

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 1

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»

протокол від \_\_\_\_\_ 202\_ р.  
№\_\_

### КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з навчальної дисципліни «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
освітня програма «Комп'ютеризовані технології машинобудування»  
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки  
кафедра механічної інженерії

Рекомендовано на засіданні  
механічної інженерії  
22 серпня 2025 р.,  
протокол № 9

Розробник: доктор філософії з прикладної механіки, доцент кафедри механічної  
інженерії Яна КОВАЛЕНКО  
д.т.н., проф., професор кафедри механічної інженерії Петро МЕЛЬНИЧУК

Житомир  
2025 – 2026 н.р.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 2

## ЗМІСТ

Вступ.....	
Тема 1. Загальні поняття та визначення технології машинобудування.....	
Тема 2. Загальні поняття про якість виробів. Основні показники якості та характеристики їх розсіювання.....	
Тема 3. Основи теорії розмірних зв'язків. Побудова, розрахунок та аналіз розмірних ланцюгів у виробі машинобудування.....	
Тема 4. Основи базування деталей та заготовок.....	
Тема 5. Загальна теорія точності механічної обробки.....	
Тема 6. Припуски на механічну обробку.....	
Тема 7. Продуктивність та економічність механічної обробки заготовок деталей.....	
Тема 8. Методи механічної обробки зовнішніх поверхонь циліндричних деталей.....	
Тема 9. Обробка внутрішніх циліндричних поверхонь.....	
Тема 10. Обробка різьових поверхонь.....	
Тема 11. Обробка плоских поверхонь.....	
Тема 12. Формоутворення зубчастих поверхонь.....	
Тема 13. Обробка зубів черв'ячних коліс і черв'яків.....	
Тема 14. Формоутворення шліцьових поверхонь.....	
Тема 15. Технологічні операції обробки поверхонь деталей поверхневим пластичним деформуванням.....	
Тема 16. Технологія виготовлення станин і рам.....	
Тема 17. Технологія виготовлення корпусних деталей.....	
Тема 18. Технологія виготовлення валів.....	
Тема 19. Технології виготовлення колінчастих валів.....	
Тема 20. Технологія виготовлення розподільних валів двигунів внутрішнього згоряння.....	
Тема 21. Технологія виготовлення циліндричних зубчастих коліс.....	
Тема 22. Технологія виготовлення зірочок ланцюгових передач.....	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 3

## Тема 1. Загальні поняття та визначення технології машинобудування

Машина як об'єкт виробництва. Службове призначення машини. Технічна підготовка машинобудівного виробництва. Виробничий та технологічний процеси. Складові частини і структура технологічних процесів. Просторові та часові умови виконання технологічних процесів. Поняття про трудомісткість, верстатомісткість, норму часу та норму виробітку. Типи машинобудівних виробництв. Форми організації виробництва в машинобудуванні. Поняття про технологічність конструкцій виробів. Стандартизація виробів, спеціалізація та кооперування виробництв.

Об'єктами виробництва машинобудівної промисловості являються машини.

Машина – це механізм або поєднання механізмів, що здійснюють доцільні рухи для перетворення енергії (машина-двигун) або виконання робіт (машина-знаряддя). Машини, механізми, устаткування, агрегати чи деталі в процесі їх виготовлення на машинобудівному підприємстві є виробами як кінцевий продукт виробництва.

Вироби в залежності від призначення поділяються на вироби основного і допоміжного виробництв. До виробів основного виробництва відносять вироби, які призначені для реалізації, а до виробів допоміжного виробництва – ті, які призначені для власних потреб підприємства, що їх виготовляє.

Базові деталі – це деталі з базовими поверхнями, які виконують у складальному з'єднанні (вузлі) роль з'єднуючої ланки і забезпечують при складанні відповідне положення інших деталей (станина верстата тощо).

Складання виробів з агрегатів називається агрегатним або модульним. Виріб, спроектований за агрегатним принципом, має кращі техніко-економічні показники як при виготовленні, так і при експлуатації та ремонті. Цикл складання значно скорочується.

Агрегатна конструкція дозволяє при потребі ремонтувати кожен складову частину окремо, виходячи з її стану. При цьому зменшується кількість виробів, що знаходиться у резерві.

За можливістю відносного переміщення складових частин з'єднання поділяються на рухомі і нерухомі як рознімні так і нерознімні. Кількість рознімних з'єднань у сучасних машинах і механізмах складає до 85%. За формою з'єднуваних поверхонь з'єднання поділяються на циліндричні (до 40% усіх з'єднань), плоскі (до 20% усіх з'єднань), комбіновані (до 20% усіх з'єднань), конічні (6-7% усіх з'єднань), сферичні (2-3% усіх з'єднань), гвинтові та профільні.

За методом утворення з'єднання поділяються на різьові, клинові, штифтові, шпонкові, шліцьові, зварні, паяні, пресовані, клепані, вальцьовані та комбіновані.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 4

## Тема 2. Загальні поняття про якість виробів. Основні показники якості та характеристики їх розсіювання

Якість машин закладається в їх конструкцію при проектно-конструкторських розробках, забезпечується на заданому рівні при виготовленні і підтримується протягом певного часу при її експлуатації. За державним стандартом під якістю промислової продукції розуміють сукупність її властивостей, що обумовлюють придатність задовольняти певні потреби у відповідності з її службовим призначення.

Якість машин характеризується системою показників, на кожен з яких має бути встановлена кількісна величина з допуском на її відхилення, яка б забезпечувала економічність виконання машиною роботи за її службовим призначенням. Система якісних показників зі встановленими на них кількісними даними і допусками, які описують службове призначення машини, отримали назву технічних умов та норм точності на приймання готової машини.

До найбільш важливих показників якості відносять експлуатаційні показники: технічний рівень машини, її надійність, ергономічність та естетичні характеристики.

Технічний рівень (потужність, ККД, продуктивність, точність роботи, ступінь автоматизації, економічність тощо) визначає ступінь досконалості машини. Її можна оцінити в абсолютних і відносних одиницях. Ці показники використовують при порівнянні якості машин, що виготовляються, з кращими вітчизняними та зарубіжними зразками. Технічний рівень машини залежить не тільки від її конструкції, але й від технології її виготовлення.

Надійність є комплексним показником, який включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, а також властивість машини зберігати справний і працездатний стан протягом певного проміжку часу (міжремонтного періоду).

Надійність машини суттєво залежить від технології її виготовлення, яка впливає також на естетичні характеристики машини (її загальний вид, оформлення), а деякою мірою й на її ергономічні характеристики.

Крім експлуатаційних показників якості машини, надійність оцінюється системою виробничо-технологічних показників, які характеризують ефективність конструктивних рішень з точки зору забезпечення оптимальних затрат праці та коштів на виготовлення виробу, його технічне обслуговування та ремонт. До цих показників відносять: трудомісткість, верстатомісткість, виробничий цикл, конструктивну та технологічну спадкоємність виробу та ін.

Економічні показники якості машини (капіталовкладення у виробництво та експлуатацію машини, собівартість виготовлення машини і собівартість одиниці продукції, що виготовляється машиною) також суттєво залежать від технології виготовлення машини.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 5

Під точністю деталі розуміють ступінь її наближення до геометрично правильного її прототипу.

Виготовити будь-яку деталь абсолютно точно, тобто у повній відповідності її з геометричним представленням, практично неможливо, тому за міру точності приймають величини відхилень від теоретичних значень. Ці відхилення після їх вимірювання порівнюють з відхиленнями, які допускаються службовим призначенням деталі в машині. Отже, по всіх показниках якості деталі, що характеризують її службове призначення, необхідно встановлювати допустимі відхилення чи допуски.

Точність машини характеризується наступними основними показниками:

- 1) точністю відносного руху виконавчих поверхонь машини;
- 2) точністю відстаней між виконавчими поверхнями чи замінюючими їх з'єднаннями та їх розмірами;
- 3) точністю відносних поворотів виконавчих поверхонь;
- 4) точністю геометричних форм виконавчих поверхонь (включаючи макрогеометрію та хвилястість);
- 5) шорсткість виконавчих поверхонь.

### **Тема 3. Основи теорії розмірних зв'язків. Побудова, розрахунок та аналіз розмірних ланцюгів у виробі машинобудування**

#### **3.1.1. Види поверхонь деталей та зв'язків між ними.**

Побудова машини здійснюється шляхом з'єднання деталей. За функціями, які виконують різні поверхні деталей у машині, їх можна поділити на 4 види: виконавчі поверхні, основні та допоміжні бази і вільні поверхні.

Виконавчі поверхні – це поверхні або їх з'єднання, за допомогою яких машина виконує службове призначення. Зокрема у шпинделя токарного верстата виконавчими поверхнями є бічні поверхні шліців або шпонкових пазів, за допомогою яких шпиндель виконує своє службове призначення; у зубчастого колеса – бічна поверхня шпонкового паза, бічні поверхні зубів.

Основні бази – поверхні деталей, які визначають її положення у виробі. У вала редуктора (рисунок) – це підшипникові шийки вала і торці, у зубчастого колеса – отвір, торець і бічна поверхня шпонкового паза, у кришки – циліндрична centruюча поверхня та інше.

Допоміжні бази – поверхні деталей, які визначають положення приєднаних до даної деталі усіх інших деталей. З наведеного рисунка у корпусі редуктора – це отвори під підшипники.

Вільні поверхні – це поверхні деталей, які при роботі в машині не контактують з поверхнями інших деталей. Вільні поверхні допомагають раніше розглянутим поверхням надати деталі потрібних конструктивних форм, які вимагаються їх службовим призначенням.

При складанні машини утворюється два види зв'язків між виконавчими

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 6

поверхнями: кінематичний і розмірний. Розмірний, у свою чергу, поділяється на два підвиди: перший визначає відстань, другий – повороти поверхонь. У загальному випадку усі незалежні, розташовані по замкнутому контуру один за одним розміри прийнято називати розмірними ланцюгами.

Для забезпечення точності розмірних зв'язків машин використовується теорія розмірних ланцюгів. Використання теорії розмірних ланцюгів дозволяє знаходити економічні шляхи вирішення завдань, пов'язаних з досягненням потрібної точності технологічного процесу.

Розмірний ланцюг складається із замикальної ланки та складових ланок.

Замикальна ланка – це ланка розмірного ланцюга, яка є вихідною при формулюванні задачі, або одержується останньою в результаті її розв'язання (в тому числі при виготовленні та вимірюваннях). На робочих кресленнях розмір замикальної ланки не проставляється, оскільки вона одержується в результаті виконання розмірів, вказаних на кресленні.

Складовою ланкою розмірного ланцюга називається ланка розмірного ланцюга, зі зміною якої змінюється замикальна ланка. Складові ланки розмірного ланцюга поділяються на збільшувальні та зменшувальні.

Розмірні ланцюги класифікуються за наступними ознаками:

1. За сферою застосування:

Конструкторські;

Технологічні;

Вимірювальні.

2. За місцем у виробі:

Детальні (включають точність відносного положення поверхонь або осей окремої деталі);

Складальні (визначають точність відносного положення поверхонь або осей деталей, які входять до складальної одиниці).

#### Тема 4. Основи базування деталей та заготовок

В процесі виготовлення машини виникають задачі з'єднання з необхідною точністю двох або більше деталей. Такі задачі є також при складанні та регулюванні машин і механізмів, при обробці заготовки деталей на різних технологічних системах, коли заготовку необхідно встановити і закріпити із заданою точністю на столі верстата або в пристрої. Аналогічні задачі доводиться розв'язувати при встановленні та закріпленні різального інструмента на шпindelь верстата, на борштанзі, в різцетримачі, а також щоразу, коли необхідно виконати вимірювання деталі або її заготовки за допомогою будь-якого вимірювального інструмента або пристрою. Для розв'язання задач такого типу служать основи теорії базування.

За державним стандартом база – це поверхня або сукупність поверхонь, вісь (лінія) або точка, які належать заготовці або деталі (виробу) і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 7

використовуються для базування.

Базування – це надання заготовці або виробу потрібного положення відносно вибраної системи координат: при складанні – надання деталі відповідного положення відносно інших, раніше встановлених деталей або виробів; при механічній обробці – надання заготовці потрібного положення на верстаті відносно його елементів, що визначають траєкторію відносного руху деталі та оброблювального інструмента; при вимірюванні – надання заготовці або деталі потрібного положення відносно вимірювального інструмента.

