростають зі збільшенням сил різання і тертя та тривалості їх дії тобто зі збільшенням рівня пластичної деформації поверхневого шару.

Одночасно зі зміцненням в металі поверхневого шару може відбуватися відпочинок (знеміцнення), який повертає метал у його вихідний ненаклепаний стан. Відпочинок металу є процесом, який безпосередньо залежить від температури, що розвивається в зоні різання. За значної температури нагріву і тривалого теплового впливу відпочинок може повністю усунути зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару.

Таким чином, під час механічної обробки в зоні різання одночасно діють сили різання і тертя, які спричиняють наклеп, а також нагрів металу, що зумовлює його знеміцнення. Кінцевий стан поверхневого шару залежить від співвідношення швидкостей перебігу процесів зміцнення і знеміцнення.

Ступінь і глибина поширення наклепу залежить від способу і режимів механічної обробки та геометрії різального інструмента.

Залишкові напруження в металі поверхневого шару

Встановлено, що під час механічної обробки у поверхневому шарі можуть виникати як залишкові напруження стиску, так і залишкові напруження розтягу. Згідно з, виникнення залишкових напружень в металі поверхневого шару в процесі механічної обробки пояснюється такими основними причинами.

1. Різальний інструмент, який знімає елементну стружку, витягує кристалічні зерна металу поверхневого шару, які при цьому піддаються пружному і пластичному деформуванню розтягу у напрямі різання. Тертя задньої поверхні різального інструмента по оброблюваній поверхні також сприяє розтягуванню кристалічних зерен металу поверхневого шару. З припиненням різання в пластично розтягнутих верхніх шарах металу, зв'язаних як одно ціле з шарами, що розташовані нижче, виникають напруження стиску. Відповідно, в глибших шарах з'являються зрівноважувальні напруження розтягу.

2. Якщо обробляються пластичні метали з утворенням зливної стружки то після пластичного витягування кристалічних зерен металу поверхневого шару у напрямі швидкості різання відбувається їх додаткове витягування під впливом зв'язаної з оброблюваною поверхнею стружки у напрямку її сходу. У цьому випадку може відбутися повне

переформування кристалічних зерен поверхневого шару з утворенням у напрямках швидкості різання і подачі залишкових напружень розтягу.

3. Теплота, що виділяється в зоні різання, за недостатнього охолодження може миттєво нагрівати тонкі поверхневі шари металу до високих температур, що збільшує його питомий об'єм. Але в нагрітому шарі не виникає внутрішніх напружень через те, що пружність металу зменшується, а пластичність збільшується. Після припинення процесу різання відбувається швидко остигання металу поверхневого шару, яке спричиняє його стиснення (усадку). Цьому протидіє холодніший шар металу, що розташований глибше. В результаті у поверхневому шарі виникають залишкові напруження розтягу, а глибших шарах — залишкові напруження стиску.

4. Довідні (фінішні) операції абразивної обробки (суперфініш, полірування, хонінгування) супроводжуються помітним пластичним деформуванням металу поверхневого шару за відносно невисоких температур. Це сприяє утворенню в поверхневому шарі залишкових напружень стиску.

Вплив показників якості поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин

Розглянемо вплив таких показників якості поверхневого шару як шорсткість, ступінь зміцнення (наклеп), величина і знак залишкових напружень на експлуатаційні властивості деталей машин (operational characteristics of machine parts).

Вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталей машин

Типова характеристика зносу поверхні деталі під час експлуатації за умови її роботи в парі сухого або напівсухого тертя показана на рис. 10.6.

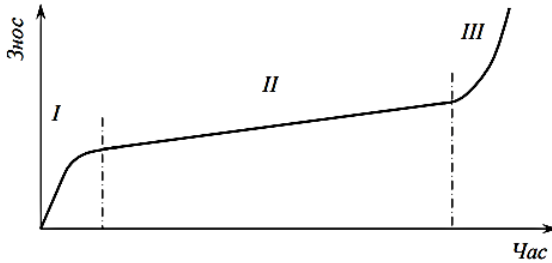


Рисунок 10.6 – Типова характеристика зносу поверхні деталі за умови її роботи в парі сухого або напівсухого тертя: I – первинний знос (припрацювання); II – нормальний експлуатаційний знос; III – катастрофічний знос

Дослідженнями процесів тертя та зношування встановлено, що шорсткість поверхні деталі, отримана під час її виготовлення $Rz_{\text{поч}}$ (початкова шорсткість), впливає лише на первинний знос. Типова залежність впливу початкової шорсткості на величину первинного зносу показана рис. 10.7. З графіка випливає, що найменший первинний знос забезпечуватиметься за певної (оптимальної) початкової шорсткості Rz_0 .

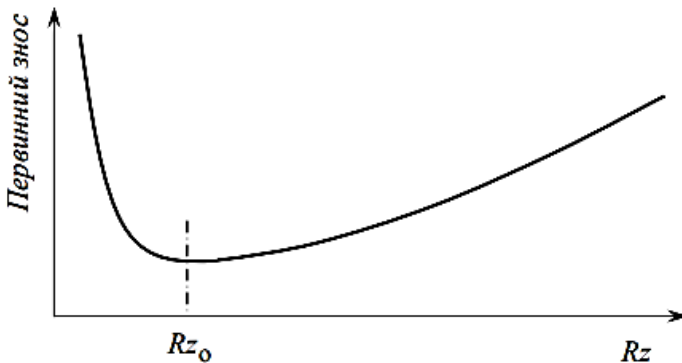


Рисунок 10.7 — Типова залежність впливу початкової шорсткості на величину первинного зносу

Встановлено також, що для кожної із можливих сукупностей матеріалів пар тертя та експлуатаційних факторів (величина і характер навантаження, характеристики мастила, температурний режим тощо) після закінчення процесу припрацьовування на робочих поверхнях деталей утворюється так звана рівноважна шорсткість (equilibrium roughness), яка залишається сталою протягом усієї подальшої експлуатації. Рівноважна шорсткість не залежить від початкової шорсткості.

