

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

І.Е. Яковенко, О.А. Пермяков

Технологічні основи машинобудування

Лабораторний практикум

для студентів спеціальностей

131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

УДК 621.7
Я47

Рецензенти:

Купріянов О.В., д-р. техн. наук, проф., Українська інженерно-педагогічна академія;
Клочко О.О., д-р. техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський полі-
технічний інститут»

*Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»,
протокол № 7 від 15 вересня 2023 р.*

як лабораторний практикум для студентів спеціальностей
131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»

Яковенко І.Е.

Я47 Технологічні основи машинобудування. Лабораторний практикум для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков. – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 211с.

ISBN 978-617-05-0464-7

Розглянуто практичне застосування теоретичних знань, отриманих щодо дисципліни «Технологічні основи машинобудування». Розглянуто основні питання, пов'язані з технічною та технологічною підготовкою машинобудівного виробництва: проектування технологічних операцій для різних методів обробки; налагодження верстатів та технологічного обладнання при виконанні технологічних операцій; виникнення та характер похибок при базуванні та закріпленні заготовок; забезпечення точності обробки та якості формованої поверхні деталі на підставі обліку параметрів обладнання, пристроїв, інструментів та заготовок; нормування окремих операцій та технологічного процесу в цілому.

Призначено для студентів усіх форм навчання спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» та інших спеціальностей галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Іл. 136. Табл. 23. Бібліогр. 11.

УДК 621.7

ISBN 978-617-05-0464-7

© І.Е. Яковенко, О.А. Пермяков
© НТУ «ХПІ», 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Лабораторна робота №1. СКЛАД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	7
Лабораторна робота №2. ОЦІНКА ВПЛИВУ СПОСОБУ ЗАКРІПЛЕННЯ НА ПОХИБКУ ФОРМИ ОБРОБЛЕНИХ ЗАГОТОВОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ	14
Лабораторна робота №3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ	22
Лабораторна робота №4. ОЦІНКА ВПЛИВУ РОЗМІРНОГО ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	26
Лабораторна робота №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ПРИСТОСУВАННІ	32
Лабораторна робота №6. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК ЗОВНІШНІМИ ЦИЛІНДРИЧНИМИ ПОВЕРХНЯМИ У ПРИЗМИ	40
Лабораторна робота №7. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК НА ДВА ЦИЛІНДРИЧНІ ОТВОРИ ТА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНУ ЇМ ПЛОЩИНУ	45
Лабораторна робота №8. ВИЗНАЧЕННЯ НОРМИ ЧАСУ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	52
Лабораторна робота №9. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЛІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ	58
Лабораторна робота №10. ОБРОБКА ЗОВНІШНІХ КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ	72
Лабораторна робота №11. ОБРОБКА РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ НА ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ	79
Лабораторна робота №12. ОБРОБКА ОТВОРІВ У ЗАГОТОВКАХ НА СВЕРДЛИЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ	86
Лабораторна робота №13. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ	97
Лабораторна робота №14. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ	109
Лабораторна робота №15. УНІВЕРСАЛЬНІ МЕТОДИ СЛЮСАРНОЇ	

РОЗМІТКИ ТА ОЦІНКА ЇХ ТОЧНОСТІ	119
Лабораторна робота № 16. ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ЗУБОФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ.....	125
Лабораторна робота № 17. ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ДІЛИЛЬНОЇ ГОЛОВКОЮ	132
Лабораторна робота №18. ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ЗУБОДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ.....	144
Лабораторна робота № 19. ОСНОВИ 3D-ДРУКУ АБО «АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО»	156
Лабораторна робота №20. ЕКСТРУЗІЙНИЙ ДРУК ВИРОБІВ НА 3D-ПРИНТЕРІ.....	173
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	189
ДОДАТОК 1.....	190
ДОДАТОК 2.....	199
ДОДАТОК 3.....	200
ДОДАТОК 4.....	201
ДОДАТОК 5.....	202
ДОДАТОК 6.....	203
ДОДАТОК 7.....	205
ДОДАТОК 8.....	208
ДОДАТОК 9.....	210

ВСТУП

Машинобудування та приладобудування визначають рівень технічного розвитку будь-якої держави. У цих галузях концентруються і знаходять практичне застосування найсміливіші та найефективніші наукові досягнення, які пов'язані з дослідженнями в різних наукових сферах та на стику наук. Усе це свідчить про необхідність постійного вдосконалення машинобудівного виробництва. У теперішній час актуальними стають тенденції у розвитку всіх елементів машинобудівного виробництва: технології, устаткування, оснастки, інструменту, режимів обробки.

Незважаючи на швидкий розвиток використання альтернативних матеріалів, найбільше застосування при створенні машин знаходять різні метали та сплави. Тому сучасні методи формування заготовок та обробка різанням, внаслідок їх широких технологічних можливостей, збереже найближчим часом пріоритет серед інших методів обробки. Механічна обробка цієї групи матеріалів є найбільш трудомісткою та енергоємною частиною процесу створення машини. Наукові дослідження останніх років дозволили впровадити у виробничий процес механічної обробки багато прогресивних та ефективних методів і технологій. До них можна віднести високошвидкісну обробку, створення спеціального лезового інструменту для обробки високоміцних та загартованих сталей з високою точністю, шліфування поверхонь із введенням додаткової енергії в зону різання та ін.

Крім цього, для сучасного машинобудування поряд з обробкою різанням характерно широке застосування методів формоутворення поверхонь без застосування процесу різання матеріалів (електрофізичні, електрохімічні та комбіновані). Все більшого поширення в виробництві набувають способи отримання деталей з поверхнями складної конфігурації з використанням принципів 3D друку або адитивних технологій. Постійно ведуться дослідження застосування цієї технології у одиничному та серійному виробництві, при ремонті машин та побутових приладів, що потребує від студентів додаткових практичних знань у цієї галузі.

Виходячи з цього випускникам вищих навчальних закладів за напрямом "Прикладна механіка" та "Галузеве машинобудування" необхідно мати не тільки теоретичну інформацію про технологічну підготовку виробництва, методи обробки деталей та створення машин, а й мати практичні навички з розробки та реалізації реальних технологічних процесів обробки, налаштування обладнання та засобів технологічного оснащення для виконання цих процесів, методів контролю точності обробки та якості поверхонь деталей машин.

Тому практикум має на меті закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок щодо дисципліни «Технологічні основи машинобудування». Він охоплює найважливіші теоретичні розділи:

- склад та структура технологічних процесів;
- проектування технологічних процесів обробки окремих поверхонь деталі;
- основи нормування технологічних процесів;
- базування заготовок при обробці різноманітних поверхонь та вплив похибок базування на точність обробки;
- вплив елементів технологічної системи на показники точності та якості оброблених поверхонь деталей;
- ознайомлення з основними методами обробки різноманітних поверхонь деталей на металообробному устаткуванні;
- адитивні технології у машинобудівному виробництві.

Цей навчальний посібник буде корисним студентам напрямків «Прикладна механіка» та «Галузеве машинобудування» вищих навчальних закладів.

Лабораторна робота №1. СКЛАД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: закріплення знань та основних термінів, отриманих на лекціях, здобуття навичок з розробки технологічних процесів механічної обробки та їх реалізації на металорізальному обладнанні.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Проектування технологічних процесів обробки деталей машин має на меті встановити найбільш раціональні та економічні способи їх виготовлення. Обробка деталей на металорізальних верстатах повинна забезпечити виконання вимог, що пред'являються до точності і шорсткості поверхонь, що обробляються, взаємного розташування, правильності контурів і форм та інше.

Процес механічної обробки повинен повною мірою використовувати технічні можливості верстатів, інструментів та пристроїв при оптимальних режимах різання металу, найменших витрат часу та найменшої собівартості обробки.

Для однозначного розуміння встановлено термінологію, що використовується для розробки технологічних процесів.

Виробничий процес - сукупність всіх дій людей і знарядь виробництва, необхідні цьому підприємстві виготовлення чи ремонт виробів.

Виробничий процес включає:

- підготовку засобів для виробництва та обслуговування робочих місць;
- отримання та організація зберігання матеріалів, напівфабрикатів, інструментів тощо;
- всі стадії виготовлення виробу чи машини;
- організація транспортування виробу або напівфабрикату всередині підприємства;
- складання виробу;
- контроль працездатності виробу;
- виготовлення тари та упаковка виробу;

Перелічені вище завдання вирішуються будь-якому машинобудівному підприємстві.

У загальному випадку завдання, які вирішуються при організації виробничого процесу та технологічної підготовки виробництва, а також послідовність їх виконання та основні елементи вихідної та базової інформації представлені на Рисунку 1.

Технологічний процес - частина виробничого процесу, безпосередньо

пов'язана із зміною фізичного стану матеріалу, розмірів, форми, зовнішнього вигляду та взаємного розташування елементів при виготовленні та збиранні виробу та їх контроль.

Технологічні процеси будуються за окремими методами їх виконання (процеси механічної обробки, збирання, лиття, термічної обробки, покриттів тощо).

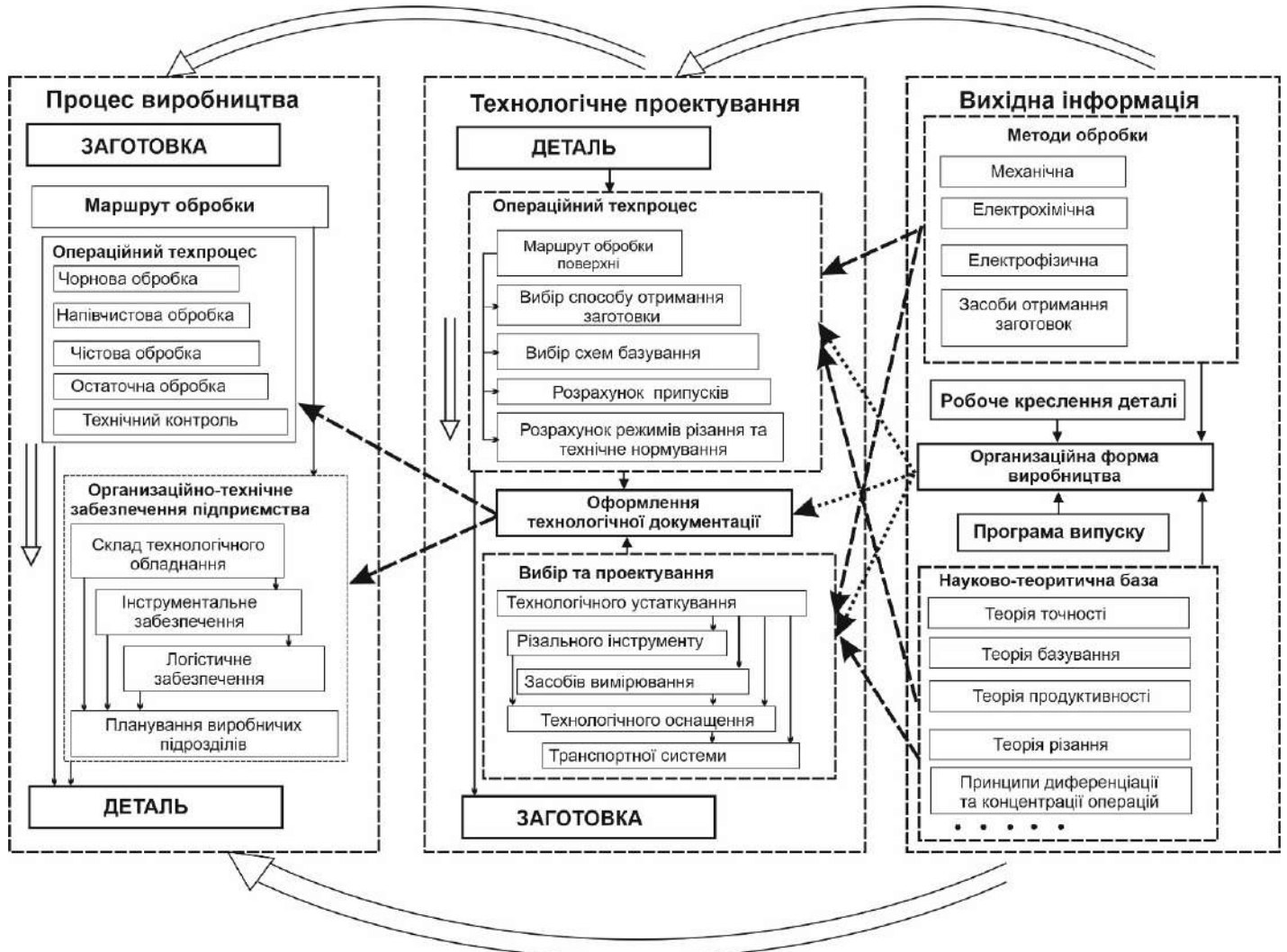


Рисунок 1 – Послідовність технологічної підготовки виробництва

Технологічний процес зазвичай ділять на частини. Кожна частина характеризується набором певних ознак

Операція – закінчена частина технологічного процесу, виконувана одному робочому місці. Операція є найменшою частиною технологічного процесу, на яку розробляється технологічна документація, за якою ведеться планування та облік.

Необхідність поділу технологічного процесу на операції визначається двома причинами:

1. фізичними (дуже часто неможливо обробити деталь з шести сторін; необхідно різне обладнання для чистової та чорнової обробки, або використання дорогого багатофункціонального універсального обладнання);
2. економічними (доцільність створення спеціального верстата).

Перехід - закінчена частина операції, виконується одними і тими ж засобами технологічного оснащення при постійних режимах та встановлення заготовки.

Перехід пов'язаний (при різанні) із отриманням кожної поверхні. Наприклад, обробка отвору може виконуватися декількома інструментами: свердлом – зенкером – розгорткою – в цьому випадку необхідно три переходи. Розточування триступеневого отвору блоком різців – один перехід.

Розрізняють переходи:

- *основні* – безпосередньо пов'язані із здійсненням технологічного впливу (свердління, точіння тощо);
- *допоміжні* – дії робітника та механізмів, необхідні для виконання основного переходу (установка та закріплення деталі, зміна пристосування, відведення, підведення тощо).

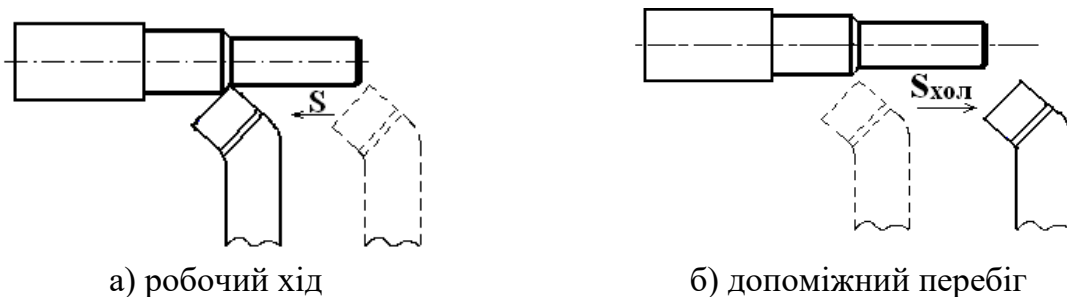


Рисунок 2 – Робочий та допоміжний хід

Елементарний перехід - частина технологічного переходу, що виконується одним інструментом над однією ділянкою поверхні заготовки, що обробляється за один робочий хід без зміни режиму роботи верстата.

Це поняття введено для проектування технологічних операцій та розрахунку основного часу обробки заготовок на верстатах з ЧПУ, коли всередині технологічного переходу відбувається зміна режимів роботи верстата. Наприклад, при обробці фасонних контурів на верстатах з ЧПУ у багатьох випадках усередині переходу змінюється припуск на обробку або умови різання, що робить доцільним введення в програму інших подач на відповідних ділянках контуру, що обробляється.

Прийом – закінчена сукупність дій, вкладених у виконання переходу чи його частини та об'єднаних одним цільовим призначенням. Наприклад, перехід

— «установити заготовку» включає ряд дій (прийомів):

взяти заготовку з тари - перемістити до пристрою - встановити в пристрій - закріпити.

Перехід під час механічної обробки може виконуватися за один робочий хід або кілька (чорнова обробка, шліфування).

Робочий хід (прохід) – одноразовий відносний рух пристосування та заготовки, в результаті якого з її поверхні видаляється один шар матеріалу, що дорівнює глибині різання. Зазвичай одному переході виконуються кілька робочих ходів в одиничному і серійному виробництві, якщо необхідно зняти досить великий напуск, коли форма заготовки не наближена до остаточної форми деталі.

Щоб обробити її заготовку необхідно розташувати щодо робочих органів верстата і закріпити (зафіксувати).

Установ - процес надання заготовки необхідного становища та її подальше закріплення. Для повної обробки деталі необхідно, зазвичай, кілька установ.

Для виконання окремих частин операції чи технологічного процесу загалом буває необхідне переміщення об'єкта виробництва, у просторі разом із пристосуванням. Ця дія характеризується позицією обробки.

Позиція – кожне нове фіксоване становище об'єкта виробництва разом із пристосуванням, у якому встановлено об'єкт, щодо робочих органів верстата.

Робоче місце - частина виробничої площі цеху, на якій розміщені один або кілька виконавців роботи та одиниця технологічного обладнання або частина конвеєра, що обслуговується ними, а також технологічне оснащення і вироби на період обробки.

На рисунку 3 показано креслення деталі «Вал».

Для цієї деталі технологічний процес механічної обробки складається з наступних операцій:

005 Заготівельна

010 Транспортна

015 Токарна

020 Фрезерна

025 Свердлильна

030 Слюсарна

На рисунку 4 показано операційні ескізи тільки механічної обробки, та не враховують транспортну й слюсарну операції.