В основу теорії базування покладений розділ теоретичної механіки про визначення положення твердого тіла в просторі. Теоретична механіка розглядає два стани тіла: спокою та руху. Ці поняття мають сенс лише тоді, коли вказується система відліку. Якщо положення тіла відносно системи відліку протягом часу не змінюється, то тіло перебуває в стані спокою, якщо змінюється – в стані руху. Потрібні положення або рух тіла відносно системи розрахунку досягається накладанням на нього геометричних або кінематичних зв'язків.

Зв'язками називають умови, які накладаються на положення, або рух точок тіла. В першому випадку зв'язки називають геометричними (голономними), в іншому – кінематичними (неголономними). Якщо на туло накладені геометричні зв'язки, то завдяки їм деякі переміщення (або усі рухи) тіла виявляються неможливими.

Можливим переміщеннями тіла називають елементарні переміщення, які можна здійснити без порушення накладених на тіло зв'язків. Кількість таких можливих переміщень називають числом ступенів вільності даного тіла.

Якщо тверде тіло може одержувати будь-яке переміщення в просторі, то таке тіло називається вільним.

Таке тіло має шість ступенів вільності: три переміщення вздовж координатних осей і три – повороти навколо цих осей.

Таким чином, щоб зробити тіло нерухомим, потрібно позбавити тіло шести ступенів вільності, а для цього необхідно накласти на нього шість зв'язків (рисунок). З реальних умов зв'язки практично утворюються за допомогою матеріальних тіл. Реалізація двосторонніх геометричних зв'язків досягається дотиком поверхонь тіла з поверхнями іншого тіла, до якого воно приєднується, і прикладання сил і пар сил для забезпечення контакту між ними.

Поверхня А, яка несе на собі 3 опорні точки і позбавляє 3-х ступенів вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей і обертання навколо двох інших координатних осей), називається встановлювальною базою. Розташування опорних точок визначається з умови рівноваги тіла під дією сил тяжіння.

Для того, щоб виключити переміщення тіла вздовж осі ОХ і обертання навколо осі ОZ, зв'яжемо поверхню В відповідно двома зв'язками Х4, Х5 з площиною ZOУ. Поверхня В, яка позбавляє тіло (заготовку) двох

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 8

ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі та обертання навколо іншої осі), називається напрямною базою.

Таким чином, тіло має можливість тільки переміщуватись вздовж осі ОУ. Для виключення і цього переміщення зв'яжемо поверхню С одним жорстким двостороннім зв'язком з площиною ZOХ. Поверхня С, яка несе на собі одну опорну точку і позбавляє тіло одного ступеня вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей), називається опорною базою.

Сукупність трьох баз, що утворює систему координат заготовки (виробу), складає комплект баз.

Реалізація теоретичної схеми базування здійснюється встановленням заготовки на установчі елементи пристрою. Невідривний контакт баз із встановлювальними елементами пристрою забезпечується прикладанням сил затискання.

Орієнтування у просторі конічних заготовок і деталей має свої специфічні особливості.

При встановленні заготовки чи деталі по довгій конічній поверхні з відносно невеликою конусністю (отвори в шпинделях верстатів, конусні хвостовики різальних інструментів, конічні оправки «тертя») конічна поверхня позбавляє деталь п'яти ступенів вільності – переміщення вздовж трьох осей системи координат і обертання навколо двох осей системи координат, – залишаючи їй тільки одну ступінь вільності: можливість обертання навколо власної осі, яка може розглядатись як третя вісь системи координат. Таким чином, в цьому випадку конічна поверхня суміщає в собі функції подвійної напрямної та опорної поверхні циліндричної деталі і може бути названа упорно-напрямною базою. Очевидно, що для повної орієнтації конічної заготовки чи деталі в просторі необхідно позбавити її ще одного ступеня вільності, розмістивши на одній її поверхонь шосту опорну точку (шпонковий паз, лиска), яка називається опорною базою. Таким чином, повне базування конусної деталі, яке позбавляє її шести ступенів вільності, досягається при використанні комплекту двох баз: упорно-напрямної та опорної.

## **Тема 5. Загальна теорія точності механічної обробки**

Точність деталі не має кількісної оцінки. За міру точності приймають величини відхилень дійсних значень різних параметрів деталей від їх теоретичних або розрахункових значень. Таким чином, точність обробки оцінюється величинами дійсних відхилень параметрів або похибками обробки.

Для того, щоб гарантувати стабільну точність обробки і відсутність браку, технолог зобов'язаний знати та прогнозувати не тільки загальні величини можливих похибок обробки, а й величини їх складових, що з'являються від дії різних причин та факторів систематичного і випадкового характеру.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 9

Похибки, що виникають при виготовленні заготовок, обробці заготовок різанням та інших видах обробки, при контролі та складанні, можна поділити на три види: систематичні постійні, систематичні, які закономірно змінюються, та випадкові.

Систематичні постійні та змінні похибки зміщують центр групування дійсних величин розмірів (X) від розрахункового настроювального розміру. Випадкові похибки викликають розсіювання розмірів відносно центра групування відхилень.

Точність деталі не має кількісної оцінки. За міру точності приймають величини відхилень дійсних значень різних параметрів деталей від їх теоретичних або розрахункових значень. Таким чином, точність обробки оцінюється величинами дійсних відхилень параметрів або похибками обробки.

Для того, щоб гарантувати стабільну точність обробки і відсутність браку, технолог зобов'язаний знати та прогнозувати не тільки загальні величини можливих похибок обробки, а й величини їх складових, що з'являються від дії різних причин та факторів систематичного і випадкового характеру.

Похибки, що виникають при виготовленні заготовок, обробці заготовок різанням та інших видах обробки, при контролі та складанні, можна поділити на три види: систематичні постійні, систематичні, які закономірно змінюються, та випадкові.

Систематичні постійні та змінні похибки зміщують центр групування дійсних величин розмірів (X) від розрахункового настроювального розміру. Випадкові похибки викликають розсіювання розмірів відносно центра групування відхилень.

Систематичними називаються похибки, які для усіх оброблених заготовок (деталей) партії, що розглядається, залишаються постійними або ж закономірно змінюються від кожної попередньої заготовки до наступної. У першому випадку похибка називається постійною, в другому – змінною.

Основними причинами виникнення систематичних постійних та змінних похибок можуть бути:

Похибки теоретичної схеми обробки;

Неточність, зношування та деформації верстатів, пристроїв та інструментів у ненавантаженому стані, а також під впливом сил різання;

Силіві пружні деформації оброблюваних заготовок;

Теплові деформації елементів технологічної системи;

Похибки налагодження верстатів на розміри обробки.

Випадковими називаються похибки, які для різних заготовок (деталей) партії, що розглядаються, мають різні значення, причому їх поява не підкоряється ніякій очевидній закономірності. Випадкові похибки виникають в результаті дії великої кількості незв'язаних між собою факторів. Визначити заздалегідь момент появи і точну величину цієї похибки для кожної заготовки в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 10

партії не можливо.

Випадкові похибки можуть бути безперервними і дискретними. Безперервна похибка має будь-які числові значення в межах певного інтервалу.

Прикладами безперервних випадкових похибок можуть бути:

- положення заготовок на верстаті;
- похибки обробки, що викликаються відтисканням елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання.

Типовими причинами, що викликають появу випадкових похибок, діють одночасно і незалежно одна від одної, можуть бути:

- Коливання величини припуску на обробку поверхні;
- Коливання твердості оброблюваного матеріалу;
- Зміни положення оброблюваних заготовок у пристроях, які пов'язані з похибками їх базування та закріплення;
- Неточності встановлення елементів технологічної системи на упорах;
- Коливання температурного режиму обробки;
- Коливання пружних відтискань елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання.

Відомі три методи дослідження і розрахунку точності механічної обробки:

Ймовірісно-статистичний метод (його можливості, переваги і недоліки розглядались при розрахунку розмірних ланцюгів);

Розрахунково-аналітичний метод, суть якого полягає в оцінюванні точності за аналітичними або емпіричними формулами для строгого визначення умов виконання технологічного процесу. Перевагою цього методу є врахування фізичних явищ у процесі, що розглядається, з виявленням причин утворення похибок. Недолік цього методу полягає у відсутності необхідних розрахункових формул для різноманітних процесів, що обмежує його практичне використання;

Розрахунково-статистичний метод, який базується на використанні переваг ймовірісно-статистичного і розрахунково-аналітичного методів. Цей метод досить гнучкий, що дозволяє визначити похибки процесу шляхом оцінки його окремих складових розрахунковим або статистичним шляхом.

Профіль западини зубчастого колеса представляє собою копію профілю робочої частини модульної фрези. Тому для кожного модуля і числа зубів колеса теоретично необхідно мати окрему фасонну (модульну) фрезу.

Однак з техніко-економічних міркувань з метою зменшення номенклатури інструменту застосовують комплекти у складі 8 або 15 номерів фрез однакового модуля. Кожна фреза комплекту призначена для обробки групи коліс з різним числом зубів. Так, фреза другого номера з комплекту у 8 фрез призначена для обробки коліс з числом зубів від 14 до 16, а фреза сьомого номера – для коліс з числом зубів від 55 до 134. Розрахунок профілю фрези ведеться по колесу з мінімальним числом зубів кожної групи. Всі інші колеса з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 11

даного діапазону будуть мати заздалегідь визначені похибки обробки.

## Тема 6. Припуски на механічну обробку

Креслення вихідної (початкової) заготовки відрізняється від креслення готової деталі наявністю на всіх оброблюваних поверхнях припусків на наступну обробку.

В машинобудуванні при обробці матеріалу розрізняють такі види припусків:

- загальний припуск на обробку;
- операційний, що задається на операцію;
- проміжний, що задається на перехід.

Креслення вихідної (початкової) заготовки відрізняється від креслення готової деталі наявністю на всіх оброблюваних поверхнях припусків на наступну обробку.

В машинобудуванні при обробці матеріалу розрізняють такі види припусків:

- загальний припуск на обробку;
- операційний, що задається на операцію;
- проміжний, що задається на перехід.

Операційним припуском називається шар матеріалу заготовки, що видаляється при виконанні даної операції. Операційний припуск дорівнює:

$$Z_i = \sum_{m=1} Z_{пр}$$

- де  $Z_{пр}$  – проміжний припуск;
- $m$  – кількість переходів.

Проміжний припуск – це припуск, тобто шар матеріалу заготовки, що видаляється за один перехід.

Визначення оптимальних припусків на обробку тісно пов'язане зі встановленням проміжних та початкових розмірів заготовки. Ці розміри необхідні для конструювання штампів, моделей, прес-форм, стрижневих ящиків, пристроїв, спеціального різального та вимірювального інструмента, а також для налаштування металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання.

На основі визначених припусків можна обґрунтовано визначити масу початкових заготовок, режими різання, а також норми часу на виконання операцій механічної обробки.

Величина припуску, що задається, головним чином залежить від методу виготовлення заготовки деталі при вибраному технологічному процесі, товщини дефектного шару і стану обладнання, на якому виготовляють заготовки. Припуски на обробку вимірюються по нормалі до оброблюваної поверхні і задаються звичайно в мм на сторону. Спосіб задання припуску (на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 12

сторону чи діаметр) обов'язково оговорюється в технології.

При обробці будь-якої заготовки деталі операційні розміри, як правило, не можуть бути витримані абсолютно точно, тому фактична величина припуску коливається в деяких межах. У зв'язку з цим розрізняють мінімальний, номінальний (розрахунковий) і максимальний припуски.

Величина припуску, що задається, головним чином залежить від методу виготовлення заготовки деталі при вибраному технологічному процесі, товщини дефектного шару і стану обладнання, на якому виготовляють заготовки. Припуски на обробку вимірюються по нормалі до оброблюваної поверхні і задаються звичайно в мм на сторону. Спосіб задання припуску (на сторону чи діаметр) обов'язково оговорюється в технології.

При обробці будь-якої заготовки деталі операційні розміри, як правило, не можуть бути витримані абсолютно точно, тому фактична величина припуску коливається в деяких межах. У зв'язку з цим розрізняють мінімальний, номінальний (розрахунковий) і максимальний припуски.