Утомна міцність (fatigue strength) деталей залежить від шорсткості їх поверхонь. Наявність на поверхні деталі, яка працює в режимі циклічного і знакозмінного навантаження, окремих дефектів і нерівностей сприяє появі концентраторів напружень. У цьому випадку поверхневі дефекти і ризики від різального інструмента відіграють роль осередків виникнення субмікроскопічних порушень суцільності металу поверхневого шару та його розпушування. Це є основною причиною появи утомних тріщин.

*Вплив зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару
на експлуатаційні властивості деталей машин*

Збільшуючи міцність поверхневого шару, наклеп суттєво зменшує знос в кінематичних парах, які працюють в режимах сухого, граничного, напівсухого і напіврідинного тертя, тобто тоді, коли існує безпосередній контакт між поверхнями, що труться. В режимах рідинного тертя наклеп не впливає на знос деталей.

Наклеп суттєво збільшує утомну міцність (межу витривалості) запобігаючи утворенню утомних тріщин в поверхневому шарі. За наявності наклепу поверхневого шару утомні тріщини можуть виникати в глибині деталі, але для цього потрібні більш високі напруження.

Наклеп зменшує корозійну стійкість (corrosion resistance) металу поверхневого шару оскільки пластична деформація кристалічних зерен призводить до утворення значної кількості корозійних мікроелементів.

*Вплив залишкових напружень в металі поверхневого шару
на експлуатаційні властивості деталей машин*

Згідно з величина і знак залишкових напружень в металі поверхневого шару не впливають на знос деталей. Це пояснюється тим, що в процесах сухого, напівсухого і напіврідинного тертя відбувається

інтенсивне пластичне деформування металу поверхневого шару. Це деформування повністю усуває залишкові напруження розтягу, якщо вони були в поверхневому шарі, і формує в ньому залишкові напруження стиску.

Залишкові напруження помітно впливають на утомну міцність деталей. За наявності в поверхневому шарі залишкових напружень стиску межа витривалості деталі підвищується, а за наявності залишкових напружень розтягу — зменшується. Залишкові напруження стиску більшою мірою підвищують межу витривалості, ніж знижують його такі ж за величиною залишкові напруження розтягу.

Тема 11 Шляхи підвищення точності обробки та фізико-механічних властивостей поверхонь деталей машин. (4 години)

У технології машинобудування розрізняють поняття економічної і досяжної точності.

Економічна точність - точність, яка може бути отримана в нормальних виробничих умовах при мінімальній собівартості.

Під нормальними виробничими умовами розуміють виконання робіт на справному устаткуванні з застосуванням необхідних інструментів і пристосувань робітниками відповідної кваліфікації. Іноді вживають термін “середньоекономічна точність”. Поняття економічної точності застосовується для призначення технологічних допусків при проектуванні технології в умовах серійного і масового виробництва.

Кожному методу обробки відповідає своя економічна точність. Таблиці економічної точності обробки наводяться практично у всіх довідниках з технології машинобудування, наприклад, чорнова обробка – 14-15-й квалітет, способи чистової лезової обробки – 10-11-й квалітет.

Досяжна точність - точність, яку можна отримати при виконанні обробки в особливо сприятливих умовах, на спеціально налагодженому чи модернізованому верстаті, висококваліфікованими фахівцями, без обліку витрат часу і не зважаючи на собівартість.

Досяжна точність найчастіше використовується в умовах ремонтного чи дослідного виробництва або при виконанні унікальних робіт, а також при виробництві спеціального інструмента.

Методи досягнення точності при механічній обробці

Існують два (принципово різних), методи досягнення точності розмірів при механічній обробці: метод пробних ходів і промірів і метод автоматичного досягнення точності на попередньо налагодженому верстаті.

Метод пробних ходів і промірів - полягає в тому, що до оброблюваної поверхні підводять інструмент та з невеликої ділянки заготовки знімають стружку. Після цього верстат зупиняють, роблять пробний промір отриманого розміру, визначають величину його відхилення від необхідного на даній операції і вносять виправлення в положення інструмента. Після цього знову роблять пробний хід і промір. Після досягнення необхідного розміру виконують обробку всієї поверхні.

Позитивні риси методу:

- висока кваліфікація робітника, що застосовує такий метод, дозволяє досягати високої точності обробки, тому що робітник може врахувати неточності верстата, інструмента, заготовки та інші фактори.

Недоліки методу:

- можливість появи браку через неуважність робітника;
- низька продуктивність через витрати часу на пробні ходи;
- висока собівартість через високу кваліфікацію робітника і значну трудомісткість.

Сфера застосування - дрібносерійне, одиничне і дослідне виробництво.