$\sqrt{12,5}$

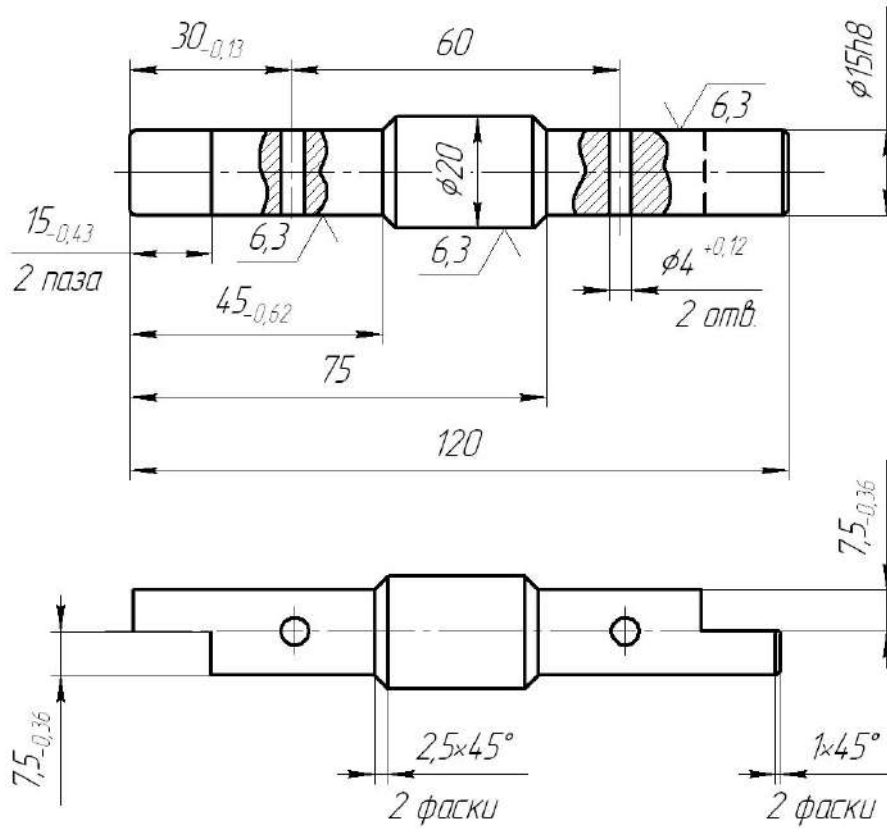


Рисунок 3 – Креслення деталі

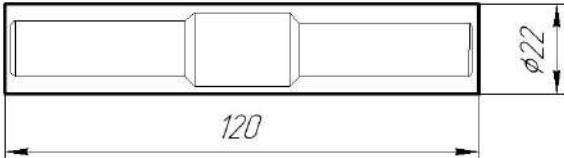
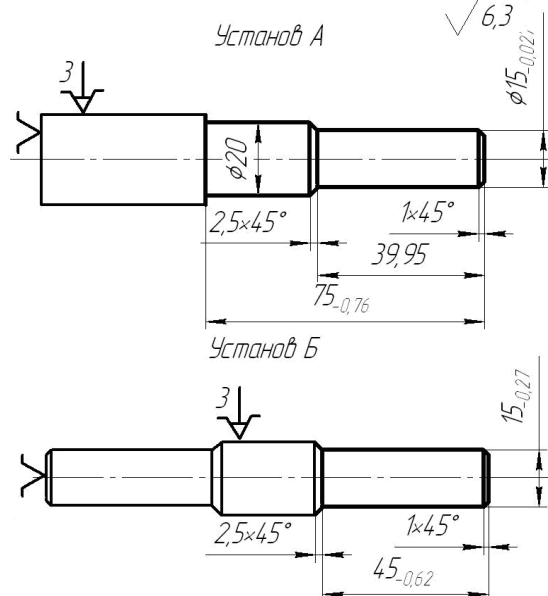
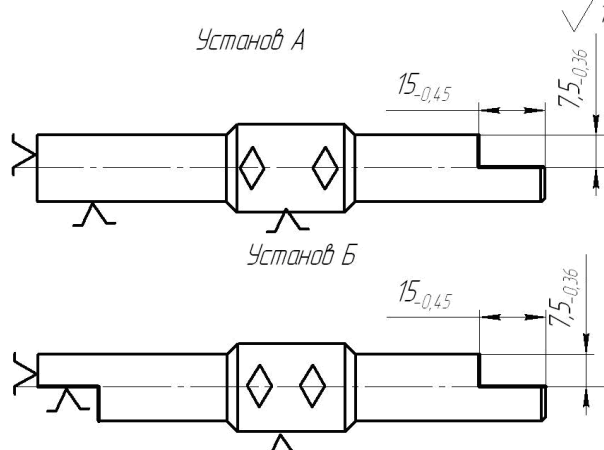
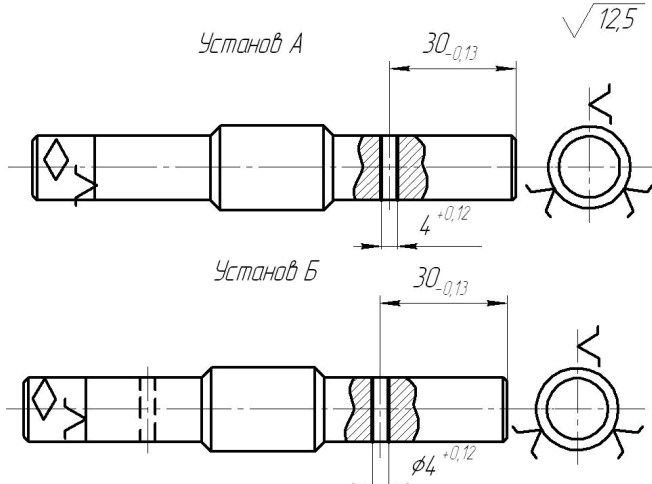
<p>005 Заготівельна</p>	
<p>015 Токарна</p>	
<p>020 Фрезерна</p>	
<p>025 Свердлильна</p>	

Рисунок 4 – Операційні ескізи механічної обробки

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Верстат токарно-гвинторізний.
- 3.2. Пристрій для визначення розмірного зношування інструменту.
- 3.3. Ванночка пластмасова.
- 3.4. Головка вимірювальна важільно-зубчаста.
- 3.5. Різець токарний прохідний ВК6.
- 3.6. Різець токарний прохідний Р6М5.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у викладача креслення деталі.
- 4.2. Розробити маршрутний технологічний процес, узгодити з викладачем.
- 4.3. Скласти операційний технологічний процес за завданням викладача, визначити елементи технологічної операції.
- 4.4. Обробити деталь.
- 4.5. Здійснити контроль деталі.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Маршрутний технологічний процес.
- 5.4. Ескіз заготовки.
- 5.5. Операційні ескізи.
- 5.6. Висновки щодо роботи.

Примітка. Технологічна документація оформляється на практичних заняттях.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення поняття «Виробничий процес».
2. Розкрийте зміст поняття «Технологічний процес»
3. Що розуміється під терміном "Технологічна операція"?
4. Назвіть основні елементи технологічної операції.
5. Що розуміється під терміном "Маршрутний технологічний процес"?
6. Що розуміється під терміном "Установ"?
7. Що розуміється під терміном "Технологічний перехід"?
8. Що розуміється під терміном "Робочий хід"?
9. Що розуміється під терміном "Допоміжний хід"?
10. Що розуміється під терміном "Допоміжний перехід"?

Лабораторна робота №2. ОЦІНКА ВПЛИВУ СПОСОБУ ЗАКРІПЛЕННЯ НА ПОХИБКУ ФОРМИ ОБРОБЛЕНИХ ЗАГОТОВОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: експериментально визначити коефіцієнти жорсткості вузлів токарного верстата та вплив способу закріплення заготовок на похибку форми оброблюваних деталей.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

При обробці заготовок на металорізальних верстатах технологічна система пружно деформується під дією сил різання, сил затиску та інших факторів. Виникнення деформації пояснюється наявністю проміжків у з'єднаннях верстата, пружністю та зносом елементів. Пружні деформації технологічного обладнання викликають розсіювання розмірів деталей в оброблюваній партії, а також є причиною виникнення хвилястості.

Величина деформації залежить від здатності вузлів та деталей чинити опір діючим силам та визначається їх жорсткістю.

Жорсткість у найпростішому випадку, наприклад, закріплена консольна балка з діючою на кінці силою, може бути визначена аналітично. У разі складної системи, такої як металорізальний верстат, з великою кількістю елементів, можливе лише орієнтовне визначення жорсткості, точне значення визначають експериментально.

Жорсткість j , Н/м, пружної технологічної системи є відношення діючої сили різання, спрямованої до поверхні, що обробляється, до величини зміщення різальної кромки інструменту:

$$j = \frac{P_y}{y},$$

де j – жорсткість технологічної системи, Н/м; P_y - радіальна складова сили різання, Н; y - величина усунення різального інструменту, м.

Величину, обернену жорсткості, називають податливістю пружної системи ω , м/Н, і обчислюють за формулою

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

де j - жорсткість технологічної системи, Н/м.

У лабораторній роботі використовується метод статичного визначення коефіцієнтів твердості вузлів верстата. Вузли верстата навантажуються силою, що імітує силу різання. При цьому здійснюється вимірювання переміщень вузлів і за результатами вимірювань будують для кожного вузла верстата графіки «навантаження – переміщення».

Для визначення середньої жорсткості вузла навантажувальну гілку графіку апроксимують лінійною залежністю виду:

$$y = y_0 + \omega \cdot P_y,$$

де y_0 - величина зазору у вузлу, м; ω - податливість вузла, м/Н; P_y - радіальна складова сили різання, Н.

Математична обробка результатів вимірювань та знаходження значень y_0 і ω провадиться з використанням методу найменших квадратів.

Для можливості порівняння токарних верстатів за жорсткістю та податливістю визначають середній коефіцієнт жорсткості верстата при положенні різця посередині між передньою і задньою бабками верстата:

$$\frac{1}{j_{ст}} = \frac{1}{j_{суп}} + \left(\frac{1}{j_{з.б.}} + \frac{1}{j_{п.б.}} \right) \cdot 0,25,$$

де $j_{ст}$ – жорсткість верстата, Н/м; $j_{пб}$ - жорсткість передньої бабки верстата, Н/м; $j_{зб}$ - жорсткість задньої бабки верстата, Н/м; $j_{суп}$ - жорсткість супорта верстата, Н/м.

До основних причин, що викликають похибку форми та взаємного розташування поверхонь, відносяться:

- деформації пружної технологічної системи;
- неточність верстата та профільного інструменту;
- пружні деформації заготовки;
- дія внутрішньої напруги.

Оскільки жорсткість технологічної системи не постійна і змінюється по довжині обробки, виникає похибка форми деталі в осьовому перерізі (конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність). Залежно від способу закріплення заготовки (консольна або в центрах) дія пружної деформації на форму поверхні, що обробляється, є різною.

Консольне закріплення. Має місце різна жорсткість у перерізі 2—2 закріплення заготовки та у її вільного кінця у перерізі 1—1 (рис. 1.а). При цьому приймається, що жорсткість верстата набагато більша за жорсткість деталі.

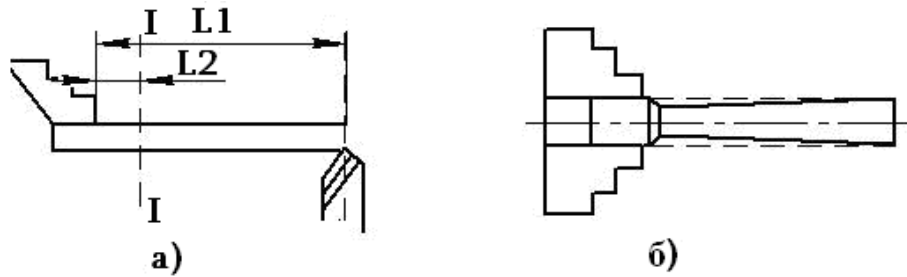


Рисунок 1 – Консольне закріплення заготовки

Величини прогинів можуть бути визначені за відомою залежністю:

$$y = \frac{P_y \cdot l^3}{3EJ},$$

де P_y – радіальна складова зусилля різання, Н; E – модуль пружності, Па; J – момент інерції, m^4 ; l – довжина прольоту до місця закріплення, м.

Жорсткість оброблюваної заготовки в перерізі I – I, Н/м:

$$j_1 = \frac{P_y}{y_1} = \frac{3EJ}{l_1^3}.$$

Жорсткість оброблюваної заготовки в перерізі 2 - 2, Н/м:

$$j_2 = \frac{P_y}{y_2} = \frac{3EJ}{l_2^3}.$$

Оскільки l_1 більше l_2 (див. рис. 1.а), то j_2 більше j_1 а, отже, y_2 менше y_1 .

Жорсткість оброблюваного валика в перерізі 2-2 можна приблизно прийняти абсолютною $y_2 \approx 0$.

Таким чином, при консольному закріпленні заготовки, в результаті нерівномірної жорсткості технологічної системи по довжині проходу неминуча похибка в поздовжньому перерізі (див. рис. 1.б), і, відповідно, різними будуть і діаметральні розміри обробленої деталі в різних перерізах за її довжиною.

Закріплення у центрах. При закріпленні заготовки в центрах вид похибки форми в осьовому перерізі залежить від відношення жорсткості верстата та заготовки. Але в будь-якому випадку величину похибки по довжині оброблюваної деталі визначають як суму деформацій верстата і деталі:

$$y = y_{cm} + y_d = P_y \omega_{cm} + P_y \omega_d \frac{16(l-l_1)^2 \cdot l_1^2}{l^4},$$

де $\omega_{ст}$ - жорсткість верстата, $\omega_{cm} = \omega_{суп} + \omega_{но} \left(\frac{l-l_1}{l} \right)^2 + \omega_{зб} \left(\frac{l_1}{l} \right)^2$, м / Н;

ω_d - жорсткість деталі, $\omega_d = \frac{l^3}{48EJ}$ м/Н, l - довжина деталі, м; l_1 - відстань від торця передньої бабки до точки докладання сили різання, м.

Заготовка менш жорстка, ніж верстат. Внаслідок різної жорсткості технологічної системи біля місць закріплення заготовки (перетину 1—1 і 3—3) та в середній її частині (перетин 2—2) прогин заготовки у цих перерізах також буде різним (див. рис. 2.а). Приймається, що жорсткість верстата набагато більша за жорсткість деталі, і тому похибка форми обумовлена лише деформацією деталі ($y_{ст} = 0$).

У перерізі 1-1 прогин y_{1-1} розраховується за формулою

$$y_{1-1} = y_d = P_y \omega_d \frac{16(l-l_1)^2 \cdot l_1^2}{l^4},$$

при $l_1 \rightarrow l$; $y_{1-1} = y_d = 0$.

У перерізі 2—2 технологічна система найменш жорстка, тоді прогин y_{2-2} розраховується за формулою (при $l_1 = l/2$)

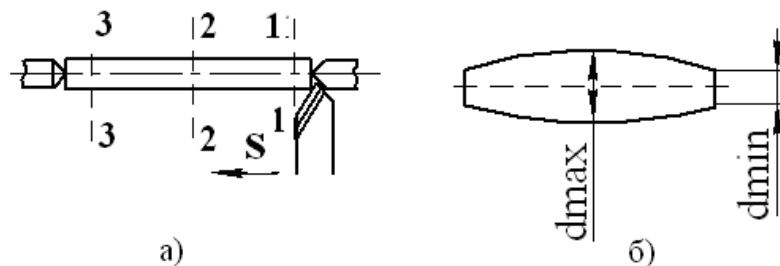


Рисунок 2 – Закріплення заготовки в центрах (заготовка менш жорстка, ніж верстат)

$$y_{2-2} = y_d = P_y \omega_d.$$

У перерізі 3 — 3 те саме, що й у перерізі 1 — 1 (при $l_1 \rightarrow 0$):

$$y_{3-3} = y_d = 0$$

Таким чином, y_{2-2} більше y_{1-1} та y_{3-3} і деталь набуде бочкоподібної форми (див. рис. 2.б).

Заготовка жорсткіша, ніж верстат. У всіх перерізах прогин заготовки внаслідок її абсолютної жорсткості можна прийняти рівним нулю ($y_d = 0$).

Тоді в перерізі 1 — 1 (рис. 3.а) прогин y_{1-1} розраховується за формулою

$$y_{1-1} = y_{cm} = P_y \left(\omega_{cyn} + \omega_{но} \left(\frac{l-l_1}{l} \right)^2 + \omega_{зб} \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 \right),$$

при $l_1 \rightarrow l$ $y_{1-1} = y_{cm} = P_y (\omega_{cyn} + \omega_{зб})$.

У перерізі 2 - 2 (при $l_1 = l/2$) деформація системи визначається за відомою

формулою

$$y_{2-2} = y_{cm} = P_y (\omega_{cyn} + 0,25(\omega_{nб} + \omega_{зб})).$$

У перерізі 3 - 3 (при $l_1 \rightarrow 0$):

$$y_{3-3} = y_{cm} = P_y (\omega_{cyn} + \omega_{nб}).$$

Таким чином у 2-2 через більшу величину жорсткості, менше y_{1-1} і y_{3-3} і деталь прийме сідлоподібну форму (див. рис. 3.б). Різними будуть і діаметральні розміри обробленої деталі в її перерізах по довжині.

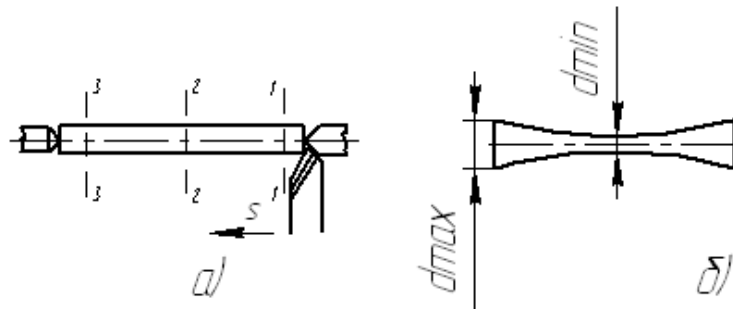


Рисунок 3 – Закріплення заготовки у центрах (заготовка більш жорстка, ніж верстат)

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Токарно-гвинторізний верстат.
- 3.2. Спеціальна оправка.
- 3.3. Товкач.
- 3.4. Динамометр.
- 3.5. Індикатор вартового типу.
- 3.6. Різець прохідний прямий Т15К6.
- 3.7. Мікрометр МК 0 – 25.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись із пристроєм лабораторної установки, що використовується для визначення коефіцієнтів жорсткості вузлів токарного верстата (рис. 4). Оправка 4 з двома гвинтами навантаження 2 закріплюється в трьохкулачковому патроні 10 і підтискається заднім центром. У різцетримачі 5 закріплюється динамометр 7, використовуваний як датчик, що реєструє навантаження (див. рис. 4). Замість різця на його кінці встановлений гладкий штовхач 9. На направляючих верстата встановлена плита 8 з індикаторними стойками та індикаторами годинного типу 1, 3, 6. Повертаючи гвинти 2 створюється навантаження на вузли верстата.

4.2. Встановити та закріпити оправку 4. Виліт пінолі задньої бабки встановити в межах 120 – 150 мм.

4.3. Встановити та закріпити динамометр 7.

4.4. Встановити плиту 8 на направляючі верстата. Закріпити на стойках індикатори 1, 3, 6. Вставити індикатори з натягом.