## **Тема 7. Продуктивність та економічність механічної обробки заготовок деталей**

Зменшення допусків на обробку і висоти мікронерівностей оброблених поверхонь підвищує трудомісткість та собівартість обробки приблизно за законом гіперболи. Це пояснюється тим, що зростає основний час у зв'язку з появою додаткових ходів і зниженням режимів різання, збільшується допоміжний час, пов'язаний з контрольними операціями, встановленням, вивірченням положення заготовки на верстаті, встановленням різального інструмента на розмір (при роботі за методом пробних ходів), застосовуються більш складні та точні, а отже, і більш дорогі верстати, зростають затрати на різальний інструмент і в ряді випадків застосовуються більш дорогі способи обробки.

До основних і найбільш об'єктивних критеріїв доцільності вибору найбільш придатного для даних конкретних умов варіанта обробки належать його продуктивність та економічність. Навіть при обробці заготовок певним способом необхідно встановити економічність застосування того або іншого типорозміру верстата чи технологічного оснащення.

Вибір швидкості різання за найбільшою продуктивністю чи за найменшими затратами здійснюється для кожного конкретного випадку із врахуванням обставин, що склалися (ступеня терміновості завдання, ступеня завантаженості даного верстата, можливості інструментального цеху поповнювати підвищене витрачання інструмента тощо). В будь-якому випадку

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 13

швидкість різання не повинна виходити за межі оптимальних швидкостей за продуктивністю та собівартістю.

Співставлення ефективності технологічних варіантів за критеріями продуктивності та собівартості може призвести в окремих випадках до різних висновків. Так, наприклад, при співставленні розточування отвору діаметром 30×40 мм за 7-м квалітетом з шорсткістю  $Rz = 6,3$  мкм в сталевих заготовках швидкорізальним різцем Р6М5 на токарному верстаті І6К20 і протягування в серійному виробництві показує, що трудомісткість (штучно-калькуляційний час, хв.) розточування у 3...3,5 рази вища в разі використання розточування при рівних значеннях собівартості технологічних операцій.

Наведений приклад показує, що при співставленні ефективності технологічних процесів не потрібно обмежуватись визначенням тільки собівартості обробки, а іноді необхідно підрахувати як собівартість, так і трудомісткість обробки.

У відповідальних випадках визначення економічної ефективності технологічних процесів необхідно вести розрахунок за двома її основними критеріями: продуктивністю (чи трудомісткістю), що виражає штучно-калькуляційний час, і собівартістю, представленою у вигляді технологічної собівартості.

Коли у варіантів технологічних процесів, що співставляються, затрати на різальний інструмент розрізняються несуттєво, можна обмежитись співставленням ефективності процесів тільки за одним із вказаних критеріїв економічності. Якщо один з варіантів, що співставляються, пов'язані із застосуванням дороговартісного обладнання або спеціального технологічного оснащення, аналіз економічності потрібно доповнити розрахунком приведених затрат.

Економічна ефективність технологічних процесів суттєво залежить від масштабів річного випуску виробів і розмірів партії заготовок, що запускаються у виробництво. Відомо, що придбання високопродуктивних, але дороговартісних багатошпindelних автоматів окуплюється тільки при достатньо великій кількості виробів, що випускаються. З іншого боку, структура і загальна сума затрат по експлуатації верстатів різного типу суттєво відрізняються.

Істотний вплив видів і режимів обробки, застосовуваних верстатів і технологічного оснащення на економічність виготовлення деталей, а також залежність економічності технологічних процесів від розмірів партій оброблюваних заготовок роблять актуальною проблему оцінки економічної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 14</i>

ефективності технологічних процесів. Правильне і своєчасне визначення економічної ефективності створення та застосування нової техніки і технології виробництва суттєво визначають напрямок і темпи технічного прогресу машинобудування.

Технічне нормування у широкому розумінні цього поняття представляє собою встановлення технічно обґрунтованих норм витрат виробничих ресурсів. При цьому під виробничими ресурсами розуміються енергія, сировина, матеріали, інструмент, робочий час.

В сучасних умовах механоскладального виробництва економія виробничих ресурсів (за рядом причин економічного, демографічного і соціального характеру) набуває надто важливого значення. Особливо важливою задачею, що розв'язується при проектуванні технологічних процесів, є задача технічного нормування робочого часу, тобто нормування праці.

Основна задача нормування – це визначення міри праці і відповідної винагороди. Нормування праці здійснюється методами технічного і досвідно-статистичного нормування.

Технічне нормування праці – це сукупність методів і прийомів з виявлення резервів робочого часу і встановлення необхідної міри праці. Задачами технічного нормування є виявлення резервів робочого часу і поліпшення організації праці на підприємстві, встановлення правильної міри праці (тобто визначення норми часу) і в кінцевому результаті – підвищення продуктивності праці та збільшення обсягів виробництва.

При технічному нормуванні праці (тобто при аналітичному методі визначення норми часу) технологічна операція розкладається на елементи: машинні, машинно-ручні і ручні, на переходи, ходи, прийоми і рухи. При цьому кожен елемент піддається аналізу як окремо, так і в поєднанні з суміжними елементами.

Технічно обґрунтована норма часу встановлюється із врахуванням наявності раціонального технологічного процесу, правильної для даних виробничих умов організації праці та виконання роботи робітником відповідної кваліфікації, продуктивність праці якого вища середньої продуктивності праці робітників на аналогічній роботі. При цьому під правильною організацією праці розуміється:

економічно доцільне в даних умовах відокремлення основної роботи від підготовчої та допоміжної;

раціональна організація робочих місць та їх систематичне обслуговування, виходячи з даних виробничих умов;

раціональне виконання трудових дій робітника; нормальні санітарно-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 15</i>

гігієнічні умови роботи (освітлення, опалювання, вентиляція) і техніка безпеки.

Призначення технічної норми часу не обмежується визначенням оплати за працю та її продуктивність. Технічні норми служать основою для визначення потрібної кількості і завантаження обладнання, виробничої потужності ділянок і цехів, розрахунку показників праці та по заробітній платі, а також є основою оперативного (календарного) планування.

З розвитком техніки, технології та організації виробництва, із зростанням енергоозброєності робітника і підвищенням його культурного рівня норми часу повинні коректуватись у бік їх оптимізації із врахуванням зростаючої продуктивності праці.

Дослідно-статистичний метод нормування застосовується в умовах одиничного і дрібносерійного виробництв, на відміну від технічного нормування не передбачає аналітичного розрахунку трудомісткості окремих елементів виконуваної роботи та їх підсумовування. Норма часу встановлюється на всю операцію в цілому шляхом співставлення з нормами і фактичною трудомісткістю виконання в минулому аналогічної роботи.

Статистичні дані про фактичну трудомісткість аналогічних операцій у минулому і власний досвід нормувальників і майстрів є основою цього методу нормування. Внаслідок того, що фактичні затрати часу і фактичний виробіток у минулому відображають недоліки в технології та організації праці і виробництва, що існували в той час, досвідно-статистичні норми узаконюють їх на майбутнє.

Ці норми не мають під собою технічної та розрахункової бази і, як правило, є заниженими і не відповідають задачам виявлення резервів виробництва і підвищення продуктивності праці. У зв'язку з цим однією з найважливіших і невідкладних задач машинобудівного виробництва є важливим перехід від досвідно-статистичного нормування до технічного.

## **Тема 8. Методи механічної обробки зовнішніх поверхонь циліндричних деталей**

Вали в основному виготовляються з прокату. В умовах серійного та масового виробництва заготовки східчастих валів доцільно виготовляти штампуванням і в деяких випадках – литтям.

При виготовленні валів із пруткових матеріалів зазвичай виконуються заготівельні операції: правка (виправлення), обдирання, розрізання та, за необхідності, центрування.

Основні методи механічної обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 16

представлені.

Перед початком механічної обробки прутковий матеріал та заготовки для валів з метою усунення викривлення осей правяться у холодному стані. Заготовки у вигляді поковок і штамповок за значних їх діаметрів і довжин правляться у нагрітому стані під молотами.

Можлива правка прутків і заготовок для валів на пресах. Перед правкою заготовки перевіряють на призмах для визначення місць, що підлягають виправленню. На цих призмах вони, як правило, і правляться.

При масовому виробництві валів із прутків останні правлять на спеціальних правильних верстатах. Правильні верстати мають обертовий барабан, у якому встановлені, дві або три пари роликів із перехресними осями і формою гіперболоїда обертання. При прошовуванні прутка між цими роликами відбувається виправлення його осі (схема).

На штучні заготовки прутки розрізають на приводних ножівках, дискових, стрічкових, фрикційних, електрофрикційних пилках на токарно-відрізних верстатах (з одним або двома відрізними різцями), відрізних автоматах, верстатах, що працюють тонким абразивним кругом (застосовуються звичайно для розрізання загартованої сталі).

Прутковий матеріал можна розрізати також на пресах і ножицями, що застосовується головним чином у заготівельних відділеннях ковальських цехів.

Крім зазначених способів механічного розрізання матеріалу, застосовується також газове (автогенне), анодно-механічне, електроіскрове та ультразвукове розрізання.

При розрізанні круглих прутків або балок таврового, двотаврового, швелерного профілів дисковою пилкою площа перерізу постійно змінюється в міру проходження пилки. Внаслідок цього при рівномірній подачі пилки відбуваються різкі зміни сили різання. Ці зміни негативно впливають на роботу верстата, викликаючи значні напруження в окремих його частинах. Для уникнення цього необхідно призначати подачу у відповідності з величиною площі перерізу, що розрізається в даний момент, таким чином, щоб верстат завжди працював з однаковою силою різання, тобто зі змінною величиною подачі. Це здійснюється механізмом гідравлічної подачі, яким забезпечуються сучасні дискові пилки.

Гідравлічні системи подач мають перевагу перед механічними, оскільки дозволяють точно встановити і плавно змінювати величину подачі, завдяки чому верстат працює за більш сприятливих умов. Сучасні дискові пилки забезпечуються також гідравлічними затискними пристосуваннями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 17</i>

## Тема 9. Обробка внутрішніх циліндричних поверхонь

Найбільш поширеними отворами в деталях машин є циліндричні, східчасті, конічні, фасонні. Під східчастими мають на увазі отвори різних діаметрів, що розташовані на одній осі послідовно одне за одним.

Отвори можуть бути відкритими з двох (наскрізні) чи з однієї (глухі) сторони.

В деталях машин найчастіше зустрічаються отвори циліндричні та конічні.

Досягнення необхідної точності обробки отворів більш трудомістке, ніж зовнішніх поверхонь тіл обертання.

Обробляються отвори зняттям та без зняття стружки. Стружка знімається лезовими, абразивними інструментами, абразивними порошками, абразивними пастами та інструментом для поверхневого пластичного деформування.

Лезовими інструментами виконуються такі технологічні операції, як свердління, зенкерування, розвертання, розточування, протягування.

Абразивними інструментами здійснюються шліфування, хонінгування, суперфінішування, притирання (з використанням абразивних порошоків).

Обробка отворів без зняття стружки проводиться калібруванням за допомогою вигладжувальних прошивок та куль, а також розкатуванням.

В листових матеріалах ефективним методом формування отворів є пробивання їх у штампах.

Основні методи формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь та отримувані показники точності і якості представлені на рисунку.

Лезовими інструментами виконуються такі технологічні операції, як свердління, зенкерування, розвертання, розточування, протягування.

Абразивними інструментами здійснюються шліфування, хонінгування, суперфінішування, притирання (з використанням абразивних порошоків).

Обробка отворів без зняття стружки проводиться калібруванням за допомогою вигладжувальних прошивок та куль, а також розкатуванням.

В листових матеріалах ефективним методом формування отворів є пробивання їх у штампах.

Основні методи формоутворення внутрішніх циліндричних поверхонь та отримувані показники точності і якості представлені на рисунку.

Отвори діаметром більше 30 мм у суцільному матеріалі звичайно свердлять двома свердлами (свердла меншого та більшого діаметрів) з метою зменшення осьової сили і запобігання значного відведення свердла.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 18

Для утворення отворів діаметром понад 30 мм за 8 та 9-им квалітетами точності з шорсткістю поверхні 2,5–1,0 мкм за показником Ra після свердління застосовуються зенкери і розвертки, а для діаметрів до 30 мм після свердел – тільки розвертки.