Метод автоматичного досягнення точності на налагодженому верстаті Сутність методу полягає в тому, що попередньо налащик чи сам робітник встановлює інструменти у положення, що забезпечує одержання заданого розміру за однопрохідною схемою. Після цього обробка партії заготовок полягає в установці заготовки на верстат, ввімкненні верстата і здійсненні, за необхідності допоміжних переміщень (підведення інструмента до заготовки, відведення його та ін.). Метод досить точний, продуктивний, забезпечує стабільність розмірів для партії заготовок, але при високій точності вимагає досить частого підналагодження і постійного контролю параметрів обробки. У цьому випадку на точність обробки впливають як суб'єктивні фактори - кваліфікація налащика, так і об'єктивні - стан Т-системи, похибка установки та ін. Метод знаходить застосування практично у всіх типах

виробництва. Обробка заготовок на верстатах з ЧПК, використання методу досягнення точності за допомогою лімбів, застосування упорів на універсальних верстатах, застосування верстатів напіваавтоматів і автоматів, копіювальних верстатів – усе це приклади реалізації даного способу досягнення точності.

Налагодження положення інструментів верстата на виконання необхідного розміру може бути виконано наступними способами.

За допомогою лімбів верстата Сутність даного методу полягає у такому: при обробці першої заготовки робітник, застосовуючи раніше розглянутий метод пробних ходів і промірів, визначає при обробці першої заготовки положення лімбів переміщення робочих органів верстата, при яких досягається точність розмірів. Обробка наступних заготовок виконується при тих же положеннях лімбів верстата, чим і забезпечується досягнення операційних розмірів. Попередня установка лімбів на розмір може бути виконана також за допомогою еталонів чи за шаблонами. Метод застосовується в дрібносерійному і середньосерійному виробництві. Точність залежить від об'єктивних і суб'єктивних факторів:

об'єктивні - залежать від верстата (точності лімба, ступеня зносу верстата, люфтів в гвинтових парах та ін.);

- суб'єктивні - похибки першого визначення показань лімба (гостраота зору робітника, кут нахилу погляду стосовно розподілів лімба, похибки повторного встановлення лімба в початкове положення і інші фактори).

Шляхом установки інструментів у процесі обробки пробної партії заготовок Сутність даного методу полягає в тому, що необхідне положення інструментів досягається шляхом коректування їх положення за результатами обробки чергової заготовки з пробної партії (5 – 10 штук). Даний метод установки інструментів нагадує метод пробних ходів і вимірів. Метод застосовується в середньосерійному, великосерійному та масовому виробництві при налагодженні револьверних верстатів та верстатів автоматів і напіваавтоматів.

Шляхом використання еталонів Сутність даного методу полягає у такому: наладчик встановлює інструменти за допомогою еталона. Еталон являє собою копію заготовки, що пройшла обробку на даній

операції. В розмірах еталона передбачається товщина щупів, через які інструмент торкається еталона. Товщина щупа враховує також пружні деформації елементів станка, що виникають під час роботи від сил різання.

Метод підналагодження Сутність методу полягає в тому, що в Т-систему вбудовують датчики, які контролюють параметри поверхонь, що обробляють. Сигнали датчиків передаються на пристрої, що аналізують їх. Ці пристрої установлюють відповідність дійсних розмірів заданим і у випадку їх розбіжності виробляють керуючі сигнали на корекцію положення інструментів. Цей метод іноді називають методом активного контролю досягнення точності, що дозволяє попередити появу браку, на відміну від пасивного контролю, що тільки його реєструє. Точність розмірів у цьому випадку залежить від точності налагодження керуючого пристрою і точності верстата.

Даний метод найбільш поширений у великосерійному та масовому виробництві, тому що має високу продуктивність, точність, знижує час контрольних операцій, але вимагає додаткових витрат для реалізації.

Для додання поверхням деталей спеціальних властивостей можуть застосовуватися різні технологічні методи, класифікація яких подана на рисунку 11.1. Широкі можливості і доцільність застосування цих методів визначаються не тільки умовами забезпечення високої продуктивності, але і створенням поверхонь з оптимальною несучою здатністю.

Якщо поверхня деталі піддається дії підвищених температур, агресивних середовищ, то великого значення набувають і інші фізико-хімічні характеристики поверхневого шару, наприклад, його хімічний склад і електродний потенціал. У цьому випадку треба впливати і на ці характеристики поверхневого шару, змінюючи їх у потрібному напрямку.

Для цього іноді варто змінити хімічний склад поверхневого шару чи створити на поверхні захисні металеві чи неметалеві шари.



Рисунок 11.1 – Класифікація методів підвищення якості поверхні

Спеціальні методи (рисунок 11.2) забезпечують в основному оптимальну мікрогеометрію поверхні.

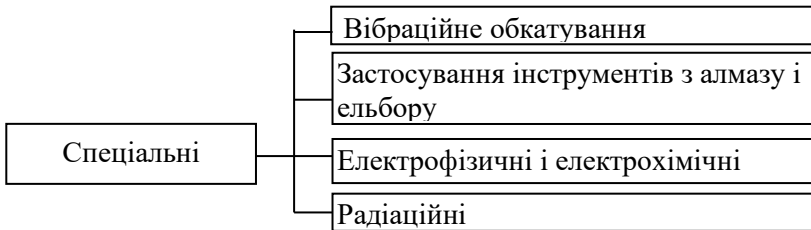


Рисунок 11.2 – Спеціальні методи обробки

Вібраційне обкатування на відміну від розповсюджених методів обробки поверхонь має дві особливості: по-перше, мікрорельєф створюється не процесом різання, а за рахунок тиску (вдавлювання), що істотно впливає на форму нерівностей; по-друге, рисунок мікрорельєфу регламентується, тобто процес формування геометричних характеристик поверхні стає керованим.

При вібраційному обкатуванні на поверхні деталей утворюється регулярна, заданої форми система канавок (рисунок 11.3), що дозволяє оптимізувати ряд дуже важливих параметрів, наприклад, площу контакту деталей.