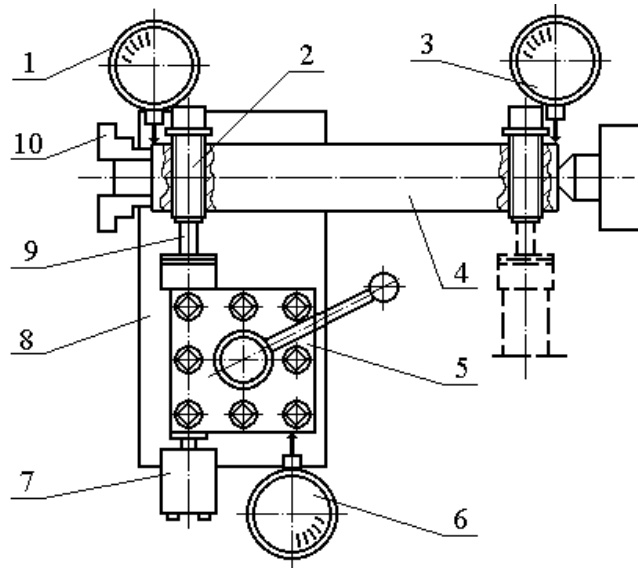


Рисунок 4 – Схема лабораторної установки.

4.5. Послідовно (через два поділки індикатора динамометра) навантажувати систему з реєстрацією навантаження та переміщення вузлів. Результати вимірів занести до таблиці 1.

4.6. Перемістити супорт з динамометром 7 до задньої бабці та повторити п. 4, 5. Результати занести до таблиці 1.

4.7. З даних експерименту розрахувати значення J і ω , та побудувати графіки залежностей: $y = y_0 + \omega \cdot P_y$ кожному досліджуваного вузла.

4.8. На графіках залежностей $y = y_0 + \omega \cdot P_y$ побудувати розвантажувальну гілку графіка.

4.9. Отримати у викладача заготовки деталей та розрахувати режими різання для їх обробки.

4.10. Встановити та закріпити в патроні заготовку консольне, з вильотом 100...150 мм. Проточити заготовку на всю довжину та виміряти її діаметральний розмір у трьох перерізах. Результати занести до таблиці 2.

4.11. Встановити та закріпити заготовку в патроні, підібгати заднім центром з вильотом 100...150 мм. Проточити заготовку на всю довжину та виміряти її діаметральний розмір у трьох перерізах. Результат занести до таблиці 2.

Таблиця 1 – Результати експерименту

№ експерименту	P_y (Н)	Переміщення вузлів верстата y , (мм)					
		Передня бабка		Задня бабка		Супорт	
		Навантаження	Розвантаження	Навантаження	Розвантаження	Навантаження	Розвантаження
1							
2							

4.12. Розрахувати теоретичне значення, що виникає при цих способах закріплення похибки форми. Результат занести до таблиці 2.

4.13. На основі експериментальних та теоретичних даних зробити висновки щодо виконаної роботи.

Таблиця 2 - Результати експерименту

Вид закріплення	Відношення жорсткості деталі до жорсткості верстата	Діаметральні розміри деталі в перерізах, мм					
		1—1		2—2		3—3	
		Експ.	Теорія.	Експ.	Теорія.	Експ.	Теорія.
Консольне	$j_0 \ll j_{cm}$					-	-
У центрах	$j_0 \ll j_{cm}$						
	$j_0 \gg j_{cm}$						

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.4. Таблиця результатів експерименту та розрахунки значень J та ω .
- 5.5. Графіки залежності $y = y_0 + \omega * P_y$ для кожного досліджуваного вузла при навантаженні та розвантаженні.
- 5.6. Схеми закріплення заготовок.
- 5.7. Таблиця результатів вимірів.
- 5.8. Таблиця результатів розрахунків теоретичних значень похибок, що виникають за різних способів закріплення.
- 5.9. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення жорсткості обладнання, деталей.
2. Як називається обернена величина жорсткості і за якою формулою розраховується?
3. Від чого залежить жорсткість вузла верстата?
4. Як можна збільшити жорсткість вузла?
5. На що впливає жорсткість обладнання?
6. Які похибки форм виникають при консольному закріпленні заготовки?
7. Які похибки форм виникають при закріпленні заготовки у центрах?
8. Які технологічні чинники впливають величину похибки?
9. Як максимально зменшити або виключити похибки, що виникають?
10. Чи впливає матеріал та габарити заготовки на величину похибки?

Лабораторна робота №3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомити студентів з переліком технологічних факторів, які домінують на параметри шорсткості поверхні, а також встановити залежність параметрів шорсткості поверхні від параметрів обробки.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Експлуатаційні властивості деталей та вузлів машин суттєво залежать від фізико-механічних властивостей та мікрогеометрії їх поверхонь, які отримуються в результаті механічної обробки.

Шорсткість оброблених поверхонь визначається методом обробки, схемою обробки, матеріалом оброблюваної деталі та шорсткістю, отриманої на попередній операції, інструментом (геометрія різальної частини); режимами різання, ЗОТР тощо.

До характеристик мікрогеометрії поверхні, що надають найбільший вплив на експлуатаційні властивості деталей, відносяться характеристики, зазначені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Характеристики мікрогеометрії поверхні

Експлуатаційні властивості поверхні	Параметри шорсткості та характеристики
Опір зносу поверхонь, що труться.	Ra, Rz, t_p , напрямок нерівностей
Тертя (ковзання та кочення)	Ra, Rz, t_p , напрямок нерівностей
Вібростійкість	Ra, Rz, S, S_m напрямок нерівностей
Контактна жорсткість	Ra, Rz, t_p
Міцність з'єднання	Ra, Rz, S
Міцність конструкції при циклічних навантаженнях	$R_{макс}, S, S_m$, напрямки нерівностей
Геометричність з'єднань	$R_{макс}, S, Rz, t_p$
Опір на хвилеводах	Ra, S, S_m

На рисунках 1, 2, 3 для прикладу представлені графіки залежності шорсткості режимів різання: V - швидкості різання і S - подачі.

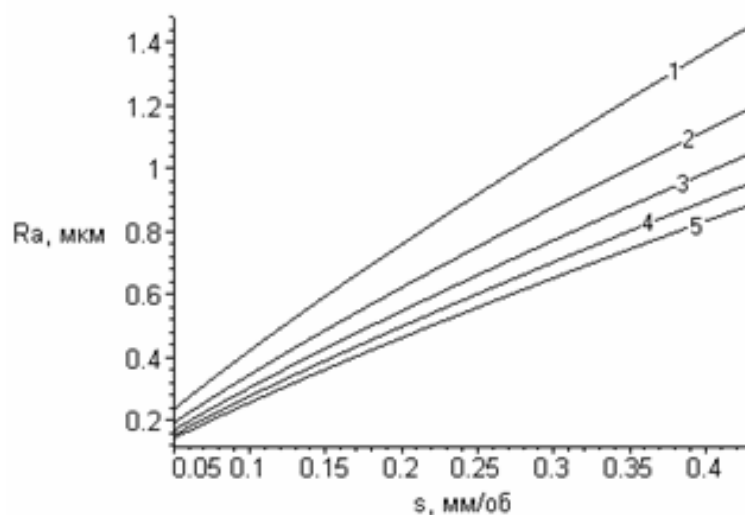


Рисунок 1 – Вплив V і S на Ra при одержуваному та чистовому точінні при швидкості: 1- 171 м/хв; 2 - 124 м/хв; 3 - 176,5 м / хв; 4 - 230 м / хв; 5 - 280 м/хв

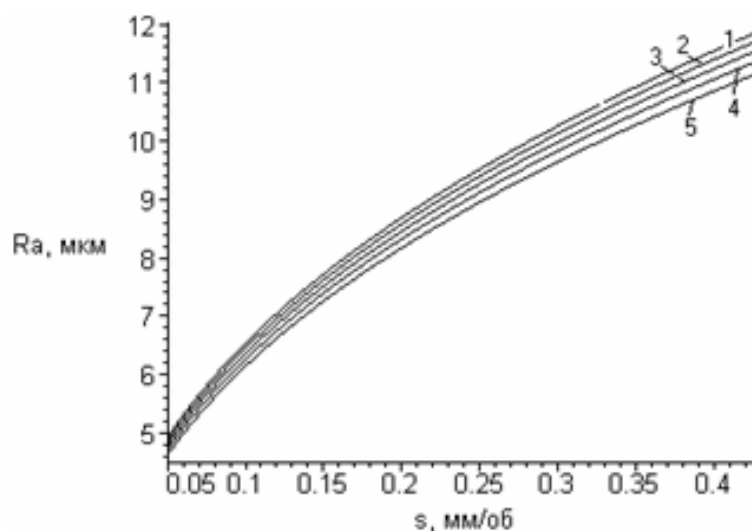


Рисунок 2 – Вплив V і S на Ra при свердлінні при швидкості: 1 - 12 м/хв; 2 - 14 м/хв; 3 - 16 м/хв; 4 - 18 м/хв; 5 - 20 м/хв

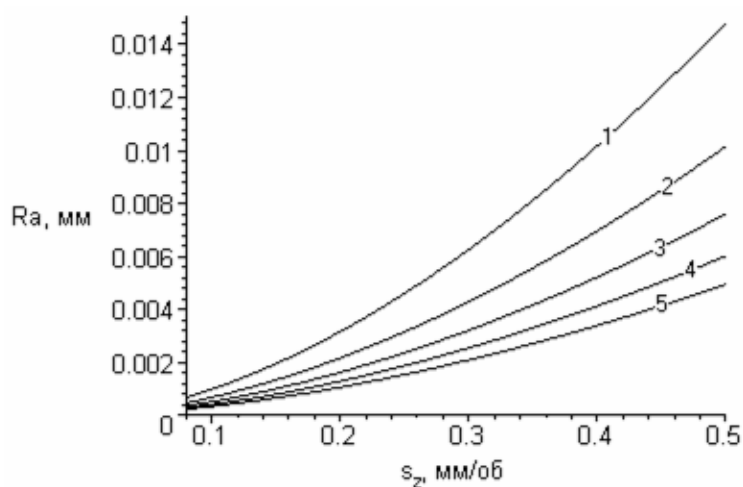


Рисунок 3 – Вплив V та S на Ra при чистовому торцевому фрезеруванні при швидкості: 1 - 18 м/хв; 2 - 24,5 м/хв; 3 - 31 м/хв; 4 - 37,5 м/хв; 5 - 44 м/хв

Дані залежності отримані за такими емпіричними формулами:

- для напівчистового та чистового точіння:
$$Ra = k_0 \frac{S^{k_1} (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} V^{k_3}},$$

- свердління:
$$Ra = k_0 d^{0,25} V^{0,12} S^{0,41},$$

- чистового торцевого фрезерування
$$Ra = k_0 \frac{S_z^{1,69} t^{0,15}}{V^{1,23} \rho^{0,14} \gamma^{0,46}} :$$

де k_0 - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу; S - подача при різанні, мм/об; V - швидкість різання, м/хв; γ - передній кут інструменту, град.; ρ - радіус заокруглення вершини інструменту, мм; d - діаметр інструменту, що обробляє, мм; S_z – подача на зуб торцевої фрези, мм/зуб; t – глибина різання, мм.

Емпіричні формули визначені для напівчистових та чистових операцій. Для чорнових та обдирних операцій на підприємствах користуються загальномашинобудівними нормативами режимів різання для отримання при обробці того чи іншого параметра шорсткості.

На рисунку 4 показано схему експериментального стану визначення шорсткості на токарному верстаті в залежності від різального інструменту, параметрів режимів різання (швидкість, подача, глибина різання, ЗОТР). Приймаються фіксовані значення чинників, причому один із них змінюється, тобто проводиться серія однофакторних експериментів.

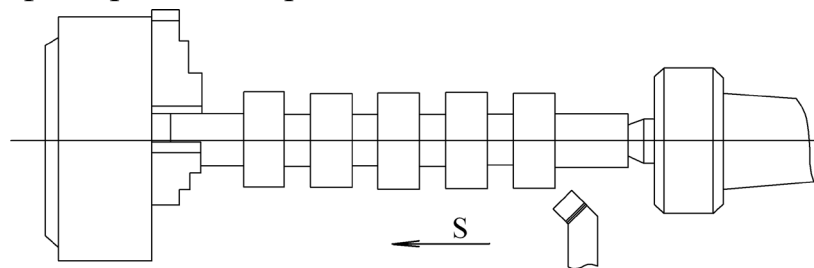


Рисунок 4 – Експериментальний стан

Аналогічним чином можна визначати шорсткість поверхонь деталей, оброблених іншими методами (фрезерування, свердління, шліфування та ін.)

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Верстат токарно-гвинторізний.
- 3.2. Заготовки.
- 3.3. Різці прохідні.
- 3.4. Креслення (олівець, лінійка).
- 3.5. Зразки шорсткості.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Вивчити теоретичну частину.
- 4.2. Встановити та закріпити оправку із заготовками в патроні токарного верстата та піджати заднім центром.
- 4.3. Зробити обробку зразків із режимами, заданими викладачем.
- 4.4. Змінюючи за вказівкою викладача один із технологічних факторів (швидкість різання, подачу, інструмент, глибину різання, вид заготовки), зробити обробку.
- 4.5. За зразками шорсткості визначити шорсткість оброблених поверхонь - Rz , Ra . Результати записати до таблиці 2.
- 4.6. Зробити висновок вплив зміненого технологічного чинника на шорсткість поверхні.

Таблиця 2 - Результати обробки заготовки

	n , об/хв	S мм/об	t , мм	γ , град	Ra , мкм	Rz , мкм
1						
2						
3						
4						

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Схема обробки.
- 5.4. Режими обробки та параметри шорсткості (таблиця 2).
- 5.5. Графіки залежності шорсткості від режимів різання.
- 5.6. Висновок щодо впливу зміни технологічного чинника на параметри шорсткості.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. На які параметри якості поверхні впливають швидкість різання V та подача S ?
2. Чи впливає глибина різання на параметри якості поверхні?
3. На які параметри якості поверхні, окрім шорсткості, впливають технологічні чинники?
4. Які фактори, крім технологічних, впливають на якість одержуваної поверхні?
5. Як можна підвищити якість оброблюваної поверхні?

Лабораторна робота №4. ОЦІНКА ВПЛИВУ РОЗМІРНОГО ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: закріплення теоретичних знань щодо впливу розмірного зношування лезового різального інструменту на точність механічної обробки.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

У теорії різання приділяється багато уваги зносу різального інструменту, оскільки його величиною лімітується період економічної стійкості інструмента. Визначається зношування розмірами лунки зношування по передній грані або фаскою зношування по задній грані в головному перерізі 1 - 1 (рис. 1).

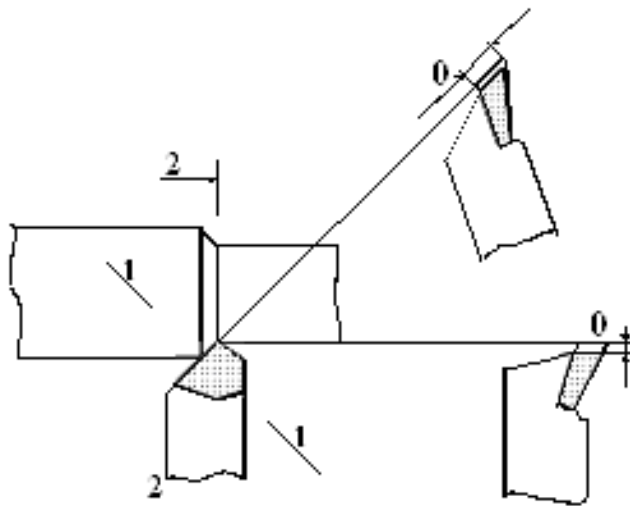


Рисунок 1 – Розмірний знос різального інструменту

Розмірним зносом різального інструменту (U , мкм), називається знос різальної кромки інструменту, вимірний у напрямку, нормальному до поверхні, що обробляється, переріз 2-2 (див. рис. 1).

На розмірне зношування інструменту впливають такі фактори: шлях різання, швидкість різання, товщина зрізу, ширина зрізу, вид оброблюваного матеріалу.

Для спрощення розрахунків точності механічної обробки розміру від зношування інструменту він вивчається в залежності від шляху, який пройшло лезо інструменту в металі (шлях різання).

Шлях різання (L , м) при токарній обробці визначається за формулою

$$L = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{1000 \cdot S},$$

де d - діаметр виробу, що обробляється, мм; l - довжина виробу, що обробляється, мм; S - подача, мм/об.

Нині є кілька методів вимірювання зносу інструмента. Найбільш простим і придатним є метод вимірювання зменшення розмірів від різального леза інструменту до певної базової поверхні або точки на інструменті, наприклад, на оправці різця. Такий вимір можна проводити за допомогою мікроскопів, або, використовуючи точні контактні вимірювальні прилади. Зношування різального інструменту є нерівномірне (рис. 2).

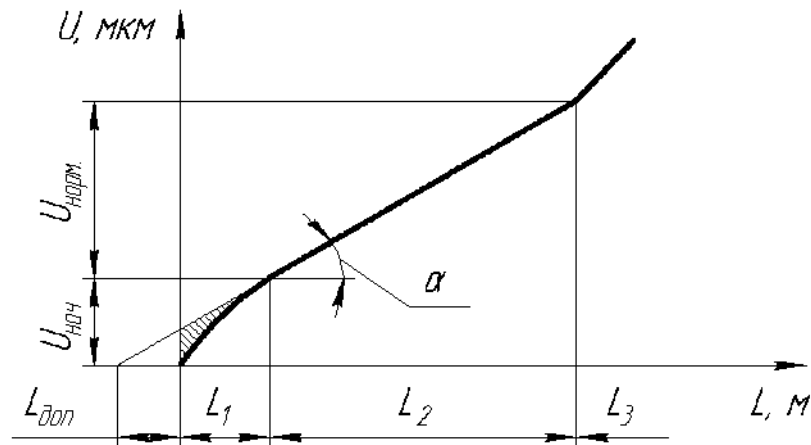


Рисунок 2 – Графік залежності розмірного зносу від шляху різання

У початковий момент різання (шлях L_1) відбувається підвищений початковий знос $U_{поч}$, далі (шлях L_2) настає найбільш тривалий період нормального зносу $U_{норм}$, що характеризується лінійною залежністю розмірного зносу від шляху різання та, нарешті, період інтенсивного (катастрофічного зносу $U_{кат}$ (шлях L_3), що призводить до руйнування різального леза інструменту. На ділянці нормального зносу спостерігається прямолінійна залежність розмірного зносу від шляху різання, і інтенсивність зносу характеризується кутом нахилу α лінії зносу до осі абсцис.

Лінійна залежність $U = f(\alpha)$ дає можливість характеризувати інтенсивність зношування певним числом - величиною відносного зношування $U_{про}$.

Відносним зносом ($U_{про}$, мкм), називається розмірне знос різального інструменту на 1000 м шляху різання.

$$U_0 = \frac{1000 \cdot U_{норм}}{L_2} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \left(\frac{M_u \cdot 1000}{M_e} \right),$$

де $U_{норм}$ - розмірне зношування на ділянці нормального зносу, мкм; L_2 - шлях різання ділянки нормального зносу, м; M - масштаб розмірного зносу, мкм/мм; M_e - масштаб шляху різання, м/мм.