Для утворення отворів діаметром від 15 до 20 мм за 7 та 8-им квалітетами точності та з шорсткістю від 1,25 до 0,32 мкм по Ra після свердел застосовують зенкери та розвертки, для діаметрів понад 20 мм після свердел та зенкерів застосовують одну або дві розвертки - чорнову і чистову.

Свердло для глибокого свердління складається зі штанги довжиною до 1,5–2,0 м (в залежності від довжини отвору), що має дві канавки для відведення стружки та дві канавки для трубок, що підводять мастильно-охолоджувальну рідину (МОР) під великим тиском для змащування, охолодження та видалення стружки. На кінці штанги закріплюється клином з гвинтом спеціальна різальна пластина із швидкорізальної сталі або пластина, яка оснащена твердим сплавом. На ріжучих кромках пластини виконуються канавки для розламування та подрібнення стружки. Крім того, ці канавки полегшують видалення із зони різання стружки під дією МОР. Такі свердла застосовуються для отворів діаметром від 30 мм і більше.

Для виготовлення глибоких отворів відносно невеликих діаметрів (до 30 мм) застосовуються спіральні свердла з внутрішнім підведенням МОР. Однак обробляти такими спіральними свердлами глибокі отвори технологічно недоцільно. Це зумовлено тим, що такі свердла необхідно часто виводити з отворів для видалення стружки, яка застрягла всередині. Крім того, такі свердла недостатньо міцні та менш точно забезпечують дотримання напрямку осі отвору.

Тому замість спіральних свердел в таких випадках застосовуються так звані гарматні свердла. Їх конструктивною особливістю є те, що вони не мають поперечної різальної кромки, яка полегшує процес різання матеріалів. Вершина таких свердел зміщена, завдяки чому утворюється напрямний конус, що направляє інструмент.

Свердлінню гарматними свердлами передують попереднє засвердлювання матеріалу на деяку глибину спіральними або перовими свердлами. Ця операція є важливою, оскільки визначає подальше можливе відведення осі гарматного свердла при виконанні технологічної операції. Дрібна стружка, що утворюється при свердлінні, легко видаляється МОР. Істотним недоліком гарматних свердел є їх мала продуктивність.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 19

## Тема 10. Обробка різьових поверхонь

У машинобудівному виробництві застосовуються циліндричні (кріпильні та ходові) та конічні різі.

Основним видом кріпильних різей є метричні різі трикутного профілю з кутом  $60^\circ$ . Дюймові різі з кутом профілю  $55^\circ$  також є кріпильними, але в вони у своїй більшості застосовуються тільки при виготовленні запчастин і ремонті старого або закордонного устаткування. Застосування дюймових різей при проектуванні нових виробів не бажане.

Ходові різі виготовляються з прямокутним і трапецеїдальним профілем. Останні бувають одно- та багатозахідні.

Розрізняють різі зовнішні (на зовнішніх поверхнях деталей) та внутрішні (на внутрішніх поверхнях деталей).

Зовнішні різі виготовляються різними інструментами: різцями, гребінками, плашками, саморозкривними різенарізними головками, дисковими та груповими фрезами, шліфувальними кругами, накатними інструментами.

Для виготовлення внутрішніх різей застосовуються різці, мітчики, розсувні мітчики, групові фрези, накатні ролики.

Той чи інший метод нарізання різей застосовується в залежності від профілю різей, характеру та виду матеріалу виробів, обсягу виробничої програми та необхідної точності.

При нарізанні різей, крім основного критерію – точності середнього діаметра різей, необхідним є дотримання у визначеному співвідношенні кута профілю та кроку, що значно ускладнює процес нарізання різей. Крім того, поверхні різей повинні мати інші відповідні показники якості: шорсткість та клас точності.

Трикутні різі часто нарізуються на токарно-гвинторізних верстатах різьовими різцями, тобто різцями звичайного типу, що заточені під кутом  $60^\circ$  для метричних різей, та  $55^\circ$  – для дюймових.

Одержання профілів різей забезпечується відповідними профілями різьових різців, які повинні бути заточені з відповідною точністю, і правильним встановленням різців відносно заготовок.

Різці повинні бути розташовані строго перпендикулярно до осі верстата. У протилежному випадку порушується геометрична форма профілю різей («коса» різь). Крім того, передні поверхні різців повинні бути розташовані на висоті центрів верстата, оскільки при іншому їх положенні різі будуть нарізані з неправильним кутом профілю.

Високі вимоги, які висувають до заточення різців і збереження

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 20

правильного профілю, призвели до впровадження у виробництво фасонних різьових різців: призматичних (рисунок, а) і круглих (дискових) (рисунок, б). У цих різців розміри елементів профілю різей витримуються більш точно, ніж у звичайних, оскільки такі різальні різці заточуються по передній поверхні, а відшліфовані при виготовленні задньої (бічної) поверхні зберігають профіль незмінним. Для підвищення якості поверхонь різей часто застосовуються пружинні державки (рисунок, в). Застосовуються також багаторізцеві різальні головки або багатогранні пластини.

Тригранна головка, що представлена на рисунку, (г), складається з корпусу 3, до якого болтом 4 прикріплюється тригранна пластина 1 (окремо показана на рисунку, (д)). При затупленні однієї з граней пластина перевертається так, щоб у процесі формоутворення була задіяна нова грань, що не затупилася. Для цього в корпусі передбачений штифт 2 (рисунок, (г)), по якому пластина фіксується своїми трьома точно розташованими циліндричними отворами. Застосування багаторізцевих головок і багатогранних пластин найбільш доцільне в умовах серійного виробництва.

## Тема 11. Обробка плоских поверхонь

Обробка плоских поверхонь різальними інструментами виконується на стругальних, довбальних, фрезерних, протяжних, карусельних, розточувальних, токарних і шабрувальних верстатах, обробка абразивним інструментом – на шліфувальних верстатах. Найбільш широке застосування одержали технологічні операції стругання, фрезерування, протягування та шліфування.

Основні методи формоутворення плоских поверхонь представлені на рисунку нижче.

Стругання виконується на поздовжньо-стругальних і поперечно-стругальних верстатах.

При струганні на поздовжньо-стругальних верстатах стіл із закріпленою на ньому деталлю (або деталями) виконує зворотнопоступальний рух. Подача в поперечному напрямку надається різцю переміщенням різцевого супорта, яке здійснюється переривчасто після кожного робочого ходу. Стружка знімається під час переміщення стола в одному напрямку, тобто робочого ходу. Зворотний (холостий хід) виконується зі швидкістю, що у 2–3 рази більша за швидкість робочого ходу. Втрати часу при холостих ходах робить стругання менш продуктивним способом обробки плоских поверхонь, ніж інші способи. Схема стругання площин представлена на рисунку нижче.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 21</i>

Поздовжньо-стругальні верстати виготовляються одно- і двостійковими, з одним, двома і чотирма супортами. Одностійкові стругальні верстати застосовуються для обробки деталей, які не розміщуються повністю на столі верстата і виступають за його межі. Поздовжньо-стругальні та поперечно-стругальні верстати широко застосовуються в одиничному, дрібно- і середньосерійному виробництвах внаслідок їх універсальності, простоти управління, достатньої точності обробки і меншої ціни в порівнянні з фрезерними верстатами.

Стругання, як і точіння, поділяється на чорнове і чистове. Чистове стругання виконується з малою поперечною подачею або різцями з широким лезом.

При струганні великих литих і зварних деталей особливе значення має правильність закріплення їх на столах верстатів. При закріпленні деформації деталей недопустимі. У протилежному випадку після закінчення обробки і розкріплення кожної деталі від затискачів вона набуде своєї початкової форми і оброблена поверхня виявиться викривленою у зв'язку з її пружною деформацією.

Наявність внутрішніх напружень у відливках суттєво впливає на точність стругання. Коли при струганні видаляється поверхневий шар металу, рівновага внутрішніх напружень порушується і деталь деформується. Для усунення або зменшення внутрішніх напружень сталеві заготовки деталей піддають відпалюванню, а чавунні відливки – штучному або природному старінню.

Технологічні операції довбання виконуються на довбальних верстатах, що відносяться до класу стругальних. На цих верстатах різальний інструмент (довбач) із закріпленим у ньому різцем виконує зворотно-поступальний рух у вертикальній площині. Стіл верстата, на якому закріплюється деталь, що обробляється, має рух подачі в горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Довбальні верстати застосовуються в одиничному виробництві для одержання шпонкових канавок в отворах, а також для обробки квадратних, прямокутних та інших форм отворів. Для цих робіт у серійному і масовому виробництвах застосовуються протяжні верстати.

Режими обробки розраховуються або вибираються табличним способом в залежності від виду обробки, матеріалу заготовки, інструментального матеріалу тощо.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 22

## Тема 12. Формоутворення зубчастих поверхонь

Характерним прикладом деталей, що мають зубчасті поверхні, є зубчасті колеса, які поділяються на циліндричні, конічні та черв'ячні. Перші з них найбільше поширені. Їх виконують одно- і багатовінцевими (блоковими). За конфігурацією зубчасті колеса виготовляються у вигляді дисків із гладкими або шліцьовими отворами, а також у вигляді фланців і валів з хвостовиками.

Зубчасті колеса звичайно нарізуються на одній (рисунок, а) або на декількох заготовках на оправці (рисунок, б). Це збільшує продуктивність за рахунок часу, що витрачається на врізання і вихід фрези, а також за рахунок допоміжного часу. Застосування кількості фрез на шпindelній оправці до двох або трьох (рисунок, в), кожна з яких прорізає западини зубів в одній групі заготовок, призводить до збільшення продуктивності процесу.

У цьому випадку застосовуються багатошпindelні ділильні головки (рисунок, г). Використання для цього напівавтоматичних верстатів, у яких усі допоміжні рухи (підведення заготовок до фрез, відведення їх у вихідне положення, поворот заготовок на один зуб і зупинка верстата) відбуваються автоматично, також підвищує продуктивність. Значне збільшення продуктивності досягається застосуванням твердосплавних фрез.

Нарізання зубів циліндричних коліс середніх модулів 8–9-го ступенів точності можливе одночасно двома дисковими модульними фрезами (рисунок, д).

Цей метод обробки зубів полягає в тому, що у процесі обробки відтворюється зачеплення зубчастої пари, у якій однією деталлю є різальний інструмент, а іншою – зубчасте колесо, що нарізується.

Нарізання зубів циліндричних зубчастих коліс з прямими, косими і криволінійними (гвинтовими) зубами виконується за допомогою черв'ячних фрез (зубофрезерування) і довбачами (зубодовбання).

Вимога високої точності та плавності зачеплення зубчастих коліс, а також прагнення підвищити продуктивність процесу зубонарізування призвели до створення спеціальних зуборізних верстатів. Найбільш розповсюдженими є верстати, що формують профілі зубів шляхом фрезерування або довбання різальними кромками інструментів при безперервному процесі обкатування.

При обробці довбанням кінцевий профіль зубів є більш точним, ніж при фрезеруванні. В цьому випадку неточності інструментів значно менше впливають на похибки профілю зубів. Проте удари, що виникають при обробці, шкідливо впливають на верстати та інструменти. Тому метод довбання застосовується головним чином для чистового нарізання зубів, зубчастих коліс

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 23

малого модуля та так званих блок-шестерень.

Метод фрезерування дво- або трьохзахідними фрезами, як найбільш продуктивний, застосовується для чорнового нарізання, а фрезерування однозахідними фрезами – для чистового нарізання зубів зубчастих коліс.

В залежності від конструктивного компонування основних вузлів розрізняють наступні типи зубофрезерних верстатів:

- а) з вертикальною та горизонтальною осями супорта і стола;
- б) з подачею стола і нерухомою колоною фрезерного супорта;
- в) з подачею колони і нерухомою в напрямку подачі основою стола;
- г) одно- і багатошпindelні верстати.

Найбільш поширені вертикальні одношпindelні зубофрезерні верстати.

В них фреза закріплюється в супорті. Його поворот повинен забезпечувати нахил осі фрези під кутом  $\alpha$ , що дорівнює куту підйому гвинтової лінії витків фрези. Заготовка зубчастого колеса, що нарізається, встановлюється на столі верстата. Стіл переміщається по станині для встановлення на глибину западини зуба і, крім того, має обертальний рух. Завдяки цьому здійснюється обкатування зубчастого колеса по відношенню до черв'ячної фрези в процесі різання. Супорт з фрезою здійснюють подачу вздовж осі зубчастого колеса. При фрезеруванні зубчастих коліс з косими зубами фреза встановлюється із врахуванням нахилу гвинтової лінії витків фрези і кута спіралі зубів зубчастого колеса.