Застосування вібраційного обкатування дозволяє різко скоротити час припрацювання тертьових пар, підвищити їх зносостійкість і контактну твердість, істотно підвищити герметичність і зносостійкість ущільнень, тим самим підвищити показники надійності і термін служби машин. Так, наприклад, віброобкатування плоских поверхонь дозволяє отримати на поверхні (при відповідному призначенні режиму обробки)

більше 100 точок на площі 25 x 25 мм замість 25—30 точок після шабрування. У результаті контактна твердість підвищується в 2-3 рази, а зносостійкість - у 4 рази. Головні ідеї вібраційного обкатування були запропоновані професором Ю.Г. Шнейдером.

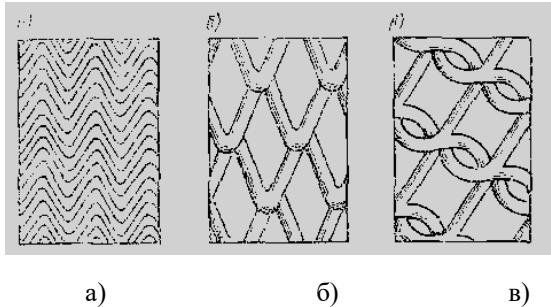


Рисунок 11.3 – Різні види мікрорельєфу, одержувані методом вібраційного обкатування

Застосування інструментів з алмазу і ельбору також дозволяє створювати поверхні з оптимальною мікрогеометрією. Наприклад, заміна шліфування абразивним інструментом на шліфування кругами з ельбору приводить до чотириразового зростання контактної твердості. Хонінгування алмазними брусками дозволяє в 1,5—2 рази збільшити опорну площу і радіуси заокруглення вершин в порівнянні з хонінгуванням абразивними брусками.

Електрофізичні й електрохімічні методи обробки дозволяють змінювати в потрібному напрямку фізико-механічні і хімічні властивості поверхневого шару деталей для підвищення зносостійкості і твердості, корозійної стійкості, жаростійкості і т.д. Ці процеси здійснюються практично без силового впливу, забезпечуючи мінімальну шорсткість поверхні з округленими вершинами нерівностей, що тим самим збільшує опорну поверхню.

Методи зміцнювальної обробки поверхонь (рисунок 11.4) в основному призначаються для поліпшення фізико-механічних властивостей поверхневого шару: підвищується твердість поверхневого шару, у ньому виникають деформаційне зміцнення і залишкові напруги стиску чи розтягання. При обробці ділянок концентрації напруг (галтелей і ін.) вплив цих напруг на міцність деталі зменшується. Деформаційне зміцнення і стискаючі залишкові напруги мають сприятливий вплив для

підвищення межі витривалості, що збільшує довговічність деталей, особливо тих, що працюють при циклічних навантаженнях. Термін служби деталей, наприклад пружин, підвищується в 1,5 - 2 рази, а ресор у 10 - 12 разів. Недоліком дробоструминної обробки є неможливість одержання шорсткості поверхні на м'яких матеріалах менше 10 - 5 мкм. Вона ефективна для деталей, що працюють при температурі не вище 400 °С, тому що більш високі температури призводять до явища рекристалізації, яка усуває ефект зміцнення.

Чеканення застосовується для зміцнення галтелей східчастих валів, зварених швів, зубчастих коліс і інших деталей машин.



Рисунок 11.4 – Методи зміцнювальної обробки

Дробоструминне деформаційне зміцнення найбільшого поширення одержало для зміцнення робочих поверхонь деталей складної форми, у результаті чого в поверхневому шарі створюються значні стискаючі напруги, підвищується його твердість і усуваються дефекти попередньої механічної обробки у вигляді рисок і надривів, зменшується шорсткість грубо оброблених (вихідних) поверхонь.

Обкатування роликками і кульками застосовують для обробки і зміцнення деталей у тих випадках, коли одночасно з підвищенням міцності від утомленості деталей потрібно зберегти чи зменшити шорсткість поверхні. Обкатування роликками після чистової обробки лезовим інструментом зменшує висоту мікронерівностей у 2 - 3 рази і збільшує несучу поверхню. Наприклад, після обкатування обточених деталей зі сталі 45 роликками їх межа витривалості може бути підвищена у 2 рази.

Створення методом обкатування в поверхневому шарі значних і легко регульованих залишкових напруг стиску приводить до збільшення границі витривалості деталей.

За зміцнюючу обробку отворів застосовують їх розкочування роликками чи кульками, а також дорнування. При цьому збільшується не тільки міцність деталі, але і точність розміру отвору (процес калібрування) і одночасно зменшується шорсткість поверхні.

Обробка сталевими щітками — ефективний метод зміцнення поверхні деталі на глибину 0,04 - 0,06 мм. При обробці щітками середньої твердості висотні параметри вихідної шорсткості зменшуються в 2 - 4 рази.

Гідроабразивна обробка підвищує експлуатаційні властивості деталей машин створенням оптимальної мікрогеометрії поверхні і стискаючих залишкових напруг у тонкому поверхневому шарі. Однак мала глибина наклепу і труднощі щодо визначення товщини шару поверхні, що видаляється при гідроабразивній обробці, є недоліком при використанні методу в масовому виробництві.