Величина U найбільш повно характеризує розмірну зносостійкість різального інструменту за конкретних умов обробки.

Величину $U_{нач}$ - початкового розмірного зносу - визначати складніше, коли обробка поверхні починається знов заточеним інструментом.

Величина розмірного зносу може бути збільшена за рахунок підвищення якості заточування та доведення різального інструменту.

$$L_{дон} = 500 \dots 1500 \text{ м.}$$

При цьому величина розмірного зношування U , мкм, визначається за формулою:

$$U = (L + L_{дон}),$$

де L – шлях різання, м; $L_{дон}$ - додатковий шлях, м.кв.

$$U = U_{нач} + U_0 \cdot L,$$

де $U_{нач}$ - величина координати, мкм (див. рис. 2).

Форма і нахил кривих розмірного зносу можуть змінюватися в залежності від матеріалу, що обробляється, матеріалу різального інструменту, режиму, геометрії різального інструменту, ЗОТР.

Розмірне зношування помітно впливає на точність обробки. Відносний знос залежить від методів обробки, матеріалів заготовки та різального інструменту, режимів різання та геометричних параметрів різального інструменту.

З підвищенням твердості матеріалу заготовки відносно зношування зростає. Його можна зменшити, підвищуючи жорсткість технологічної системи. Глибина різання слабо впливає на відносний знос, а задній кут різального інструменту трохи сильніше (з його зменшенням знос зростає).

Якщо обточують довгий вал великого діаметра, то в міру переміщення різця від задньої бабки до передньої діаметр оброблюваної поверхні зростає, і поверхня виходить конічною. При обробці партії невеликих заготовок розмірний знос проявляється у безперервному збільшенні розмірів заготовок, що обробляються в партії.

Експериментально розмірне зношування можна визначити, якщо послідовно стежити за зміною відстані від вершини різця до обраної вимірювальної бази. Для запобігання впливу температурних деформацій різців необхідно перед кожним вимірюванням витримувати у ванні з водою постійної температури.

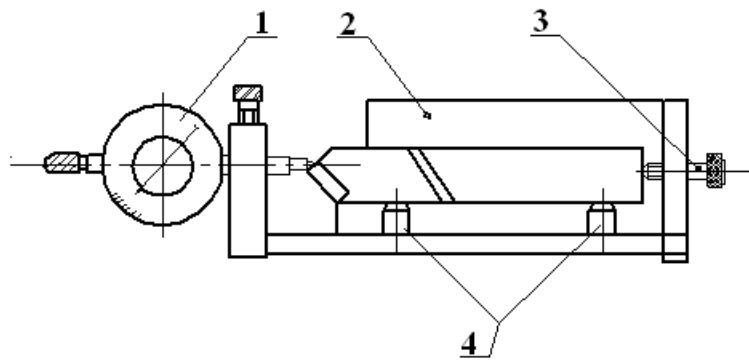


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки для визначення розмірного зношування лезового інструменту.

Внаслідок експерименту отримуємо графік залежності $U=f(L)$. Обробка графіка зводиться до лінійної апроксимації функції $U=f(L)$ ділянці нормального зносу, тобто до визначення коефіцієнтів a_0 та a_1 у рівнянні $U = a_0 + a_1 \cdot L$. Обробка експериментальних даних проводиться методом найменших квадратів, в основі якого лежить вимога, щоб точки U розташовувалися по обидва боки від кривої функції $U=f(L)$, щоб сума квадратів відхилень і вимірних значень U і від функції $U=f(L)$, було мінімальною, тобто $\sum (\Delta_i)^2 = \min$.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Верстат токарно-гвинторізний.
- 3.2. Пристрій для визначення розмірного зношування інструменту.
- 3.3. Ванночка пластмасова.
- 3.4. Головка вимірювальна важільно-зубчаста.
- 3.5. Різець токарний прохідний ВК6.
- 3.6. Різець токарний прохідний Р6М5.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Встановити та закріпити заготовку на токарному верстаті.
- 4.2. Опустити різець у ванну з водою та охолодити протягом двох хвилин до кімнатної температури.
- 4.3. Встановити різець у пристрої, щоб базові поверхні державки різця щільно прилягали до настановних поверхонь пристрою (див. рис. 3).
- 4.4. Закріпити на кронштейні вимірювальну головку, так щоб наконечник торкався вершини різця з натягом 0,1 мм. При такому положенні вимірювальну головку встановити на нуль і зняти різець.
- 4.5. Встановити та закріпити різець у різцетримачі так, щоб його поздовжня вісь була перпендикулярна осі верстата.

4.6. Налаштувати верстат на заданий режим різання ($V=80...200$ м/хв, $S=0,1...0,2$ мм/об, $t=0,1...0,2$ хв).

4.7. Розпочати обробку деталі. Через дві хвилини після початку роботи відвести різець, зняти зі верстата, охолодити, встановити в пристрої і виміряти величину розмірного зносу як різницю двох показань індикатора.

4.8. Повторити досвід для всіх заданих у таблиці 1 інтервалів часу.

4.9. Підрахувати шлях різання для всіх заданих у таблиці 1 інтервалів часу. Результати занести до таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати розрахунку розмірного зносу

Параметр	Час роботи різця, хв						
	0	2	5	8	12	20	25
Шлях різання від початку дослідження, м							
Розмірний знос різця, мкм							

4.10. Побудувати графік залежності $U=f(L)$, опрацювати результати експерименту, заповнити таблицю 2.

4.11. Визначити відносне зношування $U_{про}$.

4.12. Зробити висновки щодо виконаної роботи.

Таблиця 2 - Обробка результатів експерименту

№ експ.	Шлях різання L_i , м	L_i^2 , м ²	Розмірний знос U_i , мкм	$L_i U_i$
1	L_1	L_1^2		
...
N	L_n			
$\sum_{i=1}^n$	$\sum_{i=1}^n L_i$	$\sum_{i=1}^n L_i^2$	$\sum_{i=1}^n U_i$	$\sum_{i=1}^n L_i U_i$

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Вихідні умови проведення експерименту (найменування, модель та характеристика верстата, марка пластини твердого сплаву різця, характеристика заточування та доведення різця, марка оброблюваного матеріалу, режими різання).

- 5.4. Схема лабораторної установки визначення розмірного зносу (рис. 3).
- 5.5. Дані про вимірювальні прилади.
- 5.6. Результати експерименту (таблиця 1, таблиця 2).
- 5.7. Розрахунки відносного зносу інструменту.
- 5.8. Графік залежності $U = f(L)$.
- 5.9. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які фізичні явища, що супроводжують процес різання, впливають на знос інструменту?
2. Чи впливає на зношування інструменту температура в зоні різання?
3. Який метод застосовується для вимірювання зношування інструменту?
4. На які параметри якості виробу впливає зношування інструменту?
5. Оцініть вплив твердості матеріалу на величину розмірного зносу інструменту.
6. Розкрийте зміст способів підвищення стійкості інструменту.
7. Як впливають характеристики матеріалу інструменту на величину його зносу?

Лабораторна робота №5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ПРИСТОСУВАННІ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: вивчення різних схем базування заготовок та дослідження впливу сили затиску і шорсткості настановної поверхні заготовки на похибку закріплення при різних схемах базування заготовки.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Похибка зміщення заготовки ε є різницею найбільшої і найменшої проєкцій зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру при направленні до заготовки сили закріплення. Для партії заготовок похибка закріплення дорівнює нулю, якщо величина усунення постійна; при цьому поле допуску виконуваного розміру не змінюється, його положення коригують налаштуванням верстата.

Відповідно до визначення

$$\Delta\varepsilon_{зак} = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha,$$

де α - кут між напрямком виконуваного розміру та напрямком зміщення вимірювальної бази.

Вираз у дужках є відстанню між граничними положеннями вимірювальної бази. Помножуючи його на $\cos \alpha$ отримуємо похибку закріплення для виконуваного розміру. Сила закріплення повинна надійно притискати заготовку до опор пристосування. При неправильній схемі закріплення, коли ця умова не забезпечується, часто відбувається поворот або усунення заготовки на значну величину від потрібного положення. Таке усунення викликається неправильною схемою установки. Так, при закріпленні в лещатах (рис. 1) Заготовка може повернутися навколо точки O з порушенням контакту її нижньої бази з опорою лещат.

Усунення вимірювальної бази заготовки відбувається в результаті деформації ланок ланцюга, через яку передається сила закріплення (*заготовка - настановні елементи - корпус пристосування*). З усього балансу переміщень у цьому ланцюзі найбільшу величину мають переміщення у стику *заготовка - настановні елементи*. Контактні деформації у постійних сполученнях пристосування, деформації стиснення заготовки та деталей пристосування малі.

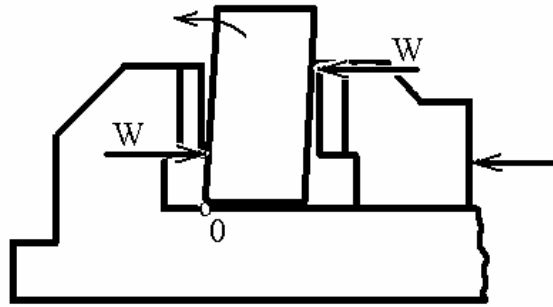


Рисунок 1 – Схема утворення похибки закріплення під час встановлення заготовки в лещатах

На рисунку 2 показано схему утворення похибки закріплення при послідовному впливі на заготовку затискних сил W_1 та W_2 . При дії сили W_1 та W_2 заготовка може зміститися вліво та вниз за рахунок контактних деформацій у стику "заготовка - настановний елемент". Під дією сили W_1 відбудеться зміщення проєкцій виконуваного розміру H , для B - не відбудеться. Під дією сили W_2 відповідно зміниться розмір B , а розмір H буде постійним.

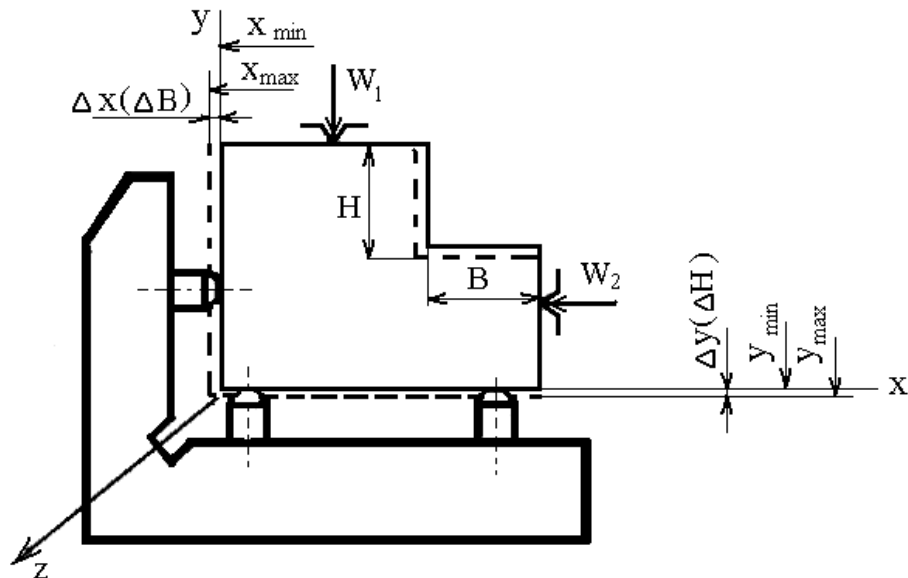


Рисунок 2 – Схема утворення похибки закріплення

На похибку значною мірою впливає напрямок дії затискної сили. Якщо кут $\alpha = 0$, $\cos(\alpha) = 1$, тобто, похибка закріплення буде максимальна ($\Delta \epsilon_{зак} H = \max$), якщо діє сила W_1 і ($\Delta \epsilon_{зак} B = \max$), якщо діє сила W_2 .

При $\alpha = 90$, $\cos(\alpha) = 0$ похибка закріплення дорівнює нулю. Тоді $\Delta \epsilon_{зак} B = 0$, якщо діє сила W_1 , а $\Delta \epsilon_{зак} H = 0$, якщо діє сила W_2 . Таким чином, необхідно прагнути того, щоб сила затиску була спрямована під $\alpha = 90$ до проєкції виконуваного розміру. За цієї умови похибка закріплення буде виключена ($\Delta \epsilon_{зак} = 0$).

При силовому замиканні сила затиску впливає безпосередньо на заготовку і через неї передається на установчі елементи і потім корпус пристосування. При достатній жорсткості заготовки та корпусу з цього балансу найбільші переміщення в стику *заготовка - настановні елементи*.

Залежність контактних деформацій для зазначених стиків пристосування виражається у загальному вигляді нелінійним законом

$$y = CW^n,$$

де W - сила, що припадає на опору ($n < 1$); C - коефіцієнт, що характеризує вид контакту, матеріал, шорсткість, структуру поверхневого шару настановного елемента.

Для типових випадків C та n знаходять експериментально. Аналітичне рішення контактної задачі важко, так як на поверхнях заготовки є мікро і макро нерівності, при зіткненні яких з настановними елементами виникають неправильні та випадково розташовані місця контакту. Наявність на цих поверхнях ливарної кірки або обезвуглецьового шару (у поковок), механічні властивості яких відмінні від глибинних шарів металу, створює особливі умови виникнення контактних деформацій. Величина їх зазвичай менша за глибину поверхневого шару.

Величина контактних деформацій (Δy) залежить від характеру дії сили затиску W та сталості коефіцієнта C (C та n – встановлюються експериментально для кожного конкретного випадку). Тоді похибку закріплення затискної сили можемо розглядати:

1. Як функцію непостійності затискної сили $\Delta \varepsilon_{зак} = f(W)$.

Тоді, при $C = \text{const}$ і $n = \text{const}$ підставляємо дані значення рівняння 1, отримаємо:

$$\Delta \varepsilon_{зак} f(W) = \frac{C}{W_{\max}^n - W_{\min}^n}.$$

Позначаємо $W_{\max}/W_{\min} = K$ приймаємо величину W_{cp} за розрахункову.

$$W_{cp} = 0,5(W_{\max} + W_{\min}),$$

Тоді
$$W_{\min} = \frac{2 \cdot W_{cp}}{K + 1}, \quad W_{\max} = \frac{2 \cdot K \cdot W_{cp}}{K + 1}.$$

Після перетворення отримуємо:

$$\Delta \varepsilon_{зак} f(W) = \frac{2^n C_{cp} \cdot W_{cp}^n \cdot (K - 1)^n \cdot \cos \alpha}{(K + 1)^n} \quad \text{або}$$

$$\Delta \varepsilon_{зак} f(W) = A^n \cdot C \cdot W_{cp}^n \cdot \cos \alpha + W,$$

де $A = \frac{2(K-1)}{(K+1)}$.

При використанні механізованих приводів затискних механізмів (пневматичних, гідравлічних, електромеханічних тощо) прямої дії спостерігається незначне коливання сили затиску. У цьому випадку $K = 1,0$ та $\Delta \varepsilon_{зак} = 0$. Для затискних пристроїв з ручним приводом спостерігається коливання сили затиску в межах $\pm 15\%$. $K = 1.3$

2. Як функцію непостійності коефіцієнта "С"

$$\Delta \varepsilon_{зак} = f(C),$$

при $W = \text{const}$ і $n = \text{const}$ $\Delta \varepsilon_{зак} f(C) = (C_{\max} - C_{\min}) \cdot W_{cp}^n \cdot \cos \alpha$.

Раніше зазначалося, що коефіцієнт "С" є комплексним та враховується дія кількох параметрів. Встановити аналітичну залежність кожного параметра окремо (які є випадковими величинами) неможливо.

Досвід показав, що розкид експериментальних точок, що характеризують величину переміщення при $W = \text{const}$, становить до $\pm 10\%$ від середнього значення.

Значить, можна записати

$$\Delta \varepsilon_{зак} f(C) = 0,2C_{cp} \cdot W_{cp}^n \cdot \cos \alpha .$$

При закріпленні заготовок у пристосуванні спостерігаються пружні сили, які викликають віджимання його вузлів, а також викликають зміщення заготовки. Внаслідок чого виникає додаткова складова похибка закріплення, така як $\Delta \varepsilon_{зак}(j)$ і визначається як функція непостійності сили затискання:

$$\Delta \varepsilon_{зак}(j) = A \cdot C_{cp} \cdot W_{cp}^n \cdot \cos \alpha .$$

Тоді повна похибка закріплення, вважаючи, що розподіл випадкових величин ($\Delta \varepsilon_{зак} f(W)$, $\Delta \varepsilon_{зак} f(j)$, $\Delta \varepsilon_{зак} f(C)$) підпорядковується нормальному закону, дорівнюватиме:

$$\Delta \varepsilon_{зак} = \sqrt{[\Delta \varepsilon_{зак} f(W) + \Delta \varepsilon_{зак} f(j)]^2 + \Delta \varepsilon_{зак} f(C)} .$$

З аналізу наведених виразів випливає, що $\varepsilon_{зак} = 0$ при використанні пристрою, що забезпечують велику силу затискання заготовок ($W = \text{const}$), однорідну якість і однорідність поверхневого шару базових поверхонь заготовок ($C = \text{const}$), підвищення жорсткості стиків і вузлів пристосування, що сприймають затискну силу і впливають при їх деформації на положення заготовки, що обробляється, а також у тому випадку, коли сила затиску спрямована перпендикулярно

до напрямку розміру, якій потрібно витримати ($\alpha = 90^\circ$).

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Лабораторне обладнання для виконання випробувань.
- 3.2. Головка вимірювальна важільно-зубчаста.
- 3.3. Набір зразків для проведення дослідів.
- 3.4. Набір зразків шорсткості поверхні.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки під час роботи на пневматичному стенді.
- 4.2. Вивчити конструкцію стенда лабораторного (рис. 3).