В залежності від величини модуля встановлюється число ходів фрези:

- зубчасте колесо з модулем до 2,5 мм зазвичай нарізається за один хід начисто;
- зубчасте колесо з модулем понад 2,5 мм нарізається начорно і начисто за два і навіть за три ходи.

Для чорнових ходів застосовуються дво- і тризахідні черв'ячні фрези, що збільшують продуктивність, але знижують точність обробки в порівнянні з однозахідними. Тому такі фрези використовуються, головним чином, для попереднього нарізання зубів.

Врізання черв'ячних фрез, особливо великих діаметрів, є значною величиною і викликає істотні витрати часу роботи верстата. Скоротити цей час на 20–30 % можна заміною звичайного осьового врізання (рисунок, а) радіальним (рисунок, б).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 24

### Тема 13. Обробка зубів черв'ячних коліс і черв'яків

Нарізання черв'ячних коліс способом радіальної подачі більш поширене, ніж інші способи. При цьому способі (рисунок, а) фреза 1 і зубчасте колесо 2, що нарізається, обертаються, причому швидкості їх обертання розраховуються так, щоб за один оберт фрези зубчасте колесо повернулось на число зубів, що дорівнює числу заходів черв'яка.

На відміну від нарізання циліндричних зубчастих коліс супорт з фрезою в даному випадку нерухомі, а стіл із закріпленням на ньому зубчастим колесом, що нарізається, здійснює горизонтальну подачу  $S$  на глибину зуба в напрямку до фрези, тобто в радіальному напрямку.

У зубофрезерних верстатах, що працюють за методом обкатування та призначені для нарізання зубчастих коліс великого діаметра, горизонтальна подача здійснюється не столом із заготовкою, а стійкою, що несе супорт із фрезою.

Спосіб радіальної подачі застосовується головним чином для нарізання черв'ячних зубчастих коліс однозахідних і рідше, двозахідних.

Спосіб тангенціальної подачі застосовується головним чином для нарізання черв'ячних зубчастих коліс до багатозахідних черв'яків і виконується за допомогою спеціального супорта, що дозволяє здійснювати тангенціальну (тобто по дотичній лінії до зубчастого колеса) подачу фрези (рисунок, б). Стрілка А вказує на обертання черв'ячної фрези, стрілка Б – на подачу фрези по дотичній лінії до зубчастого колеса, стрілка В – на обертання зубчастого колеса. Нарізання зубчастого колеса закінчується, коли всі зуби фрези перейдуть за вісь зубчастого колеса. При нарізанні способом тангенціальної подачі отримується більш правильний профіль, але собівартість фрези значно вища нормальної і, як згадувалось вище, необхідною є наявність спеціального супорта.

Нарізання черв'ячних зубчастих коліс комбінованим способом застосовується при нарізанні одиничних ненормалізованих черв'ячних зубчастих коліс, для яких виготовлення черв'ячних фрез економічно не виправдовується. Нарізання виконується послідовно двома різцями: чорновим і чистовим. Різець закріплюється в оправці (рисунок, а), виконуючи роль однозубої фрези.

Чистовий різець виготовляється точно за профілем, а чорновий – дещо вужчий за чистовий. Завдяки цьому залишається припуск, що приблизно дорівнює 0,5 мм на сторону зуба. Чорновий різець врізається на встановлену глибину з радіальною подачею, після чого чистовий різець дорізає зуб з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 25

тангенціальною подачею. Чорновий і чистовий різці є змінними, тому вони часто закріплюються в одній оправці (рисунок, б) на необхідний відстані один від одного.

Нарізання зубів черв'ячних глобоїдних коліс зазвичай складається з двох операцій: попереднього нарізання при радіальній подачі і чистового нарізання при круговій подачі та точно заданій міжосьовій відстані. Інструментами для попереднього та остаточного нарізання зубів глобоїдних коліс в одиничному і дрібносерійному виробництвах є два «летючі» різці (рисунок, в). Крім цих різців, як попереднє, так і остаточне нарізання можливе з використанням глобоїдних гребінок або глобоїдних фрез (рисунок, г). Чистова обробка черв'ячних шестерень в окремих випадках може проводитись спеціальними черв'яками-шеверами.

В умовах крупносерійного виробництва архімедові черв'яки фрезеруються дисковими фрезами (рисунок, а; внизу) з криволінійними різальними кромками.

Шліфування таких черв'яків здійснюється дисковими конусними або тарілчастими кругами з припуском 0,1– 0,2 мм на сторону в залежності від модуля черв'яка. Шліфування черв'яків з малим модулем виконується на різешліфувальних або токарних верстатах, але зі спеціальним пристроєм, наприклад, показаним на рисунку внизу. З таким пристроєм можливе шліфування черв'яків і з великими модулями.

У крупносерійному і масовому виробництвах шліфування профілю витків черв'яка з великим модулем (3 мм і більше) здійснюється на спеціальних черв'ячно-шліфувальних верстатах конічними дисковими кругами великого діаметра (800 мм і більше). Цей метод забезпечує велику продуктивність. З використанням таких кругів одержуються різні профілі черв'яків за рахунок їх переміщення в горизонтальній площині. Шліфування виконується при трьох рухах: обертанні круга, повільному обертанні черв'яка і поступальному переміщенні круга на величину одного кроку (ходу для багатозахідних черв'яків) за один оберт виробу.

Для викінчування витків черв'яків відповідальних передач застосовується притирання їх чавунними або фібровими притирами, що мають форму черв'ячного колеса. Як абразивний матеріал застосовуються мікропорошки з маслом, а для одержання найменшої висоти мікрогребінців поверхні – пасти ДОІ (ГОИ).

Евольвентні черв'яки (верхній рисунок, б) нарізуються на токарних верстатах з роздільною обробкою кожної сторони витка при зміщенні прямолінійних кромки різальних різців на величину радіуса основного циліндра

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 26

гвинтової евольвентної поверхні. Якщо черв'як правий, то ліва сторона бокової поверхні витків нарізається різцем, піднятим над віссю, а права – опущеним. При лівому черв'яку обидва різці відповідно міняються місцями. Зазначеним способом евольвентні черв'яки рідко нарізуються через несприятливі умови різання різцями, піднятими або опущеними по відношенню до осьової лінії.

Такі черв'яки зазвичай фрезерують фасонними дисковими, пальцевими фрезами і фрезами-завитками (рисунок, а, б), а шліфують – плоскою стороною тарілчастого шліфувального круга. Евольвентний черв'як можна розглядати як циліндричне зубчасте колесо з малою кількістю спіральних зубів, які мають великий кут нахилу.

#### Тема 14. Формоутворення шліцьових поверхонь

У шліцьових з'єднаннях деталі центруються трьома способами:

- 1) по зовнішньому діаметру виступів вала;
- 2) по внутрішньому діаметру шліців вала (тобто по дну западин);
- 3) по бічних сторонах шліців.

Форма шліців виконується прямокутною, евольвентною та трикутною.

Шліцьові з'єднання широко застосовуються в машинобудуванні для нерухомих і рухомих посадок. Технологічний процес виготовлення шліців валів залежить від прийнятого способу центрування валів і втулок.

Найбільш точним є спосіб центрування по внутрішньому діаметру шліців вала, що застосовується, наприклад, у верстатобудівній і, рідше, в автомобільній промисловості.

Центрування по зовнішньому діаметру шліцьових виступів вала зустрічається досить часто. Цей спосіб широко застосовується в тракторо- і автомобілебудуванні.

Центрування по бічних поверхнях шліців застосовується порівняно рідко. В автомобільній промисловості цей спосіб застосовується для передачі великих крутних моментів при найменшому бічному зазорі.

Шліци на валах та інших деталях виготовляються різними способами, до яких відносяться:

- фрезерування з наступним шліфуванням;
- шліценакатування;
- протягування;
- стругання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 27</i>

Найбільш розповсюдженим способом виготовлення шліців є фрезерування.

Більш продуктивним способом є одночасне фрезерування двох шліцьових канавок двома дисковими фрезами спеціального профілю (рисунок, в).

Чистове фрезерування шліців дисковими фрезами виконується тільки за відсутності спеціальних верстатів або інструментів, оскільки воно не дає достатньої точності по кроку і ширині шліців. Більш точне фрезерування шліців виконується методом обкатування з використанням шліцьових черв'ячних фрез (рисунок, г). В цьому випадку фреза, крім обертального руху, має поздовжнє переміщення вздовж осі вала, який нарізається. Цей спосіб є найбільш точним і найбільш продуктивним.

При центруванні втулок по внутрішньому діаметру шліців валів як черв'ячні, так і дискові фрези повинні мати так звані «вусики» для формування канавки в основі шліца. Це необхідно для запобігання заїдання у внутрішніх кутах при функціонуванні зубчастої передачі. Ці канавки необхідні також при шліфуванні по бічних сторонах і внутрішньому діаметру.

Більш продуктивним способом є одночасне фрезерування двох шліцьових канавок двома дисковими фрезами спеціального профілю (рисунок, в).

Чистове фрезерування шліців дисковими фрезами виконується тільки за відсутності спеціальних верстатів або інструментів, оскільки воно не дає достатньої точності по кроку і ширині шліців. Більш точне фрезерування шліців виконується методом обкатування з використанням шліцьових черв'ячних фрез (рисунок, г). В цьому випадку фреза, крім обертального руху, має поздовжнє переміщення вздовж осі вала, який нарізається. Цей спосіб є найбільш точним і найбільш продуктивним.

При центруванні втулок по внутрішньому діаметру шліців валів як черв'ячні, так і дискові фрези повинні мати так звані «вусики» для формування канавки в основі шліца. Це необхідно для запобігання заїдання у внутрішніх кутах при функціонуванні зубчастої передачі. Ці канавки необхідні також при шліфуванні по бічних сторонах і внутрішньому діаметру.

Обробка шліцьових поверхонь в отворах втулок, зубчастих коліс та інших деталях виконується зазвичай протягуванням. Спочатку отвір, а іноді і торець, обробляються попередньо. Далі отвір протягується круглою, а потім шліцьовою протяжкою (звичайною або прогресивною).

Шліцьові отвори діаметром до 50 мм протягуються звичайно однією комбінованою протяжкою. Якщо втулки або зубчасті колеса піддаються термічній обробці, то після цього на внутрішньошліфувальних верстатах

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 28

шліфуються циліндричні поверхні отворів, що з'єднуються з дном западин шліців валів (при centruванні по внутрішньому діаметру шліців валів).

Протягування гвинтових шліців в отворах (рисунок) відрізняється від протягування звичайних отворів тим, що в процесі роботи рух різальних кромок зубів протяжки повинен здійснюватися по гвинтовій лінії, що досягається поєднанням поступального та обертального рухів двома способами: перший спосіб – обидва рухи передаються протяжці при нерухомій деталі; другий спосіб – поступальний рух передається протяжці, а обертальний – деталі. Обертальний рух протяжка може одержати безпосередньо шляхом самообертання від сил різання, або примусово спеціальним механізмом.

Самообертання протяжки застосовується при невеликих кутах нахилу на гвинтовій лінії шліців (до  $10^\circ$ ) і невисоких вимогах до точності кроку.

Як зазначено вище, примусове обертання може бути надане або протяжці, або деталі. Механізми для обертання протяжки є конструктивно більш простими, ніж механізми для обертання деталі.

## **Тема 15. Технологічні операції обробки поверхонь деталей поверхневим пластичним деформуванням**

Обробка поверхонь деталей машин, що передбачає поверхнєве пластичне деформування (ППД) тонких поверхневих шарів, має порівняно з обробкою різанням ряд переваг, що обумовлюють її широке застосування, а саме:

- утворення дрібнозернистої структури в поверхневому шарі;
- поліпшення форми нерівностей, зокрема більший радіус скруглення їхніх вершин;
- сприятливий розподіл матеріалу нерівностей по висоті;
- підвищення мікротвердості поверхні;
- створення в поверхневих шарах стискаючих залишкових напружень;
- утворення регулярних мікрорельєфів із заданою площею поглиблення для утримання мастильного матеріалу.