Вигладжування алмазним інструментом застосовують для обробки сталей, кольорових металів і сплавів. Важливою перевагою вигладжування алмазним інструментом є більш сприятлива форма мікрорельєфу. Так, опорна поверхня при тій же шорсткості збільшується в 2-4 рази в порівнянні з опорною поверхнею, отриманою при операціях шліфування, полірування, суперфінішування і притирання. Іншою перевагою є відсутність зон вторинного загартовування і вторинної відпустки, що характерно для обробки абразивним інструментом загартованої

сталі, тому що алмаз має низький коефіцієнт тертя з високим коефіцієнтом теплопровідності.

Електро механічна обробка (ЭМО) заснована на поєднанні термічного і силового впливу на поверхневий шар деталі і застосовується для обробки сталі і чавуна.

Електро механічна обробка забезпечує створення поверхонь з опорною площею, що перевищує опорну площу після абразивного шліфування в 1,5 - 2 рази, при збільшенні контактної твердості в 2-6 разів. Твердість окремих марок сталей підвищується в 4,5 разу в порівнянні з вихідною при глибині її поширення до 0,2 - 0,3 мм. Зносостійкість нормалізованих сталей після ЭМО підвищується в 4 - 10 разів у порівнянні зі зносостійкістю після полірування чи шліфування. ЭМО - ефективний спосіб обробки поверхонь чавунних деталей, при якому досягається $R_a = 0,63-0,16$ мкм, а глибина зміцненого шару до 0,8 мм при підвищенні мікротвердості в 1,5 - 2 рази.

Зміцнення вибухом приводить до збільшення твердості поверхні і, як наслідок, до підвищення зносостійкості при стиранні, до створення поверхневого шару зі стискаючими залишковими напругами, викликає підвищення границі витривалості, а можливість одержання наскрізного наклепу приводить до підвищення межі міцності і плинності, росту статичної міцності зварених з'єднань. Наприклад, зміцнення вибухом пустотілих валів, зварених з'єднань, замків робочих лопаток турбін і інших деталей, виготовлених зі сталей, алюмінієвих і жароміцних нікелевих сплавів, дало позитивні результати використання цього процесу.

Поверхнєве загартування застосовується для зміцнення деталей зі середньовуглецевих і легованих сталей і чавунів. Глибину загартування призначають не менше 1,5-2 мм. Нагрівання може бути здійснено газовим пальником, струмами високої частоти (індукційне загартування) чи в електролітах. Найбільшого поширення одержало загартування з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ), тому що воно дозволяє одержати рівномірну глибину загартованої зони і добре піддається автоматизації.

Внаслідок швидкого охолодження після нагрівання в поверхневому шарі утворюється мартенсит. В результаті цього створюються стискаючі залишкові напруги і різко збільшується твердість поверхні, а серцевина деталі залишається м'якою і пластичною. Таке поєднання властивостей серцевини і поверхневого шару різко збільшує

витривалість (на 40-100 %) деталей, знижує чутливість до надрізів, підвищує зносостійкість деталей за рахунок високої твердості і відсутності знеуглецювання поверхні.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) складається з насичення поверхневого шару деталі різними хімічними елементами і, як правило, супроводжується термічною обробкою. При даній обробці змінюється не тільки будівля (структура), але і хімічний склад поверхневого шару, що дозволяє більш ефективно керувати якістю поверхні, тим самим змінюючи експлуатаційні властивості деталей. В залежності від того, яким хімічним елементом виконується насичення, поверхневий шар деталі здобуває різні властивості: високу твердість, хімічну стійкість і ін. Важливою обставиною є виникнення в ньому після хіміко-термічної обробки залишкових напружень стиску. Найбільш поширеними є такі види ХТО.

Цементация — насичення поверхневого шару вуглецем — найбільш розповсюджений вид обробки для деталей з маловуглецевих сталей, що містять до 0,3 % вуглецю. Цементация застосовується при виготовленні шестерень, поршневих пальців, колінчастих валів, болтів і багатьох інших деталей. Цементовані поверхні піддають загартуванню.

Азотування — насичення поверхневого шару деталей азотом для підвищення твердості, зносостійкості, границі витривалості і корозійної стійкості. Зносостійкість азотованих деталей значно вище, ніж зносостійкість цементованих. Азотування застосовується для зміцнення гільз циліндрів, шестерень, колінчастих валів, деталей, що працюють в агресивних середовищах.

Ціанування і нітроцементация — одночасне насичення поверхні азотом або азотом і вуглецем. Нітроцементация має ряд переваг перед цементациєю: більш висока зносостійкість і вище границя витривалості деталей.

Борування - насичення поверхні бором. Застосовується для збільшення зносостійкості і підвищення твердості поверхні, що у борованих деталей не знижується до температури 900 - 950 °С. Таке сполучення властивостей дозволяє, наприклад, збільшити довговічність штампів.

Сульфідкування і сульфоціанування - процеси насичення поверхневого шару сіркою або одночасно сіркою, вуглецем і азотом (сульфоціанування). Застосовуються для підвищення зносостійкості тертьових поверхонь у 1,5 - 5 разів, збільшуючи властивості проти задирки і

опору металів схоплюванню. Застосовуються для обробки валиків, втулок, гайок, поршневих кілець і деяких різальних інструментів — мітчиків, довбачів і ін.

Останніми роками розвиваються методи комплексного термодифузійного насичення поверхонь деталей одночасно декількома елементами бороалітування, боросилікування, хромоалітування і ін. Останнє, наприклад, підвищило надійність і в декілька разів збільшило довговічність деталей турбін реактивних двигунів за рахунок підвищення жаростійкості в ерозійних умовах.