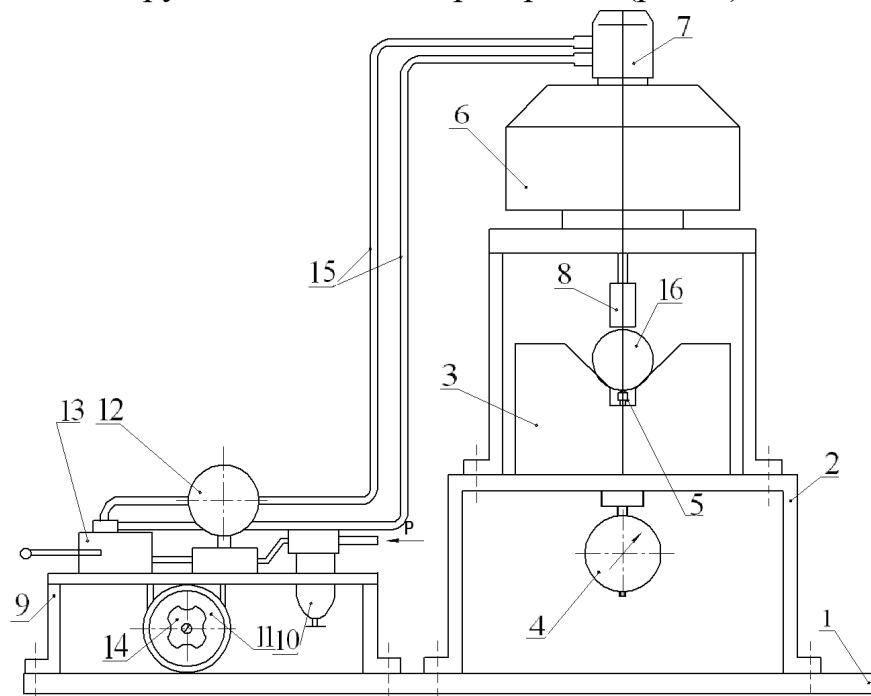


Рисунок 3 – Стенд лабораторний пневматичний

Стенд лабораторний складається з базової плити 1 з встановленими на ньому зварними корпусами 2 і 9. У корпусі 2 закріплений змінний настановний елемент 3 (на рисунку показана призма) і вимірювальний пристрій 4 з наконечником 5, що контактує зі зразком 16. Для створення зусилля затискача зразка 16 на корпусі 2 встановлено пневмоциліндр 6 з штовхачем 8. Стиснене повітря в пневмоциліндр подається трубопроводами 15 через муфту 7. На корпусі 9 зібраний блок управління стендом, що включає в себе фільтр 10, редукційний клапан 11, манометр 12 і кран 13.

- 4.3. Встановити та закріпити настановні опори.

4.4. Встановити на установочні опори заготовку та виставити індикатор із ціною поділу 0,001мм на «0».

4.5. За цієї схеми базування провести дослідження похибки закріплення за умови, що $C = \text{const}$, а $W \neq \text{const}$. Тиск повітря, що подається в пневмоциліндр, встановлювати через задані викладачем інтервали, використовуючи рукоятку 14 (див. рис. 3). Покази манометра 12 та вимірювального приладу 4 занести до таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати випробувань $\Delta\varepsilon_{\text{зак}} = f(W)$

№	Конструкція інсталяційного елемента								
	Призми			Настановні опори			Установчі планки		
	P , МПа	$W_{\text{рас}}$, Н	y , мкм	p , МПа	$W_{\text{рас}}$, Н	y , мкм	p , МПа	$W_{\text{рас}}$, Н	y , мкм
1									
...									
8									

4.6. Використовуючи цю схему базування виконати дослідження похибки закріплення за умови, що W та $n = \text{const}$. Попередньо, використовуючи зразки шорсткості, визначити класи шорсткості поверхні деталей, що встановлюються, виконаних з одного матеріалу. Встановити фіксований тиск повітря в пневмоциліндрі (задається викладачем) та по черзі виконати закріплення заготовок, фіксуючи величину їх зміщення при затиску. Дані експерименту записати до таблиці 2.

Розрахунок величини зусилля закріплення $W_{\text{рас}}$ (Н) зробити за наступною залежністю

$$W_{\text{рас}} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot p \cdot \eta}{4},$$

де d - діаметр пневмоциліндра, $d = 0,15$ м; p - тиск повітря у пневмомережі, МПа; η - к.п.д. пневмоприводу $\eta = 0.85$.

4.7. Зняти настановні опори та встановити настановні планки та закріпити їх.

4.8. Для нової схеми базування повторити дослідження згідно з пунктами 4.5 та 4.6, заповнити табл. 2 та 1.

4.9. Виконувати п.7 та провести заміну настановних планок на призму.

4.10. Використовуючи дану схему базування провести дослідження похибки закріплення згідно з п.4.6 та 4.5, заповнити таблиці 1 та 2.

Таблиця 2 - Результати випробувань $\Delta \varepsilon_{зак} = f(C)$

p , МПа =		Конструкція інсталяційного елемента		
$W_{рас}$, Н =		Призми	Настановні опори	Настановні планки
№	Rz , мкм	y , мкм	y , мкм	y , мкм

4.11. Побудувати експериментальні залежності переміщення для кожної схеми базування. Приклади графічних інтерпретацій результатів досліджень наведено рисунку 4.

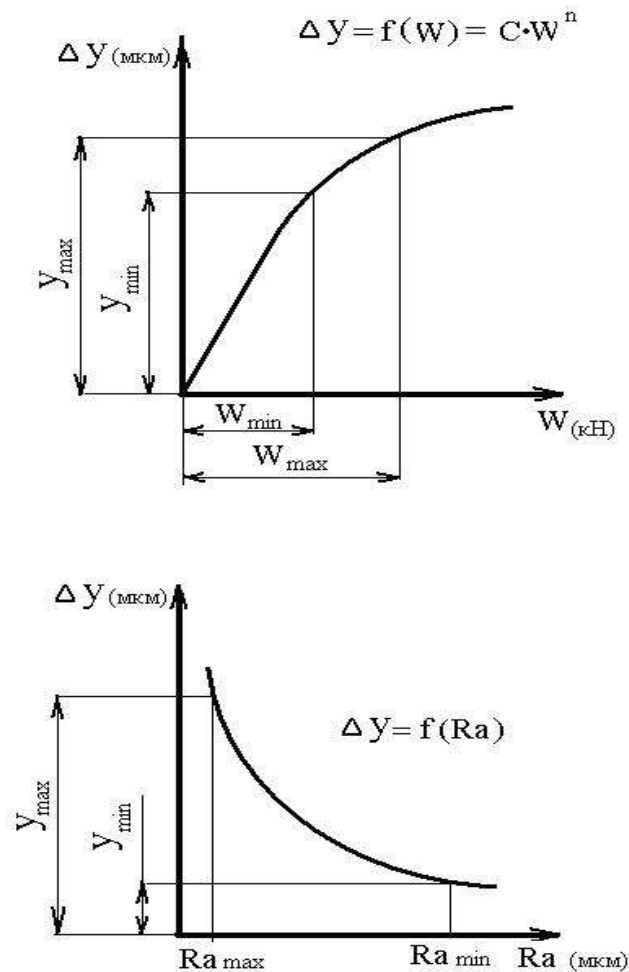


Рисунок 4 – Приклад графічної інтерпретації результатів досліджень

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Схеми базування під час проведення досліджень.
- 5.4. Результати розрахунків та експериментальні дані (таблиці 1, 2).
- 5.5. Графічна інтерпретація результатів досліджень.
- 5.6. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сформулюйте поняття «похибка закріплення».
2. Причини утворення похибки закріплення.
3. Як впливає на похибку закріплення жорсткість елементів технологічної системи?
4. Як впливає на похибку закріплення матеріал деталі?
5. Як впливає на похибку закріплення величина зусилля закріплення?
6. Як впливає на похибку закріплення шорсткість поверхні деталі?
7. Способи зниження величини похибки закріплення.
8. Оцініть рівень впливу похибки закріплення на загальну похибку механічної обробки.

Лабораторна робота №6. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ
ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК ЗОВНІШНІМИ
ЦИЛІНДРИЧНИМИ ПОВЕРХНЯМИ У ПРИЗМИ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: вивчення схеми базування при встановленні заготовок циліндричними поверхнями в призми та дослідження факторів, що впливають на похибку базування при встановленні заготовок циліндричними поверхнями в призми та ступеня впливу цих факторів на точність обробки.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Похибка базування є складовою похибки установки і виникає у тому випадку, якщо вимірювальна база не збігається (не є) одночасно настановною [1]. Похибка базування виникає внаслідок того, що положення вимірювальної бази для партії заготовок не залишається незмінним, а положення леза різального інструменту не коригується для обробки кожної заготовки окремо (метод обробки на налаштованих верстатах).

Похибка базування визначається розрахунковим методом, як найбільш можливе усунення вимірювальної бази через те, що розміри, які пов'язують установчу базу з вимірювальною, виконані з відхиленням.

Установка заготовок на зовнішню циліндричну поверхню і перпендикулярну до осі площину проводиться в опорні призми. Для заготовок діаметром 5...150 мм із обробленою поверхнею застосовують широкі опорні призми, для заготовок із необробленою поверхнею вузькі призми; при цьому в результаті локалізації контакту зменшується вплив макрогеометричних похибок баз заготовок на їхню стійкість у призмі.

У пристосуваннях знаходять застосування головним чином призми з кутом $\alpha = 90^\circ$. При обробці консольних частин заготовки використовують опори, що підводяться і самовстановлюються, у вигляді призматичних елементів. Призми виготовляють із сталі 20Х, застосовуючи цементацію на глибину 0,8...1,2 мм та загартування робочих поверхонь (HRC 55...60). Призми великих розмірів виконують із сірого чавуну з пригорнутими сталевими розпеченими щоками. Недолік такої конструкції – знижена жорсткість через наявність додаткових стиків.

Призми кріплять до корпусу пристосування гвинтами та фіксують контрольними штифтами. Нижню та бічні (робочі) поверхні призм шліфують до $Ra = 0,63...0,32$ мкм.

Гранично допустиме навантаження $W(H)$ на призму за умов контактної міцності можна визначити за формулою

$$W \leq \frac{b \cdot D \cdot [p]}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}},$$

де b - довжина лінії контакту заготовки з призмою, м; D - діаметр заготовки, м; α - кут розкидування призми; $[p]$ - допустимий питомий тиск на поверхні контакту заготовки та призми, МПа.

Похибки базування при встановленні в призму є функцією допуску на діаметр циліндричної поверхні заготовки та залежать від похибок її форми.

Нехай необхідно витримати розмір h від твірної A циліндра до площини зрізу Π (рис. 1,а). Похибка базування у разі (рис. 1,б).

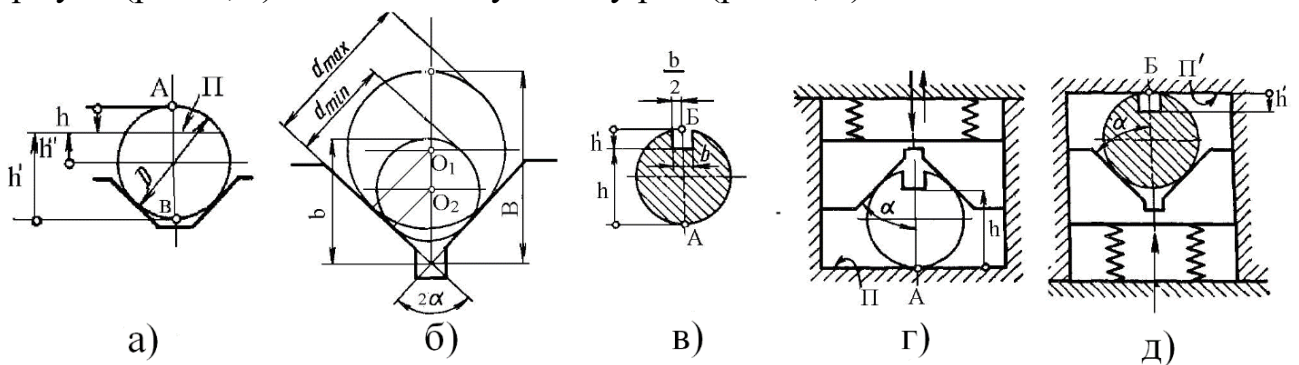


Рисунок 1 – Схеми визначення похибки установки деталей по зовнішньої циліндричної поверхні

У другому випадку потрібно витримати розмір h' (рис. 1,а) від утворюючий B до площині зрізу. Тут похибка базування буде (рис. 1,б):

$$\varepsilon'_{\text{баз}} = \left(\frac{d_{\max}}{2 \sin \alpha} - \frac{d_{\max}}{2} \right) - \left(\frac{d_{\min}}{2 \sin \alpha} - \frac{d_{\min}}{2} \right) = \frac{\delta}{2 \sin \alpha} (1 - \sin \alpha)$$

У третьому випадку треба витримати розмір h'' (рис. 1,а) від центру деталі до площини зрізу. Тут похибка базування буде (рис. 1,б):

$$\varepsilon''_{\text{баз}} = \frac{d_{\max}}{2 \sin \alpha} - \frac{d_{\min}}{2 \sin \alpha} = \frac{\delta}{2 \sin \alpha}.$$

Якщо кут $\alpha = 45^\circ$ отримаємо такі значення похибок базування для розглянутих випадків:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = \frac{\delta}{2 \sin 45^\circ} (\sin 45^\circ + 1) = 1,2\delta,$$

$$\varepsilon'_{\text{баз}} = \frac{\delta}{2 \sin 45^\circ} (1 - \sin 45^\circ) = 0,21\delta,$$

$$\varepsilon''_{\delta az} = \frac{\delta}{2 \sin 45^\circ} = 0,71\delta .$$

Значення $\varepsilon'_{\delta az} = 0$ підтверджує положення про те, що при виборі вихідної поверхні в якості настановної можна уникнути похибки базування. Отже, у першому з розглянутих випадків установку доцільно здійснювати, як у другому, на площину, але не від твірної **B**, а від твірної **A**. У третьому випадку деталь слід встановлювати в центрах.

Однак встановлювати циліндричну деталь на площину не можна в тих випадках, коли положення оброблюваної поверхні повинно витримуватися точно не тільки від циліндра, що утворює, але і від осі симетрії поперечного перерізу циліндра, наприклад при обробці шпонкового паза (рис.1,в), розташованого в площині симетрії валу на певній відстані **h** від твірної **A** або **h'** від твірної **B**.

У цих випадках, крім настановної площини **II** (рис.1г) або площини **II'** (рис.1д), що визначають положення дна паза щодо утворюють **A** або **B**, необхідно використовувати рухому призму з будь-яким кутом α , яка «вловлювала» би площину симетрії циліндра, не порушуючи положення валика на площині. Установка циліндра у центрах забезпечує правильне положення пазу без застосування рухомої призми.

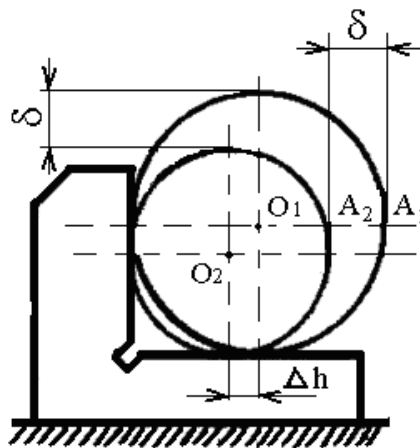


Рисунок 2 – Схема утворення похибки базування під час встановлення деталі в «координатний кут»

Встановлення деталі в «координатний кут» (рис. 2) тобто в призму, одна з робочих площин якої розташована горизонтально, а друга вертикально, може бути використана тільки для обробки таких поверхонь циліндричних деталей, положення яких не пов'язане з певними розмірами з віссю циліндра або площиною його симетрії (підрізання торців, відрізання тощо).

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Базова плита
- 3.2. Настановна призма з кутом розкриття $\alpha = 90^{\circ}$.
- 3.3. Настановна призма з кутом розкриття $\alpha = 120^{\circ}$.
- 3.4. Штатив індикаторний.
- 3.5. Індикатор вартового типу.
- 3.6. Мікрометр МК 0 – 25.
- 3.7. Мікрометр МК 25 – 50.
- 3.8. Набір зразків для проведення досліджень – 2 комплекти.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Зібрати лабораторну установку (див. рис. 3). На плиту 1 встановити призму 4 з кутом розкриття $\alpha = 120^{\circ}$, призму 5 з кутом розкриття $\alpha = 90^{\circ}$, індикаторні штативи 3. В утримувачі штативів закріпити індикатори годинного типу 2.

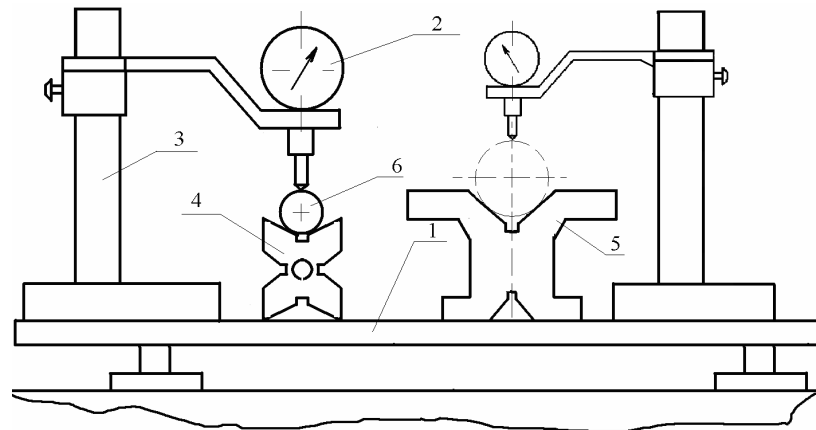


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки

4.2. За допомогою мікрометра заміряти зовнішні діаметри зразків і внести значення до граф таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати виконаних вимірів

№	d , мм	Показання індикатора, мм $\Delta h' (\alpha = 90^{\circ})$	Показання індикатора, мм $\Delta h'' (\alpha = 120^{\circ})$	$\Delta h' - \Delta h''$, мм	Розрахункові значення $\epsilon_{\text{баз}}$, мм	
					$\alpha = 90^{\circ}$	$\alpha = 120^{\circ}$
1.						
2.						
3.						
4.						

4.3. У кожній групі зразків вибрати зразок з найменшим діаметром для використання його як зразок налаштування.

4.4. Використовуючи вибраний зразок, налаштувати індикатори на «0».

4.5. По черзі встановити зразки в призму з кутом нахилу $\alpha=90^0$ а потім у призму з кутом нахилу $\alpha=120^0$ і за допомогою індикаторів виміряти відхилення. Отримані значення відхилень $\Delta h'$, $\Delta h''$ внести до граф таблиці 1.

4.6. Визначити розкид величини $\Delta h'$, $\Delta h''$ і результати внести до таблиці 1.

4.7. Розрахувати теоретичну величину похибки базування за умови базування заготовок у призми з кутами $\alpha=90^0$ та $\alpha=120^0$ для груп зразків та результати внести до таблиці.

4.8. За даними таблиці побудувати графіки залежності похибки базування від точності виготовлення валиків та кута нахилу призми.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Схеми базування під час проведення досліджень.

5.4. Результати розрахунків та експериментальні дані (таблиця 1).

5.5. Графічна інтерпретація результатів досліджень.

5.6. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сформулюйте поняття «похибка базування».

2. Яка область застосування призматичних настановних елементів технологічного оснащення?

3. Які є види призматичних настановних елементів технологічного оснащення?

4. Які є технічні вимоги до призматичних настановних елементів технологічного оснащення?