Ці та інші переваги забезпечують підвищення зносостійкості, контактної витривалості, опору втоми та інших експлуатаційних властивостей деталей машин.

Необхідно також враховувати наступні особливості ППД:

- більшість його методів не підвищує геометричної точності оброблюваної поверхні, а зберігає точність, досягнуту на попередній операції;
- утворення на кромках оброблюваної поверхні напливів металу

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 29

товщиною 0,03...0,30 мм внаслідок пластичної текучості матеріалів.

Методи ППД поділяють на статичні та ударні.

При статичних методах обробки інструмент, робочі тіла або середовище впливають на оброблювану поверхню з певною силою  $P$ , при цьому відбувається плавні переміщення зони деформації по поверхні, що підлягає обробці.

При ударних методах інструмент і робочі тіла багаторазово впливають на всю оброблювану поверхню або її частину, при цьому сила впливу  $P$  у кожному циклі змінюється від нуля або від деякого значення до максимуму. У випадку локального ударного впливу зона деформування (як і в статичних методах) послідовно й рівномірно може проходити всю оброблювану поверхню.

Матеріали для інструментів і робочих тіл повинні мати більш високі механічні властивості, ніж матеріали оброблюваних деталей.

Метал виступів нерівностей переміщується в обох напрямках від місця контакту з деформуючим елементом, а висота вихідних нерівностей  $R_{вх}$  зменшується до  $R$ . При цьому утворюється новий мікрорельєф, форма, розміри і розташування нерівностей якого залежать від форми і розмірів деформуючих елементів інструментів та режиму обкатування.

Формування нового мікрорельєфу частково відбувається і за рахунок видавлювання металу із западин вверх. Такий характер деформації при обкатуванні ілюструється на рисунку, де наведені профілограми вихідної поверхні (після обточування) і тієї ж поверхні після обкатування кулею при поступово зростаючому зусиллі  $P$ .

При роботі з великими зусиллями обкатування відбувається деформація зсуву поверхневих шарів металу також в напрямку подачі  $S$  ролика або кулі. При обкатуванні роликками характер пластичної деформації та згладжування нерівностей вихідної поверхні такий же, як і при обкатуванні кулями. Винятком є те, що обробка в цьому випадку ведеться за схемою «вдавлювання», а не «на прохід», оскільки ширина роликів, як правило, перевищує довжину оброблюваних деталей.

При вигладжуванні алмазними наконечниками і твердосплавними пластинами або прошивками, розмір яких трохи перевищує розмір оброблюваного отвору, зменшення висоти нерівностей вихідної поверхні відбувається також головним чином за рахунок пластичного деформування металу виступів нерівностей і заповнення металом западин мікрорельєфу. Однак у цих випадках вплив сил тертя (тертя ковзання) на протікання процесу, параметри режиму і всі якісні показники значно істотніший, ніж при обкатуванні.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 30

Найбільш широко та ефективно застосовуються методи чистової обробки тиском – обкатування та розкатування роликками і кулями. Ці процеси відрізняються відносно більш складною конструкцією застосовуваного інструмента, проектування якого вимагає знання характеру деформації металу в зоні контакту деформуючого елемента з оброблюваною поверхнею, розподілу дії сил у цій зоні.

Аналіз різних схем обкатування та розкатування показує, що як для цього виду деформування, так і для більшості інших способів зміцнюючої обробки металів тиском (прошивка, протяжка вигладжуючими прошивками і протяжками, динамічний наклеп кулями) схема об'ємно-напруженого стану елементарних деформованих об'ємів характеризується наявністю всебічного стиску.

На всі основні якісні показники процесу найбільше впливають максимальні значення нормальних і дотичних напружень, що виникають у місці деформації, а також співвідношення їх значень, що визначає напрямок деформації та переміщення металу в зоні контакту деформуючого елемента з оброблюваною поверхнею.

## **Тема 16. Технологія виготовлення станин і рам**

Станини енергетичних та інших машин і агрегатів призначені для забезпечення потрібних відносних положень і рухів приєднаних до них складальних одиниць і деталей в умовах допустимих навантажень і зовнішнього середовища протягом заданого терміну експлуатації.

В описі службового призначення станин, основи чи рами повинні бути вказані такі параметри:

- потрібне відносне положення приєднаних до станини нерухомих складальних одиниць і деталей;
- потрібні відносні рухи рухомих складальних одиниць і деталей, що встановлюються на станину;
- допустимі статичні та динамічні робочі навантаження;
- допустимі теплові дії;
- допустимі зовнішні дії та параметри навколишнього середовища;
- потрібний термін експлуатації до ремонту і загальний термін експлуатації;
- регламент обслуговування станини;
- інші характеристики: неергономічні, естетичні, економічні тощо, габарити, маса.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 31

При описі службового призначення конкретної станини чи рами повинно бути визначено необхідний і достатній якісний склад параметрів за всіма переліченими групами. На кожен параметр повинна бути дана повна кількісна оцінка, яка б включала не тільки номінальне значення, але й допустимі відхилення, а в деяких випадках і імовірнісні характеристики розподілу. Обґрунтування і розрахунок кожного параметра службового призначення станини здійснюється виходячи зі службового призначення і вимог щодо точності машини в цілому.

Визначення потрібних номінальних значень параметрів відносного положення і руху приєднаних до станини вузлів і деталей, як правило, не викликає труднощів. Складніше встановити допустимі відхилення цих параметрів від номінальних значень, виходячи, наприклад, із необхідної точності обробки заготовок, яка є одним із параметрів службового призначення верстата, наприклад, токарного, і визначає потрібну точність положення заднього центра і точність руху супорта відносно осі обертання шпинделя. В свою чергу, потрібна точність відносного положення осі обертання шпинделя і заднього центра і точність руху супорта відносно осі обертання визначають при вибраних методах досягнення точності допустимі відхилення відносного положення основних баз передньої та задньої бабок і супорта на станині, які входять в параметри службового призначення станини. Так простежується функціональний зв'язок параметрів службового призначення верстата і станини (рисунок).

Точність руху характеризується:

- 1) точністю напрямку, положення та форми траєкторії, наприклад, прямолінійністю;
- 2) точністю параметрів руху: швидкості, прискорення тощо;
- 3) точністю позиціонування.

**РОБОЧІ НАВАНТАЖЕННЯ** на станину визначаються компоюванням верстата, масою встановлюваних на станину складальних одиниць і деталей, видом робочого процесу, режимами роботи. Робочі навантаження характеризуються силами і моментами сил, що викликають пружну деформацію станини і, як наслідок, зміну у відносних положеннях і рухах складальних одиниць, установлених на станину.

**ТЕПЛОВА ДІЯ** на станину при роботі верстата призводить до зміни відносних положень і точності рухів встановлених на станину складальних одиниць і деталей, що в результаті знижує точність деталей, що виготовляються на верстаті.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 32</i>

ДОПУСТИМИ ЗОВНІШНІ ДІЇ ТА ПАРАМЕТРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА описуються фізико-хімічними властивостями середовища, у тому числі вологістю, запиленістю, наявністю хімічно -активних елементів та їх концентрації, а також температурою навколишнього середовища та її коливанням, тиском, наявністю та характеристиками теплових, магнітних, електричних та інших полів, вібрацією.

ПОТРІБНИЙ ТЕРМІН ЕКСПЛУАТАЦІЇ станини до ремонту визначає необхідну зносостійкість напрямних станин при відомих робочих навантаженнях, зовнішніх діях та інтенсивності режиму роботи.

РЕГЛАМЕНТ ОБСЛУГОВУВАННЯ станини визначає потрібну регулярність очищення та змащування напрямних, перевірок точності, відсутності задирок, корозії та інших пошкоджень.

### **Тема 17. Технологія виготовлення корпусних деталей**

Корпусні деталі представляють собою базові деталі. На них встановлюють різні деталі та складальні одиниці, точність відносного положення яких повинна забезпечуватись як в статиці, так і процесі роботи машини під навантаженням. У відповідності з цим корпусні деталі повинні мати потрібну точність, бути достатньо жорсткими і вібростійкими, що забезпечує потрібне відносне положення з'єднувальних деталей і вузлів, правильність роботи механізмів і відсутність вібрації. Конструктивне виконання корпусних деталей, матеріал і необхідні параметри точності визначають, виходячи зі службового призначення деталей, вимог до роботи механізмів і умов їх експлуатації. При цьому враховують також технологічні фактори, пов'язані з можливістю отримання потрібної конфігурації заготовки, можливості обробки різанням і зручності складання, яке починають з базової корпусної деталі. Корпусні деталі у загальному випадку можна поділити на групи (рисунки).

До цієї групи окрім корпусів і кришок редукторів відносять корпуси коробок швидкостей, коробок подачі шпindelних бабок. У більшості випадків основними базами таких корпусів є плоскі поверхні, а допоміжними – головні отвори і торці, що призначені для базування валів і шпindelів. Конструкція та розміри корпусів визначаються умовами розміщення в них необхідних деталей і механізмів. Вони мають стінки, ребра і перегородки, які забезпечують підвищення їх жорсткості. З цією ж ціллю бобишки і приливи, на яких розташовані отвори, мають висоту приблизно 2,5...3 товщини стінки і діаметр в межах 1,4...1,6 діаметра отвору. Корпуси коробчастої форми можуть бути

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	<i>Випуск 1</i>	<i>Зміни 1</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 33</i>

суцільні та рознімні, площина рознімання може проходити по осях головних отворів.

Корпусні деталі мають основні базуючі поверхні звичайно у вигляді площини або комбінації площин, за допомогою яких вони приєднуються до деталей – основами (станинами, рамами чи іншими корпусними деталями) і зберігають правильне відносне положення в машині. Як допоміжні бази, за допомогою яких забезпечують правильне відносне положення в машині інших приєднаних до них деталей, можуть бути використані поверхні отворів (для встановлення опор, валів, шпинделів, черв'яків) і площини, а також їх комбінації. У більшості корпусних деталей є також різні дрібні різьбові кріпильні отвори. Вони призначені для підведення мастильних матеріалів до поверхонь, що труться, і для фіксації досягнутого положення приєднаних складальних одиниць.

Робота машини та її механізмів означає формування розмірних зв'язків, що забезпечують виконання службового призначення. У розмірних зв'язках машини чи окремих вузлів корпусна деталь бере участь розмірами і відносними поворотами своїх поверхонь. Ці розмірні та кутові параметри деталі безпосередньо визначають точність положення одного комплексу допоміжних баз відносно другого або точність положення допоміжних баз відносно основних баз деталі. У відповідності з цим до точності геометричної форми, розмірів і відносних поворотів базуючих поверхонь корпусних деталей висуваються підвищені вимоги.

До корпусних деталей висувають комплекс технічних вимог, які визначаються в кожному конкретному випадку, в першу чергу, виходячи зі службового призначення деталі. Дотримання технічних вимог означає формування потрібних фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, одержання необхідної міцності та вібростійкості, забезпечення потрібної геометричної точності деталі та створення умов для зручності виконання механоскладальних і експлуатаційних робіт. Технічні вимоги, що стосуються параметрів геометричної точності деталі, дотримуються в результаті обробки різанням на різних етапах технологічного процесу виготовлення корпусної деталі. В залежності від конструктивного виконання та складності до корпусних деталей висуваються такі технічні вимоги, що характеризують різні параметри їх геометричної точності.

1. Точність геометричної форми плоских базуючих поверхонь. Вона регламентується як прямолінійність поверхні в заданому напрямку на певній довжині і як площинність поверхні в межах її габаритів. Для поверхонь розміром до 500 мм відхилення від площинності та паралельності звичайно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 34

знаходяться в межах 0,01...0,07 мм, а у відповідальних корпусів – 0,002...0,005 мм.

2. Точність відносного повороту плоских базуючих поверхонь. Граничні відхилення від паралельності чи перпендикулярності однієї площини поверхні відносно іншої складають 0,015/200...0,1/200, а для деталей підвищеної точності – 0,003/200...0,01/200.

3. Точність відстані між двома паралельними площинами. Для більшості деталей вона знаходиться в межах 0,02...0,5 мм, а у корпусних деталях підвищеної точності – 0,005...0,01 мм.