Наплавлення і напилювання металів з заданими властивостями застосовуються для підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості звичайних конструкційних матеріалів. При наплавленні в поверхневому шарі створюються, як правило, розтягуючі залишкові напруги, і межа витривалості деталей може бути знижена.

Електроіскрове легування - процес перенесення матеріалу на оброблювану поверхню іскровим електричним розрядом. З моменту появи цей спосіб привернув увагу технологів у зв'язку з такими специфічними особливостями:

- матеріал анода (легуючий матеріал) може утворювати на поверхні катода (поверхня, що підлягає легуванню) надзвичайно міцно зчеплений з поверхнею шар покриття. У цьому випадку не тільки відсутня границя розділу між нанесеним матеріалом і металом основи, але відбувається навіть дифузія елементів анода в катод;

- легування можна здійснювати в строго зазначених місцях (радіусом від часток міліметра і більше), не пошкоджуючи при цьому іншу поверхню деталі;

- технологія електроіскрового легування металевих поверхонь дуже проста, а необхідна апаратура малогабаритна і не складна в транспортуванні;

- при електроіскровому легуванні майже цілком відсутній термічний вплив на шари основного металу, розміщені безпосередньо під легуваним шаром.

Таким чином, електроіскрове легування дозволяє змінювати в заданому напрямку фізико-хімічні і геометричні характеристики поверхневого шару для додання йому необхідних властивостей: підвищення зносостійкості чи підвищення твердості, підвищення міцності від утомленості, зменшення схильності до схоплювання поверхонь при терті,

підвищення корозійної стійкості, жаростійкості, електропровідності й емісійних властивостей.

Технологічні методи підвищення корозійної стійкості поверхонь можуть бути класифіковані за трьома напрямками (рисунок 11.5).

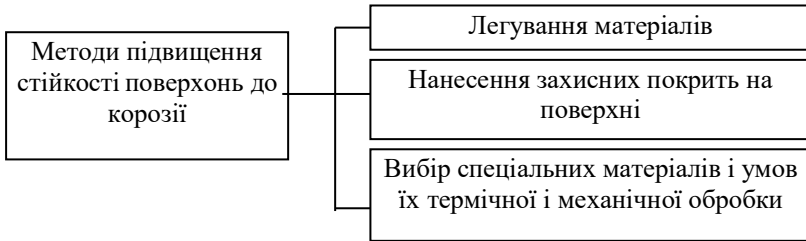


Рисунок 11.5 - Методи підвищення стійкості поверхонь до корозії

Легування матеріалів - додавання в сплави спеціальних елементів, завдяки чому одержують корозійностійкі матеріали. Так, легування сталі хромом (близько 13 %) різко підвищує її електрохімічний потенціал за рахунок утворення на поверхні тонкої захисної плівки окислів. У результаті цього сталі в залежності від складу стають кислотостійкими, стійкими до корозії, жаростійкими (1X13, X18H10 і ін.). Високу стійкість проти газової корозії сталі і деяких сплавів додають хром, алюміній і кремній.

Вибір спеціальних сплавів і умов їх термічної і механічної обробки, при яких не потрібно додаткового захисту від корозії. Наприклад, спеціальним режимом обробки різанням на поверхні сталеві деталі (сталь 30ХГСА) можна створити структуру «мартенсит особливого роду», що має високу корозійну стійкість, при цьому одночасно підвищується міцність від утомленості і зносостійкість.

Нанесення на поверхні різних покриттів (металевих і неметалевих) є найбільш розповсюдженим напрямком і вміщує велику групу методів захисту поверхонь від впливу корозійного середовища (рисунок 11.6).

Розглянуті вище засоби формування поверхневого шару показують, що для відповідальних деталей конструктор повинен зазначати, крім одного чи декількох із шести параметрів шорсткості і напрямків

нерівностей поверхні, додаткові вимоги щодо методу її остаточної обробки в залежності від специфіки середовища роботи деталі.

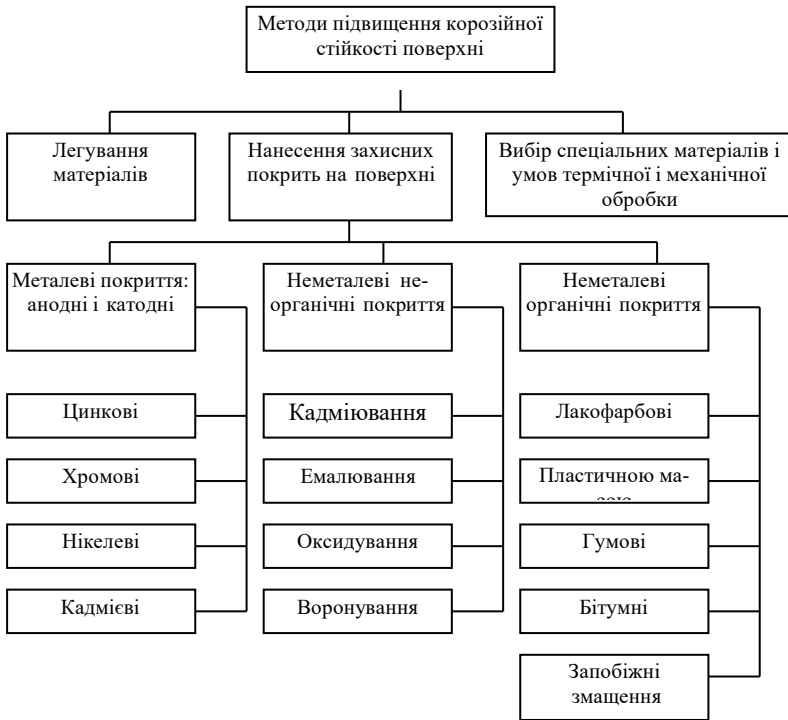


Рисунок 11.6 - Класифікація технологічних методів підвищення корозійної стійкості поверхонь деталей

Призначаючи, наприклад, операцію шліфування чи вимагаючи застосування методів зміцнюючої технології, конструктор тим самим, не нормуючи кількісно фізичні характеристики поверхні, передбачає в першому випадку можливість утворення дефектного шару, що супроводжує процес шліфування, або передбачає в другому випадку зміцнення поверхневого шару з утворенням у ньому наклепу і залишкових напруг.