5. Які причини утворення похибки базування під час встановлення деталей на призматичні настановні елементи технологічного оснащення?

6. Які є методи зниження величини похибки базування?

7. Оцініть рівень впливу похибки базування на загальну похибку механічної обробки.

Лабораторна робота №7. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК НА ДВА ЦИЛІНДРИЧНІ ОТВОРИ ТА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНУ ЇМ ПЛОЩИНУ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: вивчення схеми базування заготовок у пристосуванні на площину і два пальці та дослідження основних факторів, що впливають на утворення похибки базування.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Установка заготовки на два циліндричні отвори з паралельними осями та перпендикулярну до них площину використовується при обробці деталей типу корпусів, плит та картерів [1]. Переваги такої схеми базування: простота конструкції пристосування, можливість дотримання сталості баз більшості операцій технологічного процесу, а також проста передача і фіксація заготовок на потокових і автоматичних лініях. У порівнянні з установкою на шість точок ця схема забезпечує більшу доступність різального інструменту до заготовки, що обробляється. Заготовка закріплюється направленням сили затиску перпендикулярно до базової площини. Така установка найбільш придатна для заготовок, що мають великі розміри базової площини, або можна порівняти їх висотою заготовки. Базову площину заготовки піддають чистовій обробці, а отвори розгортають із точністю H8...H7. Настановними елементами служать опорні пластини і два жорсткі або висувні пальці. Висувні пальці застосовують переважно при автоматизованій обробці. Найбільш поширені конструкції настановних пальців наведені на рисунку 1. Настановні пальці повинні мати підвищену зносостійкість, довго зберігати свої розміри і відносне положення. Їх виготовляють із вуглецевих та легованих сталей (У7, У8, У10А, 65Г та ін.) з термообробкою до твердості HRC 56...61 або з конструкційних сталей (15ХН, 20, 20Х та ін.) з цементацією на глибину 0,8...1.2. мм з наступним загартуванням до тієї ж твердості. У ряді випадків їх армують твердим сплавом. Шорсткість робочих поверхонь повинна відповідати $Ra = 1.25...0.32$ мкм. Точність обробки робочих поверхонь 7...8 квалітет. При масі заготовки до 5 кг діаметр пальця зазвичай вбирається у 6 мм, при 15 кг - 10 мм, при 45 кг - 12 мм, при 120 кг - 16 мм і за більшої масі - 20 мм.

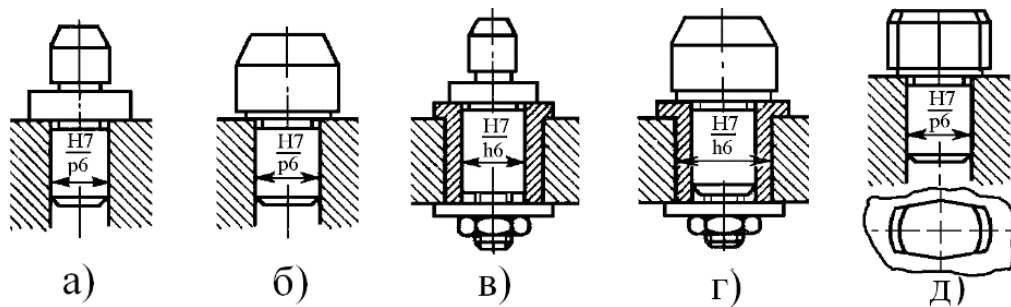


Рисунок 1 – Настановні пальці: а, б – постійні; в, г – змінні; д – зрізаний

Схема установки деталі на пальцях показана рисунку 2,а. Заготовку 1 ставлять на пластини 2. Палець 3 виконують циліндричної, а палець 1 - зрізаної (ромбічної) форми. Зважаючи на наявність допуску δ на відстань L між осями базових отворів одне з них (рис. 2,б) може займати при встановленні партії заготовок два граничні положення. Вочевидь, що область, утворена перетином двох кіл a і b , відноситься до всіх заготовок даної партії. Якщо правий палець виконати циліндричним, його діаметр повинен бути $d - \delta$; у цьому випадку можливе похитування заготовки на лівому пальці від середнього положення на величину $\delta/2$. Більше доцільна ромбічна (зрізана) форма пальця (рис. 2,в); конструктивне її виконують із циліндричною стрічкою шириною $2e$. Величина похитування заготовки при цьому:

$$x = r - r_1,$$

де r_1 та r - радіуси стрічки і отвори відповідно.

З трикутника LKO

$$r = \sqrt{a^2 + e^2}.$$

Величину a , рівну відрізку On , знаходимо з трикутника OnK

$$a = \sqrt{r^2 - \left(\frac{\delta}{2} - e\right)^2}.$$

Після перетворень та відкидання величин другого порядку малості отримаємо значення x значно менше $\delta/2$

$$x = r - \sqrt{r^2 - \delta \cdot e}.$$

З трикутників Okn та Onn (рис. 2,в) знайдемо ширину стрічки

$$r^2 - (c + e)^2 = (r - \Delta)^2 - e^2,$$

де Δ - зазор між ромбічним пальцем та отвором. Звідси:

$$e = \frac{2 \cdot r \cdot \Delta - \Delta^2 - c^2}{2c}.$$

Підставляючи d замість $2r$ і приймаючи по малості $\Delta^2=0$, отримаємо

$$2e = \frac{d \cdot \Delta'}{2c} - c ,$$

де $\Delta' = 2\Delta$ - діаметральний зазор; $2c = \delta + \delta' - 2\Delta_I$; δ, δ' - допуски на розмір L відповідно заготовки та пристосування; $2\Delta_I$ - діаметральний зазор при посадці заготовки на циліндричний палець. При від'ємній величині $2c$ ромбічний палець роблять циліндричним.

Зміщення заготовки від її середнього положення в напрямках, перпендикулярних до осі циліндричного пальця, визначаються мінімальним радіальним зазором I , допуском I на діаметр базового отвору, допуском на діаметр пальця I_1 ; допуском на його знос I_1 .

Найменше усунення: $X_{Imin} = \Delta_I$, а найбільше:

$$X_{Imax} = \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta'_1}{2} + \frac{\delta_{1u}}{2} .$$

За величинами зміщень знаходять похибку установки для виконуваних розмірів (похибка закріплення дорівнює нулю).

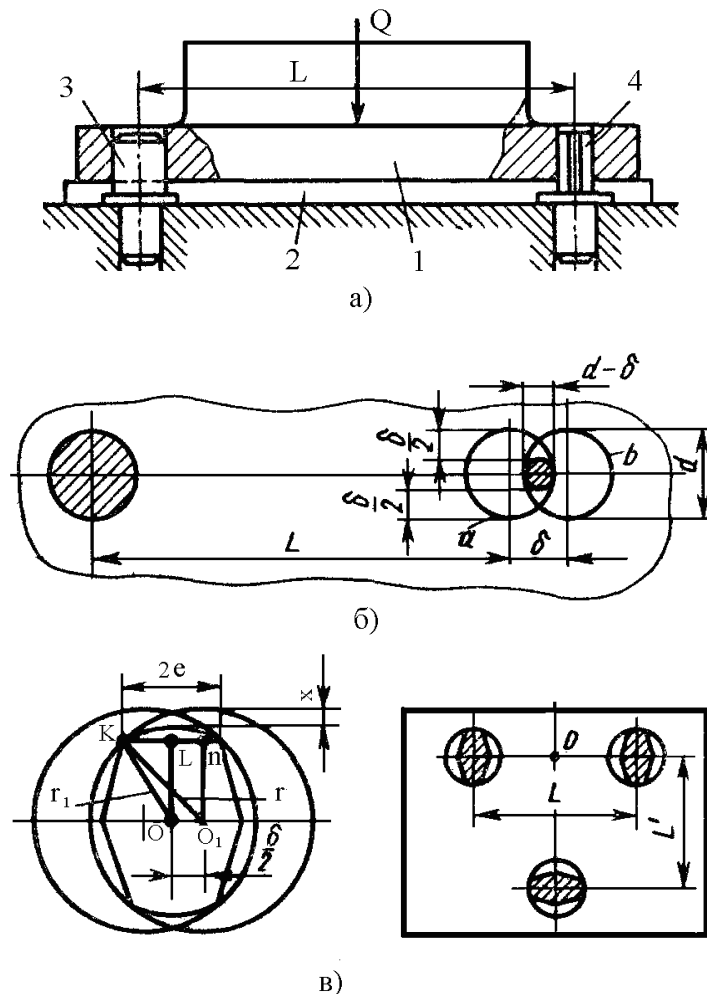


Рисунок 2 – Схема встановлення заготовки базовими отворами на пальці

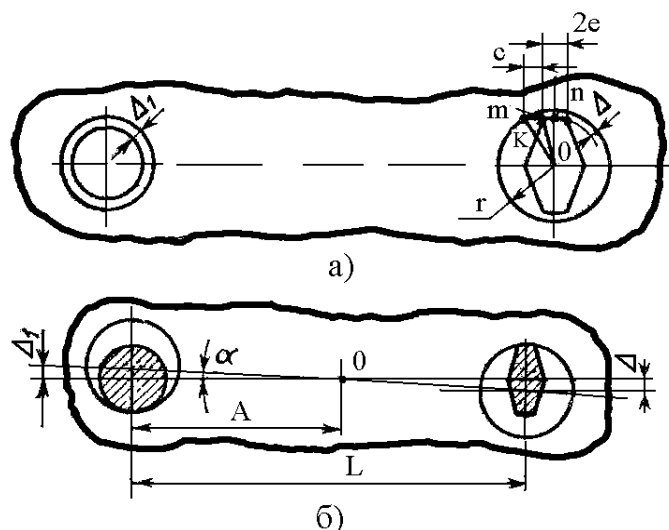


Рисунок 3 – Схема для розрахунку ширини стрічки ромбічного пальця (а) та величини похибки (б)

Найбільший кут повороту із заготовки (рис. 3,б) від її середнього положення можна знайти за формулою

$$\sin \alpha \approx \frac{\Delta_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1'}{2} + \Delta + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_2'}{2} + \frac{\delta_{1u}}{2} + \frac{\delta_{2u}}{2}}{L},$$

де L - відстань між осями базових отворів; Δ - мінімальний радіальний зазор при посадці на зрізаний палець (визначається зазором рис. 3,б); δ_2 - допуск на діаметр отвору під зрізаний палець; δ_2' - допуск на діаметр стрічки зрізаного пальця; δ_{2i} - допуск на зношування зрізаного пальця.

Відстань центру повороту від осі циліндричного пальця

$$A = \frac{\Delta_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1'}{2} + \frac{\delta_{1u}}{2}}{\Delta_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_1'}{2} + \frac{\delta_{1u}}{2} + \Delta + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_2'}{2} + \frac{\delta_{2u}}{2}} L .$$

Для зменшення кута α (див. рис. 3,б) відстань L слід брати найбільшою. При прямокутній у плані базової площині базові отвори розташовують на кінцях її діагоналі. Така схема використовується для базування по необробленим поверхням заготовки при зміні конструкції опор. На рисунку 4 показана схема установки вилки блоку циліндрів автомобільного двигуна на два крайні отвори під циліндри та на торцеву площину для фрезерування базових майданчиків 1. Заготовку насаджують на дві консольні оправки з висувними центруючими - затискними опорами. Права оправка має шість опор, що одночасно розсуваються в радіальних напрямках.

Опори розташовані у двох паралельних площинах, перпендикулярних до осі

оправлення. Ліва оправка несе дві вертикально розсунві опори. Базування по довжині забезпечується упором блоку до нерухокої опори 2 пристосування. Схема установки повністю орієнтує блок у просторі. Застосовуючи цю схему під час виконання першої технологічної операції, створюють постійні базові поверхні для подальшої обробки.

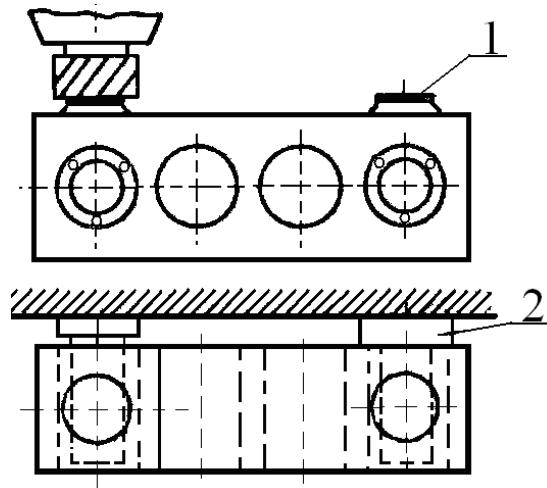


Рисунок 4 – Схема встановлення корпусної деталі на два необроблені отвори з паралельними осями.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Стенд лабораторний.
- 3.2. Індикатори вартового типу.
- 3.3. Мікрометр МК 0 – 25.
- 3.4. Нутромір індикаторний.
- 3.5. Штангенциркуль.
- 3.6. Заготовки.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади та зібрати лабораторний стенд. Лабораторний стенд (рис. 5) складається з плити 1 із запресованим циліндричним пальцем 2 і двома ромбічними пальцями 3. До плити 1 за допомогою гвинтів кріпляться три індикаторні стійки 8. Регулювальні гвинти 9 з контргайками 10 служать для установки пристосування горизонтально. Індикатори 4, 6, 7 служать для визначення зміщення заготовки щодо циліндричного і зрізаних пальців.

4.2. Виміряти діаметри отворів у заготовках D_1 , D_2 , D_3 .

4.3. Виміряти діаметри настановних пальців d_1, d_2, d_3 . Для кожної деталі розрахувати радіальні зазори у посадках $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ та занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані та результати розрахунків

№	$\Delta_1 = \frac{D_1 - d_1}{2}, \text{ мм}$	$\Delta_2 = \frac{D_2 - d_2}{2}, \text{ мм}$	$\Delta_3 = \frac{D_3 - d_3}{2}, \text{ мм}$
1			
.....			
5			
6			

4.4. По черзі встановити заготовки у пристосуванні, базуючи по отворах з міжцентровою відстанню $L = 60 \pm 0,1$ мм., а потім $L = 120 \pm 0,1$ мм.

4.5. За індикатором 4 визначити зміщення $\Delta_{1екс}$ заготовок щодо циліндричного пальця.

4.6. За індикатором 6 визначити зміщення $\Delta_{2екс}$ заготовок щодо зрізаного пальця.

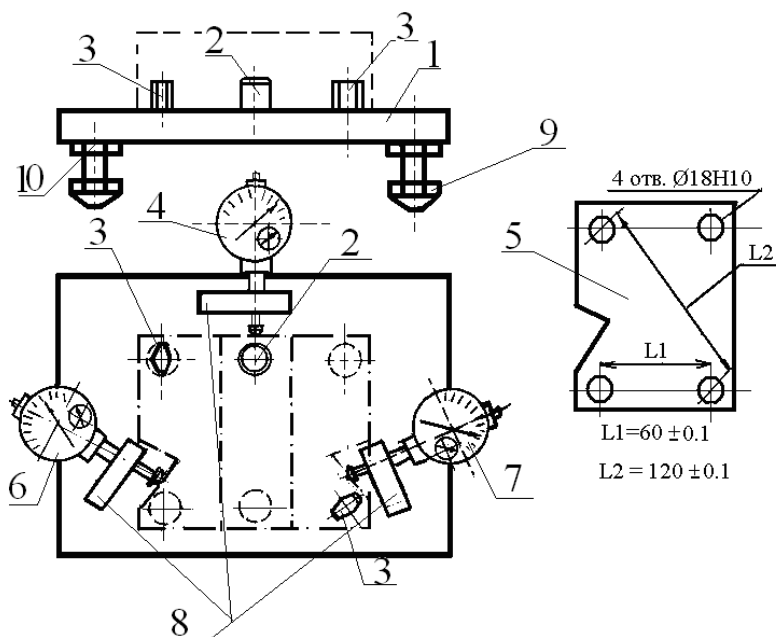


Рисунок 5 – Стенд лабораторний

4.7. За формулою $\text{tg} \alpha_{1екс} = \frac{\Delta_{1екс} + \Delta_{2екс}}{L_1}$ визначити експериментальний кут повороту ($\Delta_{1екс}, \Delta_{2екс}$ – показання індикаторів 4, 6; L_1 – міжцентрова відстань). Значення $\alpha_{1р}$ визначити за формулою, наведеною в теоретичній частині.

Таблиця 2 – Експериментальні дані та результати розрахунків

№	L ₁ = 60мм						L ₂ = 120мм					
	Δ _{1екс} , мм	Δ _{2екс} , мм	α _{1екс} , мм	α _{1р} , мм	X _{1max експ} , мм	X _{1maxр} , мм	Δ _{1екс} , мм	Δ _{3екс} , мм	α _{2екс} , мм	α _{2р} , мм	X _{2max експ} , мм	X _{2maxр} , мм
1												
2												

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Схеми базування під час проведення досліджень.
- 5.4. Результати розрахунків та експериментальні дані (таблиці 1, 2).
- 5.5. Аналіз отриманих даних та висновки по роботі.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сформулюйте поняття «похибка базування».
2. Яка область застосування настановних пальців у технологічному оснащенні?
3. Які є види настановних пальців технологічного оснащення?
4. Технічні вимоги до настановних пальців технологічного оснащення.
5. Які причини утворення похибки базування при встановленні деталей на два циліндричні отвори з паралельними осями та перпендикулярну до них площину?
6. Які є способи зниження величини похибки базування при встановленні деталей на два циліндричні отвори з паралельними осями і перпендикулярну до них площину?
7. Які чинники визначають ширину стрічки зрізаного настановного пальця?
8. Які чинники визначають найбільший кут повороту заготовки при встановленні деталей на два циліндричні отвори з паралельними осями та перпендикулярну до них площину?

Лабораторна робота №8. **ВИЗНАЧЕННЯ НОРМИ ЧАСУ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ**

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: закріпити практично теоретичні знання з технічного нормування; вивчити структуру норми часу, методи та порядок визначення норм часу; розрахувати норму часу на технологічні операції обробки деталі на металорізальних верстатах.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Технологічна операція як складова частина технологічного процесу у свою чергу складається з великої кількості елементів (переходів, позицій та ін.). Всі ці елементи пов'язані між собою як логічними, так і фізичними (просторовими, тимчасовими, матеріальними) зв'язками. Мета нормування - встановлення технічно обґрунтованої норми часу на операцію, аналіз можливості зменшення часу на операцію та, відповідно, підвищення ефективності виробництва.

Під технічним нормуванням розуміють встановлення норми часу виконання певної роботи або норми виробітку в штуках в одиницю часу. Величина витрат часу на виготовлення тієї чи іншої продукції за її належної якості є одним з основних критеріїв для оцінки досконалості технологічного процесу, планування в цеху та на підприємстві, розрахунку з виробничими робітниками. У машинобудуванні норма часу зазвичай встановлюється на технологічну операцію.