4. Точність діаметральних розмірів і геометричної форми отворів. Діаметральні розміри головних отворів, які виконують в основному роль баз під підшипники, відповідають 6...11 квалітетам. Відхилення геометричної форми отворів – некруглість у поперечному перерізі та конусоподібність чи зігнутість у поздовжньому обмежують в межах 1/5...1/2 допуску на діаметр отвору.

5. Точність відносного кутового положення осей отворів. Відхилення від паралельності та перпендикулярності осей головних отворів відносно плоских поверхонь складають 0,01/200...0,15/200, граничні кутові відхилення осі одного отвору відносно осі іншого – 0,005/200...0,01/200.

6. Точність відстані від осей головних отворів до базуючої площини для більшості деталей складає 0,02...0,5 мм, точність відстаней між осями головних отворів – 0,01...0,15 мм, співвісність отворів – в межах 0,002...0,05 мм.

7. Параметр шорсткості плоских базуючих поверхонь  $R_a = 2,5...0,63$  мкм, параметр шорсткості поверхонь головних отворів  $R_a = 1,25...0,16$  мкм, а для відповідальних деталей – до  $R_a = 0,08$  мкм.

Наведені параметри точності є загальними для всього різноманіття різних за конструкцією корпусних деталей машин. У багатьох випадках допустимі відхилення регламентуються відповідними стандартами. У конкретних же випадках, на всі розміри корпусних деталей, що входять в розмірні ланцюги машини, вузла чи механізму, відхилення необхідно визначати аналітично на підставі вибраних методів рішення тих розмірних ланцюгів, ланками яких є відповідні відстані, розміри чи координати положення поверхонь корпусних деталей.

Марку матеріалу для виготовлення корпусних деталей вибирають, виходячи із службового призначення корпусу та умов його роботи. При цьому враховують вплив властивостей матеріалу на такі конструктивні параметри, як міцність та жорсткість конструкції, вібростійкість, зносостійкість окремих поверхонь, габарити і масу деталі. Одночасно необхідно враховувати

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 35

технологічні фактори, які визначають методи одержання заготовки, оброблюваність матеріалу і пов'язані з цим грошові затрати. Як матеріал для виготовлення різних корпусних деталей застосовують, головним чином, сірий чавун, рідше вуглецеву сталь, використовують також кувальний чавун, леговану сталь і сплави кольорових металів. Сірий чавун є основним конструктивним матеріалом для виготовлення корпусних деталей. При відносно невисокій вартості він має добрі ливарні властивості, що дозволяє отримувати виливки складної конфігурації.

Сірий чавун добре обробляється і має непогані фізико-механічні властивості, які можна змінювати у потрібному напрямку за допомогою модифікації чавуну і термічної обробки. Виливки з сірого чавуну мають високу циклічну в'язкість, що сприяє демпфіруванню коливань. Корпусні деталі металорізальних верстатів, корпуси сільськогосподарських і підйомно-транспортних машин, корпуси різних стаціонарних редукторів, центробіжних насосів виготовляють з сірого чавуну марок СЧ15, СЧ18, СЧ21. Для мало навантажених деталей типу кришок, плит, піддонів застосовують чавун СЧ12.

Корпусні деталі з напрямними, до яких висуваються підвищені вимоги щодо зносостійкості, виготовляють з сірого чавуну СЧ21 і модифікованого чавуну марок СЧ32, СЧ35. Модифікування чавуну сприяє отриманню необхідної форми графіту, зокрема, шароподібного, створенню однорідної структури і підвищенню його міцності. Воно здійснюється шляхом введення в чавун присадок феросиліцію, сілікоалюмінію, церію, магнію і тощо.

Виливки прецизійних верстатів повинні мати однорідну безпористу структуру і мати високі фізико-механічні властивості, рівномірну нормовану твердість, зносостійкість та добру оброблюваність.

## Тема 18. Технологія виготовлення валів

До деталей цього класу відносять вали, осі, тяги, циліндричні стержні типу пальців тощо.

Вали призначені для передачі крутного моменту і працюють на кручення та згинання.

Осі є круглими балками, що працюють на згинання.

Тяги призначені для передачі осьових зусиль і працюють на розтягування, стискання та поздовжнє згинання.

Найбільш питому вагу серед деталей цього класу мають вали. Основними конструктивними різновидами валів є вали гладкі, ступінчасті та

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 36

фланцеві. Найбільш поширені ступінчасті вали. Вони виконуються з потовщеною частиною посередині або з одного кінця (рисунки).

Понад 85 % від загальної кількості типорозмірів ступінчастих валів у машинобудуванні складають вали довжиною 150–1000 мм. Шийки ступінчастих валів можуть мати шпонкові пази, шліци чи різь.

При переході від одного східця до другого передбачаються канавки чи галтелі. Обробка галтелей більш складна, тому у всіх випадках, коли це допустимо, необхідно передбачати канавки. На торцях вала доцільно мати фаски.

Вали, довжина яких не перевищує 15-кратної величини діаметра ( $l \leq 15d$ ), вважають жорсткими, при  $l \geq 15d$  вали вважаються нежорсткими.

Технічні умови виготовлення валів характеризуються такими даними. Діаметри посадочних шийок обробляються за 7–9 квалітетами, в окремих випадках – за 5 квалітетом точності.

Овальність та конусність шийок валів повинні знаходитись в межах допусків на їх діаметри.

Биття посадочних шийок відносно базуючих поверхонь (подвоєний ексцентриситет) не повинно перевищувати 10–30 мкм.

Осьове биття упорних торців чи уступів не повинно бути більше 0,01 мм на найбільшому радіусі.

Відхилення від паралельності шпонкових канавок чи шліців осі вала не повинно перевищувати 0,1 мкм на 1 мм довжини.

Допуски на довжину східців – 50–200 мкм. Допустима викривленість осі вала – 0,03–0,05 мм/м.

Шорсткість посадочних шийок  $Ra = 1,25 - 0,08$  мкм, а торців і уступів в межах 4–2,5 мкм.

Вали в основному виготовляють з конструкційних і легованих сталей, до яких висуваються вимоги високої міцності, хорошої оброблюваності, малої чутливості до концентрації напружень, а також для підвищення зносостійкості – спроможності піддаватись термічній обробці. Переліченим вимогам найбільш повно відповідають сталі марок 35, 40, 45, 40Г, 50Г, 40Х.

Застосування легованих сталей у порівнянні з конструкційними трохи обмежене із-за більш високої їх вартості, а також підвищеної чутливості до концентрації напружень.

В умовах масового і крупносерійного виробництва заготовки валів штампуються у закритих штампах на молотах або пресах з наступним обрізанням облою.

Для отримання заготовок ступінчастих валів використовують гаряче

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 37

кування.

Вали в основному виготовляють з конструкційних і легованих сталей, до яких висуваються вимоги високої міцності, хорошої оброблюваності, малої чутливості до концентрації напружень, а також для підвищення зносостійкості – спроможності піддаватись термічній обробці. Переліченим вимогам найбільш повно відповідають сталі марок 35, 40, 45, 40Г, 50Г, 40Х.

Застосування легованих сталей у порівнянні з конструкційними трохи обмежене із-за більш високої їх вартості, а також підвищеної чутливості до концентрації напружень.

В умовах масового і крупносерійного виробництва заготовки валів штамуються у закритих штампах на молотах або пресах з наступним обрізанням облою.

Для отримання заготовок ступінчастих валів використовують гаряче кування.

При однобічному розташуванні сідців і довжині вала до 120 мм обробку проводять на пруткових револьверних верстатах або автоматах, виконуючи до відрізання всі чорнові та чистові переходи.

Штамовані та нарізані з прутка заготовки для ступінчастих валів довжиною  $L > 120$  мм обробляють звичайно в центрах за таким маршрутом:

1. Почергове чи одночасне фрезерування торців заготовок.
2. Зацентрування заготовок з двох боків.
3. Попереднє обточування заготовки (звичайно з двох встановлень).
4. Чистове обточування.
5. Попереднє шліфування шийок.
6. Фрезерування шпонкових пазів чи шліців.
7. Свердління отворів (якщо передбачено кресленням).
8. Нарізання різей.
9. Термічна обробка (якщо потрібна).
10. Остаточне шліфування шийок.

Маршрут обробки нежорстких валів ускладнюється введенням додаткових операцій проточування та шліфування шийки під люнет (до токарної обробки), а також введенням декількох операцій проміжної правки (якщо вона допускається технічними умовами).

Похибки заготовки закономірно зменшуються при кожному технологічному переході механічної обробки, тому число технологічних переходів для обробки кожної елементарної поверхні визначається точністю виконання заготовки і вимогами, що висуваються до готової деталі.

Биття посадочних шийок відносно базових поверхонь усувають

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 38

обробкою їх з одного встановлення заготовки. За бази при виконанні більшості операцій приймають центрові пробки або конічні фаски отвору.

Для забезпечення паралельності шпонкових пазів чи шліців осі вала обробка їх повинна здійснюватись зі встановленням на центри, обробка – зі встановленням в призмах чи centruючих втулках може бути прийнята за умови точної обробки базуючих шийок відносно centruючих гнізд.

Задача витримування жорстких допусків по довжині східців при способі автоматичного одержання розмірів розв'язується паралельним підрізанням торців на попередньо налагоджених верстатах і встановленням заготовки на плаваючий центр, якщо заданий жорсткий допуск на довжину східця від лівого торця.

### **Тема 19. Технології виготовлення колінчастих валів**

Колінчастий вал служить для перетворення зворотно-поступального руху в обертальний і є однією з найбільш відповідальних деталей двигуна.

В процесі експлуатації колінчастий вал піддається крученню та згинанню. Сили, що деформують вал, мають пульсуючий змінний характер. Тому до колінчастих валів висуваються підвищені вимоги як за міцністю, так і за точністю виготовлення.

Основними елементами колінчастого вала двигуна є корінні шийки (рисунок), які представляють собою опори вала, шатунні шийки, які служать для закріплення на них нижніх головок шатунів, щоки, призначені для з'єднання корінних і шатунних шийок в єдине

За кількістю корінних шийок колінчасті вали поділяються на дво-, три-, п'яти- і більше опорні.

На передній шийці колінчастих валів двигунів зроблені пази під сегментні шпонки для встановлення шестерні механізму газорозподілу і шківів вентилятора. Передній і задній кінець колінчастого вала і його загальний вид показаний на рисунках нижче.

Задній кінець колінчастого вала виконують з фланцем чи без нього. Між фланцем і задньою шийкою розташовують мастилозгонні канавки.

За конструкцією колінчасті вали можуть бути суцільними і складеними з противагами, що закріплюються. Кривошипи колінчастих валів розташовують під кутом 180°, рідше під 90°.

Розміри колінчастих валів автотракторних двигунів:

- довжина вала – 550–1200 мм;
- діаметр корінних шийок – 50–95 мм;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 39

- діаметр шатунних шийок – 45–90 мм;
- радіус кривошипа – 36,5–102,5 мм;
- діаметр фланця – 117–190 мм.

Корінні та шатунні шийки повинні бути оброблені за 5–7 квалітетами точності при шорсткості  $Ra = 0,08–0,32$  мкм, овальність, конусність та ввігнутість повинні знаходитись в межах 0,005–0,01 мм.

Непаралельність осей шатунних шийок і крайніх корінних не повинна перевищувати 0,01–0,03 мм по всій довжині шийки. Шийку переднього кінця необхідно обробляти за 7-м квалітетом точності. Шорсткість поверхонь цих шийок повинна відповідати  $Ra = 0,32–1,25$  мкм.

Неплощинність торця фланця, до якого прикріплюється махових, повинна бути не більше 0,04–0,1 мм, а биття на довжині його радіуса – 0,03–0,05 мм.

Колінчасті вали піддаються динамічному балансуванню. Допустима динамічна неврівноваженість колінчастих валів – 15–30 г.

На деякі типи колінчастих валів існують державні стандарти на технічні умови. Кількість цих умов досягає цифри 90. Така велика кількість ТУ висуває підвищені вимоги до технології їх виготовлення.

Крім того, при обробці колінчастих валів застосовуються деякі специфічні технологічні операції, притаманні тільки деталям цього класу. Тому знайомство з ними для інженера-технолога є необхідним.

Матеріали колінчастих валів повинні мати високі механічні та пластичні властивості, високу зносостійкість та циклічну в'язкість.