Тема 12 Складання машини. Методи досягнення точності при складанні (ПВЗ, НПВЗ). (4 години).

Під час виготовлення машини мають бути забезпечені всі показники точності щодо відносного розташування виконавчих та деяких інших поверхонь виробу згідно з технічними вимогами, заданими в конструкторській документації. Ефективним засобом розв'язання цієї задачі є розрахунок і аналіз розмірних ланцюгів.

Розмірний ланцюг (dimension chain) — це сукупність взаємопов'язаних розмірів, які утворюють замкнутий контур і визначають відносне розташування певних поверхонь (чи осей) деталі, заготовки або виробу.

Кожен розмір, що входить у розмірний ланцюг, називають ланкою. Будь-який розмірний ланцюг має одну вихідну (замикальну) ланку і дві або більше складових ланок.

Ланкою замикання (closing link) називають розмір, до якого висувають вимоги точності, що безпосередньо впливають на якість виробу згідно з технічними умовами.

Складовими ланками (component links) називають решту розмірів, зі зміною яких змінюється і вихідна ланка.

Ланками розмірних ланцюгів можуть бути будь-які лінійні або кутові параметри: лінійні розміри між поверхнями або осями, кути нахилу однієї поверхні або осі відносно іншої поверхні або осі, зазори, натяги, перекриття тощо.

За виглядом ланок розмірні ланцюги поділяють на лінійні та кутові.

Ланками лінійних розмірних ланцюгів є лінійні розміри, а ланками кутових розмірних ланцюгів — кутові розміри.

Метою розрахунку розмірних ланцюгів є розв'язання однієї з двох задач — прямої і зворотної.

1. *Пряма задача (проектна)*. Виходячи із заданих параметрів ланки замикання визначають параметри складових ланок. Тобто, на основі відомих значень номінального розміру і граничних відхилень ланки замикання, яку називають у такому випадку вихідною ланкою, розраховують допуски, номінальні розміри і граничні відхилення складових ланок.

2. *Обернена задача (перевірна)*. Виходячи із заданих параметрів складових ланок визначають параметри ланки замикання. Тобто, на основі відомих значень номінальних розмірів, граничних відхилень, допусків і характеристик розсіювання розмірів складових ланок розраховують: номінальний розмір ланки замикання, її поле розсіювання і граничні відхилення.

Під час розв'язання оберненої задачі можуть визначатися також номінальний розмір, допуск і граничні відхилення однієї із складових ланок на основі відомих характеристик інших складових ланок і ланки замикання.

Залежно від особливостей конструкції виробу і конкретних технологічних умов під час його складання для забезпечення точності ланки замикання використовують один з таких методів:

- повної взаємозамінності;
- неповної взаємозамінності;
- групової взаємозамінності (селективного складання);
- припасовування;
- регулювання.

Метод повної взаємозамінності

Суть методу повної взаємозамінності (the method of complete interchangeability) полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються без припасовування, регулювання або підбору, якщо на дільницю складання виробу надходять деталі, розміри яких знаходяться в межах поля допуску.

Перевагами методу повної взаємозамінності є:

- простота і низька технологічна собівартість складання, оскільки деталі з'єднуються між собою без припасовування, регулювання і підбору;
- можливість організації потокового складання;
- можливість широкого кооперування підприємств;
- спрощення системи постачання запасних частин і ремонту машин, що знаходяться в експлуатації.

До *недоліків* методу можна віднести те, що допуски складових ланок є вужчими, ніж під час використання інших методів. Це збільшує технологічну собівартість механічної обробки деталей і за жорстких

вимог точності до ланки замикання може зробити застосування методу повної взаємозамінності економічно недоцільним.

Метод повної взаємозамінності використовується переважно в серійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів, які мають або незначну кількість складових ланок (не більше трьох), або нежорсткі вимоги точності до ланки замикання. В одиничному виробництві повна взаємозамінність використовується лише для сполучень деталей вузла з уніфікованими або стандартизованими виробами – підшипниками кочення, нормалізованими кріпильними деталями тощо.

Метод неповної взаємозамінності

Суть *методу неповної взаємозамінності* (the method of incomplete interchangeability) полягає в тому, що під час складання необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються зазвичай без припасування, регулювання або підбору, але не в усіх складених виробах, а у заздалегідь встановленої їх кількості.

Метод неповної взаємозамінності, порівняно з методом повної взаємозамінності, дозволяє призначати ширші допуски складових ланок, але допускає появу незначної регламентованої кількості виробів, у яких дійсні значення ланок замикання виходитимуть за межі поля допуску.

В основу методу покладене те положення теорії імовірностей, згідно з яким сукупності значень складових ланок, близькі до граничних, трапляються значно рідше, ніж значення, близькі до середніх. Тому частка виробів, у яких величина ланки замикання виходить за межі допуску, є незначною. Додаткові витрати на виправлення цих виробів можуть бути значно меншими, ніж економія від зменшення трудовитрат і ресурсів на виготовлення деталей з ширшими допусками.