Технічна норма часу - регламентований час виконання конкретної операції за певних організаційно-технічних умов і найефективнішому використанні всіх засобів виробництва.

Існує три методи нормування:

1. Метод аналітичного розрахунку норм часу із використанням нормативів. У цьому методі технологічна операція розкладається на елементи. Кожен з елементів піддається аналізу з метою виключення зайвих невиробничих дій, скорочення шляху всіх рухів рук, ніг і корпусу робітника і т. д. Визначаються елементи операції, що перекриваються іншими елементами. Потім для елементів, що не перекриваються, проводиться розрахунок їх тривалості за формулами або точними нормативами. Даний метод застосовується у масовому, багатосерійному та середньосерійному виробництві.

2. Дослідно-статистичний метод нормування. При цьому методі норма часу встановлюється на всю операцію в цілому шляхом порівняння з типовими нормами і фактичною трудомісткістю виконання в минулому аналогічної роботи.

Для цього розроблені укрупнені норми часу на типові операції. Даний метод застосовується в одиничному та дрібносерійному виробництві.

3. Метод визначення норм часу з урахуванням вивчення витрат робочого дня завдяки спостереженню (хронометраж, фотографія робочого дня). Даний метод проводиться безпосередньо на робочому місці і призначений для вивчення та узагальнення передових прийомів праці, а також розробки нормативів, що використовуються при першому методі.

Метод аналітичного розрахунку технічної норми часу.

В результаті розрахунків визначається норма штучно-калькуляційного часу на технологічну операцію:

$$T_{шт.к} = T_{шт.} + \frac{T_{п.з.}}{n},$$

де $T_{шт.}$ - штучний час, хв; $T_{п.з.}$ - підготовчо-заключний час на партію деталей, хв; n - партія запуску, шт.

Підготовчо-заключний час $T_{п.з.}$ витрачається на підготовку робітників та засобів виробництва до виконання технологічної операції та приведення їх у початковий стан після її закінчення. Підготовчо-заключний час включає:

- час на ознайомлення робітника з роботою, кресленням, технологічною документацією, вивчення інструктажу;
- час на отримання матеріалів, інструментів, пристосувань, налагодження устаткування;
- час на пробну обробку деталей (на верстатах з автоматичним циклом);
- час на зняття інструментів та пристроїв після закінчення обробки партії деталей;
- час на здачу готової продукції, інструментів, пристроїв, документації.

Підготовчо-заключний час витрачається раз на всю партію n оброблюваних виробів, і залежить від кількості виробів у партії. Норму підготовчо-заключного часу визначають за нормативами.

В умовах масового та багатосерійного виробництва підготовку робочого місця проводять до початку робіт наладчики, її виконують допоміжні робітники, тому підготовчо-заключний час у норму часу верстатника не входить, тобто для даних типів виробництва:

$$T_{шт.к.} = T_{шт.}$$

Штучний час - це час виготовлення одного виробу на цій технологічній операції. Норма штучного часу при технічному нормуванні визначається за формулою:

$$T_{шт} = \sum_{i=1}^k T_{осн_i} + \sum_{j=1}^m T_{всп_j} + T_{обсл.} + T_{отд.},$$

де $T_{осн_i}$ - основний час на i -тий основний перехід, хв; k - число основних переходів в операції, що перекриваються, шт; $T_{всп_j}$ - допоміжний час на j -тий перехід, хв; m - число переходів, що не перекриваються в операції, на які витрачається допоміжний час, шт; $T_{обсл.}$ - час обслуговування робочого місця, хв; $T_{отд.}$ - час на особисті потреби робітника, хв.

У норму штучного часу не включається витрати часу на роботи, що перекриваються іншими роботами (наприклад, при паралельній обробці поверхонь декількома інструментами в розрахунках враховується час для най тривалішого переходу) або часом автоматичної роботи обладнання (наприклад, автоматичний контроль у процесі обробки).

Основний (машинний, технологічний) час $T_{осн_i}$ - це частина штучного часу, що витрачається на зміну або подальше керування станом об'єкту обробки, визначається за формулою (для точіння):

$$T_{осн_i} = \frac{L}{n \cdot S},$$

де L - довжина оброблюваної поверхні, з недобігом та перебігом, мм; n - частота обертання шпинделя, об/хв; S - подача інструменту, мм/об.

Якщо процес управління верстатом здійснюється робочим вручну, то цей час буде машинно-ручним; якщо процес відбувається автоматично без безпосередньої участі людини - машинно-автоматичним.

В основний час входить:

- час на врізання та перебіг різального інструменту;
- час на безпосередній вплив на поверхню, що обробляється;
- час на зворотний хід (для протяжних, різьбонарізних та інших верстатів);
- час на прохід інструмента під час зняття пробних стружок.

Формули визначення основного часу при різних видах робіт наведено у літературі; величини врізання, перебігів, проходів при пробних стружках – у нормативах.

Допоміжний час $T_{всп_j}$ - частина штучного часу, що витрачається на виконання прийомів, які необхідні для забезпечення зміни і наступного визначення стану предметів праці.

У допоміжний час входить:

- час на встановлення та зняття заготовки у пристосуванні;

- час на керування верстатом (пуск, зупинка, зміна режимів обробки тощо);
- час на переміщення інструменту;
- час на прийоми виміру деталі.

Допоміжний час може бути ручним, машинним або машинно-ручним. Складові допоміжного часу визначаються за нормативами.

Сума основного та допоміжного часу на операцію називається оперативним часом:

$$T_{on} = \sum_{i=1}^k T_{осн_i} + \sum_{j=1}^m T_{всп_j} .$$

Час обслуговування робочого місця $T_{обсл}$ - частина штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримку засобів технічного оснащення у працездатному стані і догляд за ними та робочим місцем. Час обслуговування робочого місця поділяється на час технічного обслуговування $T_{тех.обсл}$ та час організаційного обслуговування $T_{орг.обсл}$.

Час технічного обслуговування робочого місця $T_{тех.обсл}$ витрачається робітником на догляд за робочим місцем протягом зміни і включає:

- час на зміну інструменту, що затупився;
- час на редагування інструменту в процесі роботи;
- час на видалення стружки у процесі роботи.

Час технічного обслуговування робочого місця визначається за спеціальними формулами. Час організаційного обслуговування робочого місця визначається за нормативами у відсотках від оперативного часу.

У серійному виробництві визначається сумарний час обслуговування робочого місця за нормативами у відсотках оперативного часу.

Час на особисті потреби $T_{омд}$ - частина штучного часу, що витрачається робітником на особисті потреби та, при стомлюючих роботах, на додатковий відпочинок. Він визначається за нормативами у відсотках від оперативного часу.

Величина партії запуску визначається за формулою:

$$n = K \cdot \frac{\sum_{i=1}^p T_{n.з.}}{\sum_{i=1}^p T_{ум.}}$$

де p - число операцій у технологічному процесі, од.; K - коефіцієнт ($K=10$ для дрібносерійного виробництва, $K=20$ для середньосерійного виробництва, $K=30$ для багатосерійного виробництва).

Норма виробітку - регламентована кількість виробів, яка має бути оброблена в задану одиницю часу. Наприклад, норма виробітку за годину визначається за формулою

$$N_{\text{час}} = \frac{60}{T_{\text{шт}}}$$

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Верстат токарно-гвинторізний.
- 3.2. Верстат вертикально-фрезерний.
- 3.3. Верстат вертикально-свердлильний.
- 3.4. Металорізальний інструмент.
- 3.5. Штангенциркуль.
- 3.6. Секундомір.
- 3.7. Заготовки.
- 3.8. Набір технологічного оснащення для обробки деталей.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Згідно з операційним технологічним процесом визначити підготовчо-заключний час на партію деталей для кожної операції (в умовах серійного виробництва).

- 4.2. Розрахувати основний час для кожного технологічного переходу.
- 4.3. Визначити складові допоміжного часу (додаток 1).
- 4.4. Визначити час на кожну операцію.
- 4.5. Розрахувати час обслуговування робочого місця (додаток 1).
- 4.6. Розрахувати час на особисті потреби (додаток 1).
- 4.7. Визначити норми штучного часу на кожну технологічну операцію.
- 4.8. Визначте величину партії запуску.
- 4.9. Визначити норму підготовчо-заключного часу на кожну технологічну операцію (додаток 1).
- 4.9. Розрахувати норму штучно-калькуляційного часу на кожну технологічну операцію.
- 4.10. Зробити обробку заготовки згідно з операційним технологічним процесом. Виконати триразовий хронометраж часу, що витрачається на технологічні та допоміжні переходи для кожної операції. Результати хронометражу занести до таблиці 1.
- 4.11. Порівняти норми часу, визначені розрахунковим методом та методом

хронометражу. Визначити трудомісткість виготовлення деталі, підсумовуючи технологічні норми часу кожної операції технологічного процесу. Визначити норму виробітку на годину. Зробити висновки щодо роботи.

Таблиця 1 - Нормування технологічних операцій

Найменування операції та її елементи	Складові штучного часу						$T_{шт}$, хв	Результати хронометражу	
	$T_{осп}$, хв	$T_{всп}$, хв	$T_{обсл}$		$T_{відд}$			$T_{осп}$, хв	$T_{всп}$, хв
			%	хв	%	хв			
005									
010									
015									
...									

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Розрахунок елементів норм часу.
- 5.3. Таблиця з результатами розрахунків та хронометражу (таблиця 1).
- 5.4. Розрахунок норм штучно-калькуляційного часу.
- 5.5. Розрахунок трудомісткості виготовлення деталі та норми виробітку.
- 5.6. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. З якою метою проводиться нормування операцій та технологічного процесу?
2. Які методи визначення норм часу ви знаєте?
3. Які складові входять до норми штучного часу?
4. Що таке норма попереднього часу?
5. Як зменшити норму часу на операцію?

Лабораторна робота №9. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЛІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення з конструкцією токарно-гвинторізних верстатів та технологічними можливостями токарного обладнання в процесі обробки деталей типу валів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Токарна обробка є складним фізичним процесом видалення припуску за рахунок стружкоутворення з поверхні заготовки, що обробляється, при якому виникають пружні і пластичні деформації, процес супроводжується великим тертям, тепловиділенням тощо. У загальному парку металорізального обладнання токарні верстати становлять близько 35%, тому токарні різці є найпоширенішим і найпростішим видом різального інструменту. Токарні верстати призначені для отримання на деталях циліндричних, конічних, гвинтових, фасонних та плоских (торцевих) поверхонь. На цьому обладнанні виконують обточування зовнішніх та розточування внутрішніх поверхонь, підрізання торців, відрізання, свердління, зенкерування та розгортання центральних отворів, нарізування різьблення на заготовках та інші види робіт. При цьому забезпечується точність розмірів не вище 6...8 квалітету та шорсткість поверхонь з параметром $Ra \geq 1,25$ мкм (для звичайних токарних робіт, не тонкого точіння). Під дією різального інструменту оброблена заготовка набуває заданої конфігурації, розмірів і якісних характеристик поверхневого шару.

На заготовці розрізняють такі поверхні (рис. 1):

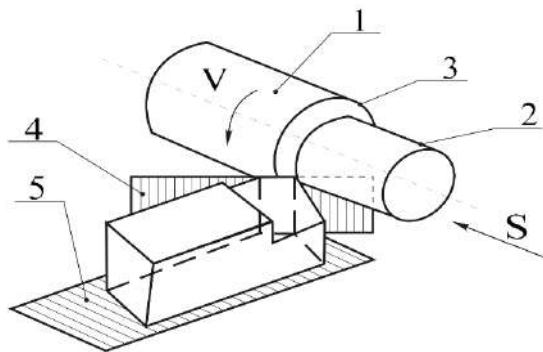


Рисунок 1 – Поверхні оброблюваної заготовки:

1 - поверхня, що обробляється і яка буде видалена; 2 - оброблена поверхня - поверхня, отримана після зняття стружки; 3 - поверхня різання – поверхня, що утворюється на оброблюваній заготовці безпосередньо різальною кромкою різця; 4 - площина різання; 5 - основна площина – площина, паралельна поздовжній та поперечній подачам.

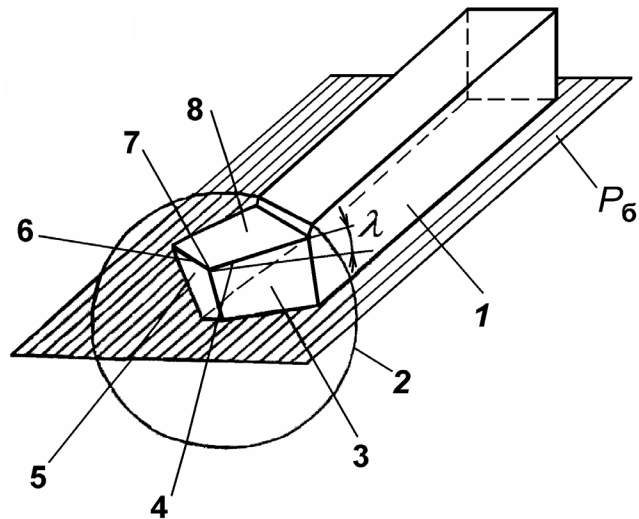


Рисунок 2 – Прямий прохідний токарний різець

Як інструменти для токарної обробки використовуються токарні різці (рис.2). Вони використовуються для отримання заготовок деталей з циліндричними, конічними, фасонними і торцевими поверхнями, що утворюються в результаті обертання заготовки зі швидкістю V і переміщення різця за один оборот заготовки на S .

Різець складається з різальної частини (різального леза) 2 та стрижня 1. Стрижень служить для закріплення різця на верстаті. На ньому виділяють площину P_δ , яка використовується як настановна поверхня при виготовленні різця та закріпленні його в різцетримачі верстата.

На різальній частині різця розрізняють такі конструктивні елементи: передню поверхню 8, за якою при різанні сходить стружка; головну задню поверхню 3, що контактує з поверхнею різання; допоміжну задню поверхню 5, звернену до обробленої поверхні заготовки; головну різальну кромку 4, утворену перетином передньої та головної задньої поверхонь різальної частини різця; допоміжну різальну кромку 6, утворену перетином передньої та допоміжної задньої поверхонь; вершину різця 7 - місце перетину головної та допоміжної різальних кромок.

Міцність, знос, стійкість, а загалом працездатність різця, залежать від розташування поверхонь і кромок леза щодо один одного та заготовки. Це розташування прийнято визначати кутами їх нахилу.

У головній січній площині P_τ визначають передній кут γ_s , головний задній кут α_c і кут загострення β_c .

Головний задній кут α_c – кут у головній січній площині $P_{\tau c}$ між головною задньою поверхнею різальної частини різця та площиною різання. Він служить

головною задньою поверхнями різця. Зменшення кута β_c призводить до ослаблення різальної частини та зниження міцності різця, а також погіршення відведення тепла від різальної кромки різця.

Між розглянутими трьома кутами існує така залежність (див. рис. 2):

$$\alpha_c + \beta_c + \gamma_c = 90^0.$$

Істотно впливає на процес різання і *допоміжний задній кут* α'_c , що вимірюється у допоміжній січній площині $P_{\tau c}$. Це кут між допоміжною задньою поверхнею різця та площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку перпендикулярно до основної площини різця. Кут α служить для зменшення тертя допоміжної задньої поверхні різця по обробленій поверхні заготовки. Зазвичай приймають $\alpha'_c = \alpha_c$.

Крім розглянутих кутів, різець має кути в плані φ_c та φ'_c , кут при вершині ε_c , а також кут нахилу головної різальної кромки λ_c .

Головний кут у плані φ_c - кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину різця $P_{\varphi c}$ і напрямом руху подачі. Зі зменшенням кута φ_c збільшується довжина активної частини різальної кромки, що покращує тепловідведення та зменшує знос інструменту. Однак при занадто малому значенні кута φ_c різко зростає віджимання різця від заготовки і виникають вібрації, що погіршують якість обробленої поверхні. Тому в залежності від виду обробки, типу різця і жорсткості технологічної системи кут φ_c зазвичай вибирають в межах 30...90 град.

Допоміжний кут у плані φ'_c - кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину $P_{\varphi c}$ і напрямком, зворотним напрямку подачі D_s . Кут φ'_c служить для зменшення тертя допоміжної задньої поверхні різця по обробленій поверхні заготовки. Для прохідних різців, що обробляють жорсткі заготовки, кут $\varphi'_c = 5...10$ град., при обробці нежорстких заготовок його приймають в межах 30...45 град.

Кут при вершині ε_c – кут між проекціями головної та допоміжної різальних кромки на основну площину $P_{\varphi c}$.

Розглянуті кути пов'язані між собою залежністю:

$$\varphi_c + \varphi'_c + \varepsilon_c = 180^0.$$

Кутом нахилу головної різальної кромки λ_c називають кут у площині різання P_{nc} між головною різальною кромкою та основною площиною $P_{\varphi c}$. Він вважається позитивним (див. рис. 1,б), коли вершина різця є нижчою точкою різальної

кромки; негативним, коли вершина різця буде найвищою точкою різальної кромки; рівним нулю, якщо головна різальна кромка паралельна до основної площини. Кут λ_3 служить для відведення стружки у напрямку до обробленої ($\lambda_3 > 0$) або оброблюваної ($\lambda_3 < 0$) поверхонь. Крім того, позитивний кут λ зміцнює вершину інструменту. Тому при чорновій обробці та різанні загартованих матеріалів необхідно кут λ задавати позитивним (15...20 град.). При чистовій обробці для запобігання подряпин стружкою обробленої поверхні рекомендують різці з негативними значеннями цього кута.

За видом обробки токарні різці діляться на прохідні, підрізні, розточувальні, відрізні, прорізні, різьбонарізні та фасонні.

Прохідні різці застосовуються для обробки заготовок вздовж осі (прямий - рис.4,а та відігнутий - рис. 4,б) та для підрізування торця (рис.4,б, поз. II). До прохідних відноситься і різець, званий упорним (рис.4,в). Його застосовують при поздовжньому точінні з одночасною обробкою прилеглої торцевої поверхні, що становить з циліндричної прямий кут.