Колінчасті вали автотракторних двигунів виготовляють з вуглецевих і легованих сталей або з високоміцних чавунів, модифікованих магнієм, з нікеле-молібденових чавунів тощо. Виливані вали, звичайно порожнисті, мають трохи збільшені діаметри корінних і шатунних шийок, більші товщину щік і радіуси галтелі. Виливані вали мають меншу міцність при згинанні, ніж ковани.

Більшість колінчастих валів виготовляють зі сталей марок 45, 45Х, 45Г2, 50Г. Колінчасті вали дизелів, що працюють в умовах високих навантажень, виготовляють зі сталей марок 18ХНМА, 18ХНВА, 40ХНМА.

Заготовки валів, що виготовляються зі сталей, штампують. Потім піддають термічній обробці (відпалюванню та нормалізації), при якій знімаються внутрішні напруження в металі і нормалізується його твердість (НВ 177–255), що полегшує обробку заготовок на металорізальних верстатах.

Після попередньої обробки на металорізальних верстатах поверхні корінних і шатунних шийок сталевих валів повторно піддаються термічній обробці (загартуванню та відпущенню). Загартування виконується струмами високої частоти на спеціальних агрегатах, а низькотемпературне відпущення,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 40

що здійснюється для зняття напруги, – в спеціальних печах конвеєрного типу. Повторна термічна обробка поліпшує механічні властивості сталі, підвищує поверхневу твердість та зносостійкість шийок.

Після загартування та відпущення поверхнева твердість шийок у валів, виготовлених зі сталей марок 45, 50Г, 40ХНМ, 18ХНВА, коливається в межах HRC 52–62. Глибина загартованого шару повинна бути не менше 3–6,5 мм, а твердість шийок на глибині загартованого шару – HRC 45.

Чавунні виливані колінчасті вали автотракторних двигунів за деякими показниками перевищують сталеві штамповані вали. Спеціальні чавуни, з яких виливають колінчасті вали, відрізняються від звичайних кувальних чавунів наявністю хрому (0,2–0,25 %), підвищеним вмістом марганцю (1,15–1,4 %), низьким вмістом сірки (0,002–0,014 %), наявністю церію та інших легуючих компонентів.

Для колінчастих валів застосовують також сірі чавуни, модифіковані сплавом фероцерію з магнієм.

## **Тема 20. Технологія виготовлення розподільних валів двигунів внутрішнього згорання**

Розподільний вал в газорозподільному механізмі забезпечує виконання основної функції - своєчасне відкриття і закриття клапанів, за рахунок чого виконується подача горючої суміші до циліндрів і випуск відпрацьованих газів. У загальному розумінні розподільний вал управляє процесом газообміну в двигуні внутрішнього згорання.

Для зменшення інерційних навантажень, збільшення жорсткості елементів газорозподільного механізму розподільний вал повинен розташовуватись якомога ближче до клапанів. Тому стандартне положення розподільного вала на сучасному двигуні в головці блоку циліндрів - так зване верхнє розташування розподільного валу (див. рисунок), або з нижнім розташуванням розподільного валу (див. рисунок).

Розподільний вал кінематично зв'язаний з колінчастим валом двигуна внутрішнього згорання зубчатою, ланцюговою або пасовою передачею з відповідним передаточним відношенням.

В ряді двигунів використовується два розподільних вали для управління впускними та випускними клапанами.

При нижньому розміщенні розподільний вал встановлюють в картері на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 41

опорах, що представляють собою отвори в стінках та його перегородках, в які запресовані тонкостінні біметалеві або триметалеві втулки чи спеціальні вкладиші. Такий принцип розміщення розподільного валу характерний для двигунів в автомобілях ГАЗ-53, КамАЗ-5320 та інших. Більшість сучасних двигунів мають механізм газорозподілу з верхнім розташуванням клапанів, що дає змогу зробити компактну камеру згоряння, забезпечити краще наповнення циліндрів пальною сумішшю, спростити регулювання клапанів і теплових зазорів.

Розподільні вали виготовляються або з маловуглецевих сталей (15Х, 20Х, 15Н2М, 12ХНЗА) і середньо вуглецевих сталей (40,45,45Х, 45Л), або з чавунів: сірого легованого чавуну з загартованими кулачками, легованого спеціального чавуну з відбіленими кулачками, нелегованого чавуну або чавуну з кулько подібним графітом.

Заготівку розподільного валу отримують ковкою в штампах з подальшою механічною обробкою опорних шийок і кулачків по копіру. Цикл термохімічної обробки - цементація для маловуглецевих сталей, поверхневе загартування СВЧ для середньовуглецевих сталей на глибину 2 ... 6 мм до твердості НРС 50 ... 60.

Твердість валів з легованого чавуну після лиття до термічної обробки має бути в межах 255 - 302 НВ.

Кулачки розподільних валів з легованого чавуну підлягають поверхневому нагріву із загартуванням в маслі з наступним низькотемпературним відпуском при температурі 160°C до 180°C.

Твердість на вершині кулачків повинна бути не менше 52 НРС. Глибина загартованого шару після фінішної обробки вала повинна бути на вершині кулачків не менше 2,0 мм, а на циліндричній частині кулачків - не більше 2,0 мм.

Розподільні вали перевіряють при обробці (після основних операцій) і після її закінчення.

Крім зовнішнього огляду для виявлення дефектів на робочих поверхнях валу, їх перевіряють на магнітоскопах – для виявлення дрібних тріщин, раковин тощо.

Шорсткість поверхонь у цехах перевіряють за еталонами, на подвійних мікроскопах або профілометрах-профілографіях (для отримання кількісних критеріїв шорсткості поверхні).

Контроль розмірів шийок, їхньої співвісності, а також биття опорного торця фланця виконують на багатомірних індикаторних чи світлофорних пристроях.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 42

Контроль правильності розташування і профілю кулачків розподільних валів виконують вибірково за еталонним валом на спеціальних приладах - компараторах. У ньому вал, який перевіряють, і еталонний, розташовані паралельно один одному. Потім вали починають синхронно обертати. Прилад має кронштейни з індикаторами, зв'язані з роликівими наконечниками, які перекочуються по поверхнях кулачків.

## Тема 21. Технологія виготовлення циліндричних зубчастих коліс

Зубчастою передачею називається механізм для передачі або перетворення руху від ведучого валу до веденого за допомогою зубчастого зачеплення.

Зубчасті передачі - найбільш поширений вид передач, що застосовується в машинобудуванні. Відомі зубчасті передачі, що передають потужність до 50 000 кВт і навіть більшу.

У залежності від геометричної форми робочих тіл, виду зачеплення та профілю зубів зубчасті передачі поділяються:

А) В залежності від розміщення валів зубчасті передачі поділяються на: циліндричні - при паралельних валах; конічні - при валах, осі яких перетинаються; гвинтові і черв'ячні - при валах, які схрещуються та рейкові передачі.

Б) В залежності від положення осі зуба відносно осі валу, зубчасті передачі поділяються на: прямозубі; косозубі; шевронні і кругові.

В) В залежності від профілю зубів, зубчасті передачі поділяються на: зубчасті передачі з евольвентним профілем зубів; зубчасті передачі з циклоїдальним профілем зубів і зубчасті передачі з профілем зубів, виконаним по дугах кіл (зачеплення Новікова).

Точність зубчастої передачі. У стандарті передбачені ступеня точності зубчастих передач 1-12 (від більш точної до найменш точною).

Найбільшого поширення мають такі точності:

- 6 - підвищена точність (до  $v = 20$  м / с);
- 7 - нормальна точність (до  $v = 12$  м / с);
- 8 - знижена точність (до  $v = 6$  м / с);
- 9 - груба точність (до  $v = 3$  м / с).

Значення допустимих швидкостей  $V$  наведені для прямозубих передач, а для косозубих їх необхідно збільшити приблизно в 1,5 рази. Ступінь точності призначається з урахуванням умов роботи передачі і висунутих до неї вимог.

Ступінь точності характеризується наступними основними показниками:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 43

- нормою кінематичної точності колеса, яка встановлює величину повної похибки кута повороту зубчастих коліс за один оборот. Вона є важливим показником для високоточних ділильних механізмів;
- нормою плавності роботи колеса, що визначає величину складових повної похибки кута повороту зубчастого колеса, яка багато разів повторюються за один оборот передачі. Вона пов'язана з неточністю виготовлення профілю по кроку і викликає додаткові динамічні навантаження в зачепленні;
- нормою контакту, що характеризує повноту прилягання бічних поверхонь сполучених зубів. Вона оцінюється слідом (в %) на робочій поверхні зуба після контакту з обертовим колесом, зуби якого змазані фарбою.

Ступінь точності повинна відповідати коловій швидкості в зачепленні: чим вона вища, тим вище повинна бути точність передачі. Залежно від ступеня точності і розмірів на окремі елементи зачеплення і передачі встановлені допуски.

Бічний зазор між зубами J (рисунок, де JT- допуск; jmin та jmax - мінімальний і максимальний бічні зазори) передбачає вільне обертання коліс і усунути заклинювання. Він визначається видом сполучення коліс від А до Н. Найбільший зазор в А, а найменший - в Н. Для передач з модулем  $t > 1$  встановлені види сполучень А, В, С, D, Е, Н. Зазвичай використовується сполучення В, а у реверсивних передачах С. Для дрібномодульних передач ( $t < 1$ ) види сполучень D, Е, F, G, Н. Найчастіше використовують Е, а в реверсивних передачах F.

Чавун застосовують для виготовлення мало навантажених або рідко працюючих передач, в яких габарити і маса не мають визначального значення.

Зубчасті колеса передач і редукторів в більшості випадків виготовляють з сталей, підданих термічному або хіміко-термічного зміцнення. Для передач, до розмірів яких не пред'являють спеціальних вимог, слід застосовувати дешеві марки сталей типу 40, 45, 40Х. Для уніфікації марок сталей у виробництві і для спрощення виготовлення запасних частин марки сталей рекомендується вибирати з наступного сортаменту: в більшості використовують наступні марки сталей – ст.35, 45 (термообробка - нормалізація), 40Х, 35ХМ, 40ХН (термообробка - поліпшення), 35ХМ, 40ХН, 50 (термообробка - загартування СВЧ), 35ХМ, 40ХН (плазмове гартування), 45, 40Х, 35ХМ, 40ХН (об'ємне гартування), 18ХГТ, 12ХНЗА (термообробка - цементация). Крім названих в машинобудуванні використовують і пластмаси.

В приладобудуванні зубчасті колеса виготовляють також із латуні, алюмінієвих сплавів тощо.

Загальна сучасна тенденція в машинобудуванні – зниження

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.05- 05.01/131.00/Б/ОК24- 2-2025
	Випуск 1	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 44 / 44

матеріаломісткості конструкцій, збільшення потужності, швидкодії і довговічності зубчастих передач.

Тому основні матеріали для виготовлення циліндричних зубчастих коліс – термооброблюванні вуглецеві і леговані сталі, які забезпечують високу об’ємну міцність зубів, а також високу твердість та зносостійкість активних поверхонь.

Заготовки циліндричних зубчастих коліс виготовлюють з прокату, штамповкою, відливанням та зварюванням.

До методу копіювання відносять виготовлення заготовок зубчастих коліс литтям (інструментом в даному випадку є литтєва форма, що копіює колесо). Колеса малих розмірів часто виготовляють штамповкою (штамп копіює колесо).

Виготовлення заготовок крупних зубчастих коліс рекомендується методом гарячої штамповки на молотах і пресах без штамповочних нахилів. В масовому виробництві зубчастих коліс до 175 мм заготовка штампується на горизонтально-ковочних машинах в рознімних штампах. Особливо вигідна штамповка на горизонтально-ковочних машинах в тих випадках, коли зубчасте колесо має складний просторовий контур. При цьому зубчастий вінець не формується.

Як висновок, для виготовлення заготовок циліндричних зубчастих коліс використовують прокат, литво, поковки і штамповки.

Зубчасті колеса діаметром до 60 мм в умовах одиничного і дрібносерійного виробництв виготовляють з прокату, котрий ріжуть дисковою пилою на заготовки необхідної довжини.

Зубчасті колеса діаметром більше 750 мм виготовляють з литих заготовок.

При поточному виробництві зубчастих коліс діаметром 80 - 300 мм в якості заготовок биль вигідно використовувати штамповки, які отримані в закритих штампах. Заготовки діаметром 60 - 80 мм краще штампувати у відкритих штампах.