Переваги методу неповної взаємозамінності такі ж, як і методу повної взаємозамінності плюс економічність виготовлення деталей завдяки розширенню полів допусків (порівняно з методом повної взаємозамінності).

Недоліком методу є необхідність додаткових витрат на заміну або припасування деяких деталей тих виробів, у яких значення ланок замикання вийшли за встановлені межі.

Метод неповної взаємозамінності використовується в серійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів, які мають більше трьох складових ланок і досить жорсткі вимоги точності до ланки замикання.

Метод групової взаємозамінності (селективного складання)

Суть *методу групової взаємозамінності* (the method of group interchangeability) полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються завдяки включенню в розмірний ланцюг складових ланок, які належать до однієї з груп, на які вони попередньо поділені. В межах кожної з груп показники точності ланки замикання забезпечуються без припасовування і регулювання.

Застосування методу групової взаємозамінності дозволяє навіть за дуже жорстких вимог точності до ланки замикання розширити допуски складових ланок до економічно доцільних і технологічно можливих величин.

Після виготовлення деталі розсортовуються за значеннями їх дійсних розмірів на декілька груп. Кількість груп визначається (з округленням до цілого числа) за формулою

$$n = \frac{\sum_i^m T_i}{T(A_\Sigma)}, \quad (12.1)$$

де m - кількість складових ланок;

T_i - економічно доцільні технологічні допуски складових ланок;

$T(A_\Sigma)$ — заданий допуск ланки замикання.

Таким чином, важливою, але єдиною *перевагою* методу групової взаємозамінності є можливість досягнення високої точності ланки замикання за економічно доцільних технологічних допусків складових ланок.

Недоліки методу групової взаємозамінності:

- збільшення обсягів незавершеного виробництва у випадку різної кількості деталей в групах;

- додаткові витрати на сортування і зберігання розсортованих деталей;

- ускладнення забезпечення запасними частинами через розширення їх номенклатури.

Недоліки методу групової взаємозамінності є настільки суттєвими, що в сучасному машинобудуванні його використовують тільки у випадках, коли використання інших методів для забезпечення точності ланки замикання є неможливим.

Метод групової взаємозамінності використовується в крупносерійному і масовому виробництві для забезпечення точності ланок замикання розмірних ланцюгів з незначною кількістю складових ланок (3...4), наприклад під час виготовлення підшипників кочення.

Метод припасовування

Суть *методу припасовування* (method of fitting) полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються під час складання завдяки припасовуванню механічною обробкою заздалегідь визначеної деталі (компенсатора). Розмір, що має бути досягнутий під час обробки компенсатора, встановлюється після попереднього складання виробу або його частини і вимірювання дійсного значення ланки замикання.

Застосування методу припасовування дозволяє виготовляти деталі з розширеними допусками, але під час складання потрібен додатковий час на попереднє складання виробу, вимірювання ланки замикання, часткове або повне розбирання виробу, механічну обробку компенсатора.

Таким чином, *перевагою* методу припасовування є можливість забезпечення жорстких вимог точності до ланки замикання з економічними допусками складових ланок.

Недоліки методу припасовування:

- суттєве збільшення витрат на складання;
- неможливість організації потокового складання;
- ускладнення забезпечення запасними частинами.

З огляду на ці недоліки використання методу припасовування є доцільним лише в одиничному та дрібносерійному виробництві.

Метод регулювання

Суть *методу регулювання* (regulation method) полягає в тому, що необхідні показники точності ланки замикання забезпечуються завдяки змінненню величини заздалегідь вибраної компенсувальної ланки без зняття шару матеріалу, тобто без механічної обробки.

Метод має два різновиди:

- регулювання за допомогою рухомого компенсатора;
- регулювання за допомогою нерухомого компенсатора.

Перший з цих різновидів забезпечує досягнення необхідних показників точності ланки замикання змінням положення однієї з деталей за допомогою спеціально введених в конструкцію виробу пристроїв (гвинтових, клинових тощо). Другий різновид передбачає регулювання ланки замикання за допомогою змінних деталей типу прокладок, кілець, втулок з точними, заздалегідь визначеними розмірами.

Переваги методу регулювання:

- можливість забезпечення жорстких вимог точності до ланки замикання з використанням економічних допусків складових ланок;
- відсутність припасовувальних робіт, що дозволяє широко використовувати цей метод на дільницях з поточною формою складання;
- можливість регулювання ланки замикання не тільки під час складання, але й в процесі експлуатації машини (наприклад, для компенсації зносу).

Недоліком методу є ускладнення конструкції вузла або машини.

Метод регулювання використовують у всіх типах виробництва для забезпечення точності багатоланкових розмірних ланцюгів з жорсткими вимогами точності до ланок замикання.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Штефан Є.В, Литвиненко О.А. Технологічні основи машинобудування: Конспект лекцій для студ. за напрямами підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навч. – К.: НУХТ, 2013. – 176 с
- 2 Основи технології машинобудування. Частина 1: навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
3. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування. – Запоріжжя, ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
4. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В., Технологія машинобудування. Підручник, – Житомир, ЖДТУ, 2005. – 882 с.
5. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів в машинобудуванні. - К.: Вища школа, 2003.
7. Божидарник В. Григорєва Н., Шабайкович В. Технологія виготовлення деталей виробів , Луцьк.,„Надстиря”, 2006.
8. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design/Y.Altintas. — Cambridge University Press, 2012. — 380p.