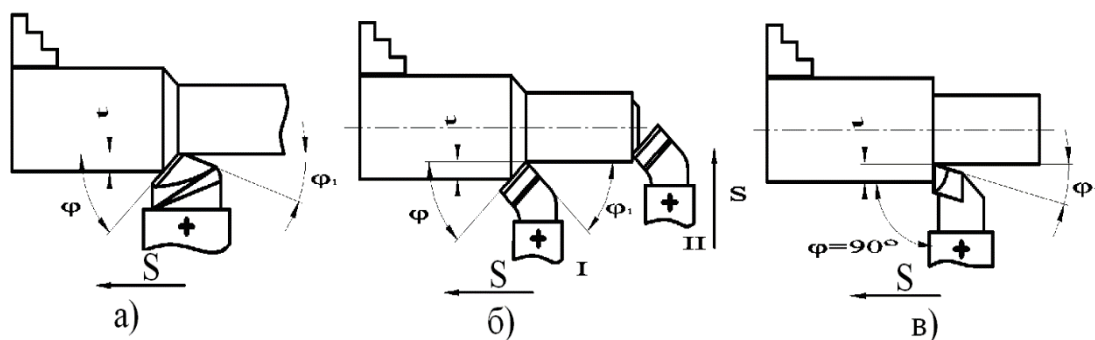


Рисунок 4 – Прохідні різці

Підрізні різці (рис. 5,а) застосовують для обробки заготовок у напрямку, перпендикулярному або похилому до осі її обертання. Різець (рис.5,б) застосовується для обробки наскрізних отворів.

Відрізний різець (рис. 5в) застосовується для відрізання заготовки.

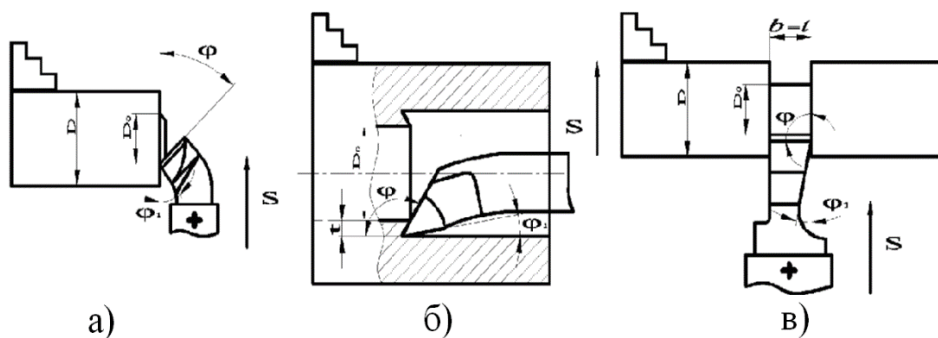


Рисунок 5 – Токарні різці: а – підрізний; б – розточувальний; в – відрізний

Прорізні різці аналогічні відрізняю, але мають довжину різальної кромки (рис. 5,в), відповідну ширині паза (канавки), що прорізається.

Галтельні різці (рис. 6,а) застосовують для проточування закруглених канавок та перехідних поверхонь.

Різьбові різці (рис. 6,б) застосовують для нарізування зовнішнього та внутрішнього різьблення.

Фасонні різці (рис. 6,в) використовують для обробки фасонних поверхонь.

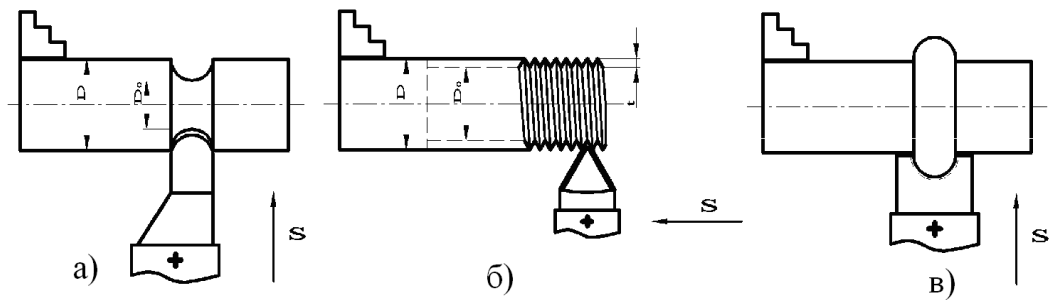


Рисунок 6 – Токарні різці: а – галтельний; б - різьбовий; в – фасонний

На токарних верстатах може здійснюватися такі методи обробки отворів: свердління, зенкерування, розгортання. Нарізання різьблення на зовнішніх поверхнях може здійснюватися за допомогою плашок, а на внутрішніх – мітчиками.

Для обробки отворів застосовуються такі види інструменту:

- свердління - спіральні свердла, свердла з прямими канавками, перові свердла, свердла для глибокого свердління;
- зенкерування - цілісні та насадні зенкери, торцеві зенкери;
- розгортання - ручні та машинні розгортки;
- розточування - прохідні та упорні розточувальні різці, які дозволяють одержувати всередині отвору прямокутні уступи.

Основними вузлами токарно-гвинторізного верстата є (рис. 7) станина 1, передня бабка 4, шпиндель 5, супорт, коробка подач 3, гітара змінних зубчастих коліс 2, задня бабка 11 механізм швидкого переміщення супорта 14.

Станина 1 служить для монтажу всіх основних вузлів і частин верстата на ній. Вона має напрямні для поздовжнього переміщення супорта і задньої бабки.

Передня бабка 4 призначена для розміщення в ній коробки швидкостей, за допомогою якої змінюють частоту і напрямок обертання шпинделя 5. На правий кінець шпинделя, що є пустотілим валом, встановлюють різні пристрої для закріплення заготовки. На рис. 8 таким пристроєм є трикулачковий самоцентруючий патрон.

Супорт верстата складається з фартуха 6, поздовжніх 7 і поперечних 8 салазок, верхнього супорта 10 і чотиріпозиційного поворотного різцетримача 9. У різцетримачі встановлюють і закріплюють різці, яким разом з супортом виконують рухи поздовжньої та (або) поперечної подачі.

Коробка подач 3 призначена для зміни швидкостей поздовжнього та поперечного рухів подачі супорта, з яким вона з'єднана за допомогою ходового гвинта 12 і ходового валу 13. Передачу обертального руху вихідного валу коробки подач до механізмів супорту через гвинт використовують тільки при нарізанні різьб, в інших випадках використовують ходовий вал.

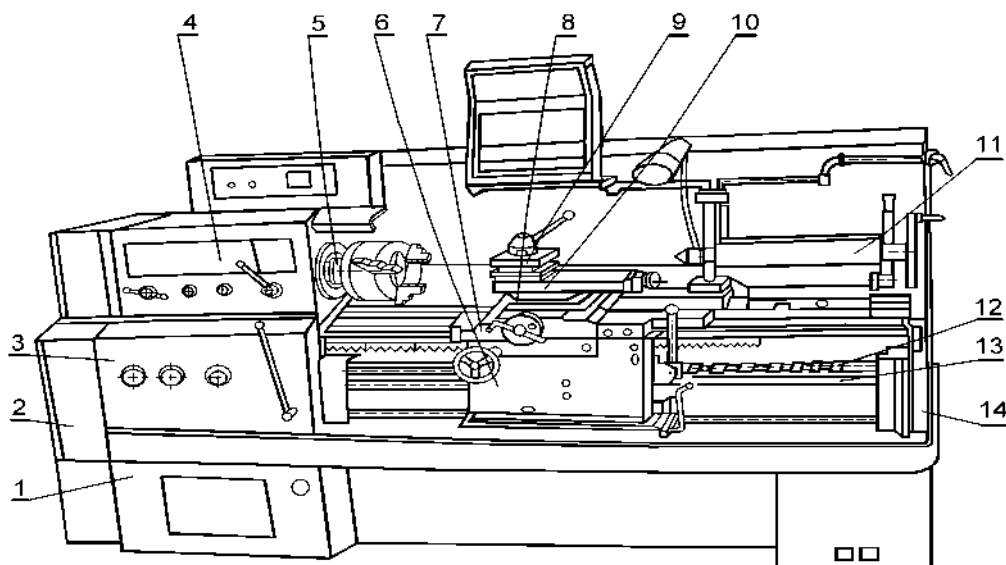


Рисунок 7 – Конструкція токарно-гвинторізного верстата мод.16К20

Гітара змінних зубчастих коліс 2 є ланкою передачі руху від верстата шпинделя до коробки подач. Замінюючи одні зубчасті колеса гітари іншими, можна змінювати подачу супорта.

Задню бабку 11 застосовують для створення додаткової опори заготовки при виготовленні довгих деталей, а також для закріплення свердлів, зенкерів, розгортки, мітчиків і плашок при обробці отворів та зовнішнього різьблення.

Механізм швидкого переміщення 14 використовують для скорочення непродуктивних витрат часу на допоміжні пересування супорта. Механізм складається з електродвигуна, вмонтованого в задню стійку станини, і клинопасової передачі, за допомогою якої передається обертання на ходовий вал.

У токарному верстаті розрізняють такі рухи:

- головний рух або рух різання (обертання шпинделя із заготовкою);
- рух подачі (поздовжнє або поперечне переміщення супорта з різальним інструментом);

- допоміжні рухи (швидкі переміщення супорта від спеціального приводу).
Заготовки, що обробляються на токарних верстатах, можуть закріплюватися в пристосуваннях, які показано на рисунках 8...11.

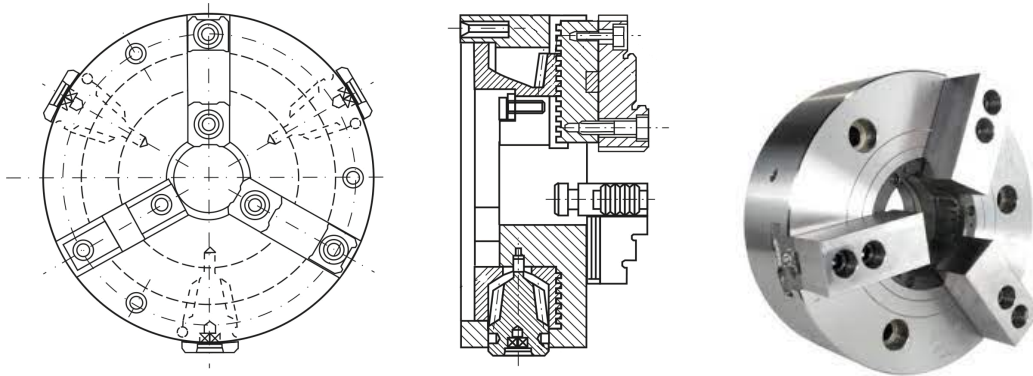


Рисунок 8 – Трикулачковий патрон, що самоцентрується.

У трикулачкових самоцентруючих патронах закріплюють деталі круглої та шестигранної форми або круглі дроти великих діаметрів. Такі патрони є найбільш поширеними в машинобудуванні завдяки вищій точності базування по відношенню до інших типів кулачкових патронів. Точність установки в патронах, що самоцентрують, досягає 50 – 100мкм. Для отримання осьової точності положення заготовки її спирають торцем у профіль кулачка або використовують спеціальні шайби або втулки.

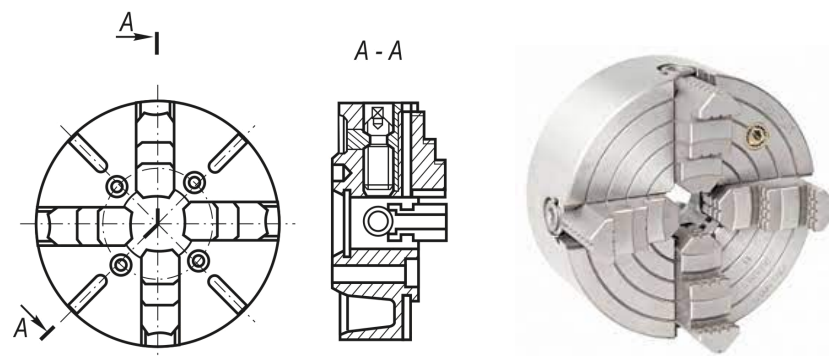


Рисунок 9 – Чотирикулачковий патрон

Чотирикулачкові патрони застосовуються зазвичай для встановлення великогабаритних заготовок. Точність установки в такі патрони нижче, ніж у трикулачкових самоцентруючих. Кожен із чотирьох кулачків переміщається незалежно один від одного на різні відстані від осі шпинделя.

Центри різної конфігурації та призначення.

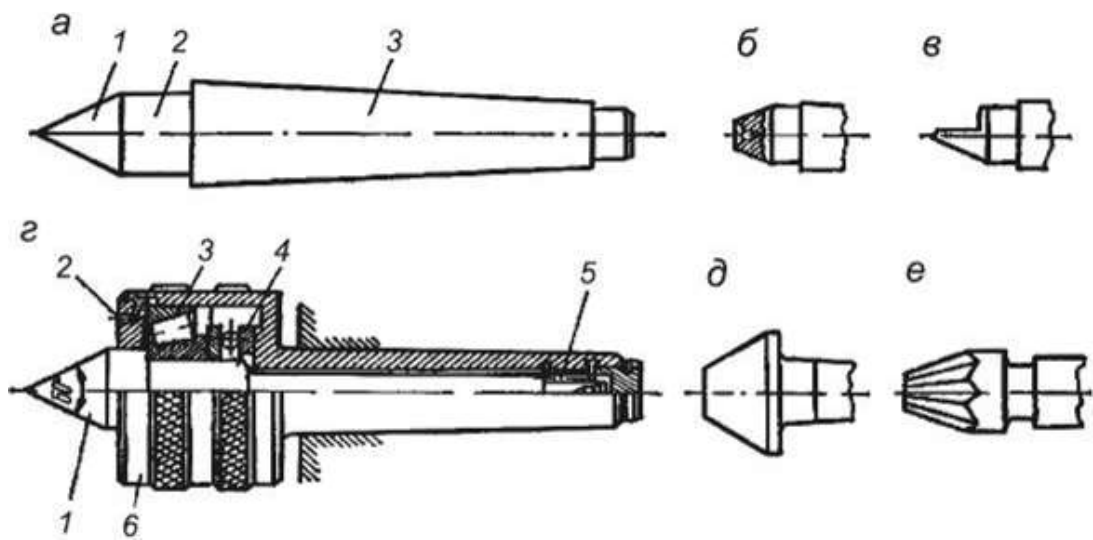


Рисунок 10 – Токарні центри для підтримки вільного кінця заготовки:

а – звичайний центр (1 - центруючий конус, 2 – перехідна частина; 3 – конус Морзе); б – зворотний центр; в – скошений центр; г - задній центр, що обертається (1 - центруючий конус, 2 - фіксатор; 3 - радіально упорний підшипник; 4 - упорний підшипник; 5 - корпус з конусом Морзе, 6 - кришка); д-грибковий конус; е – рифлений центр

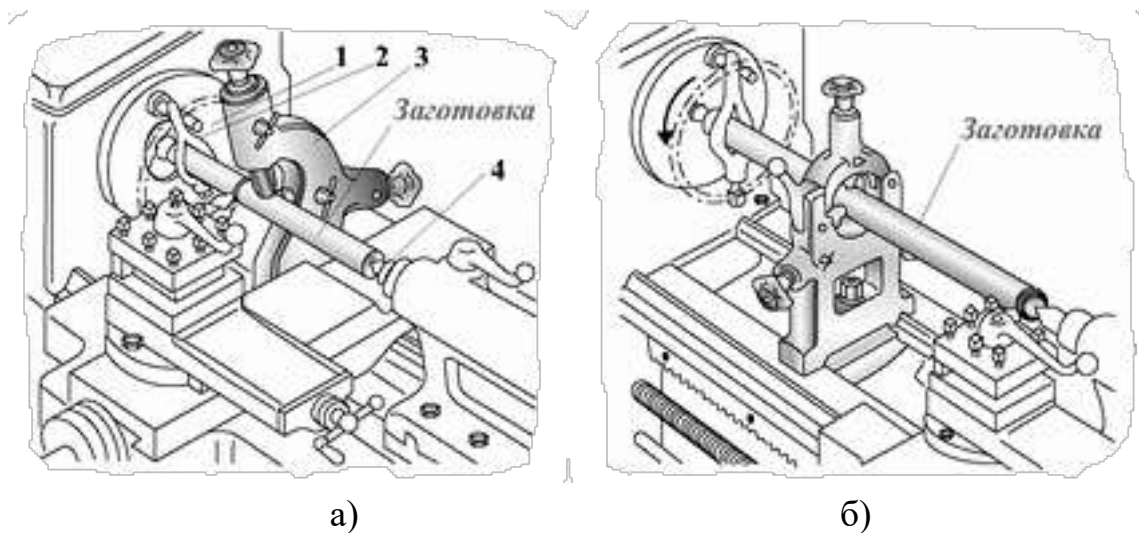


Рисунок 11 - Люнети: а- рухливий; б – нерухомий: 1 – передній центр; 2 – хомутик; 3 – люнет; 4 – задній центр

Існують певні правила вибору схеми базування та закріплення заготовок при токарній обробці.

Якщо L – довжина, а d – діаметр заготовки, то:

- заготовка закріплюється в патроні при $L/d < 4$
- заготовка кріпиться в патроні із застосуванням заднього центру при

$4 < L/d < 10$;

- заготовка закріплюється з використанням люнету при $L / d > 10$.

Однак, у кожному конкретному випадку технолог вибирає схему базування та закріплення заготовки ґрунтуючись на власному досвіді та додаткової інформації (жорсткість заготовки, конфігурація заготовки, вимоги до точності форми тощо).

До режимів різання при токарній обробці відноситься сукупність значень швидкості різання, подачі та глибини різання.

Швидкість різання V - лінійна швидкість обертання поверхні заготовки у зоні різання

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \text{ м/ хв,}$$

де d – діаметр оброблюваної поверхні заготовки, мм; n – число обертів заготовки, об/хв.

Подача S – шлях точки різального леза інструменту щодо заготовки у напрямку руху подачі за один оберт заготовки, мм/об.

Глибина різання t – товщина шару металу, що знімається за один прохід у напрямку, перпендикулярному до подачі, мм.

Розрахунок параметрів режиму різання проводиться у наступній послідовності. Спочатку вибирають глибину різання t прагнучі весь припуск на обробку зрізати за один прохід. Припуск (h) – товщина шару металу, який необхідно зняти із заготовки для отримання деталі із заданими розмірами та шорсткістю поверхні: - при точінні визначають за формулою

$$h = \frac{D - d}{2},$$

де D – діаметр заготовки до обробки, мм; d – діаметр поверхні деталі, мм.

При проточуванні канавок припуск дорівнює ширині канавки, мм; при відрізанні заготовок або деталей припуск дорівнює ширині різця, яку можна рекомендувати в діапазоні 4-6 мм; при підрізанні торця визначається глибиною різання на цьому переході. Якщо ж з технологічних чи інших причин цього зробити не можна, то призначають чорновий та чистовий проходи. При чорновій обробці знімається до 80% припуску h , при чистовій - близько 20% припуску. При цьому після чистової обробки отримують необхідну за кресленням точність і шорсткість поверхні деталі.

Глибина різання при точінні

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D – діаметр заготовки до обробки, мм; d – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

При прорізанні канавок t дорівнює ширині різця (рекомендується 5 мм); при відрізанні глибина різання дорівнює припуску, при підрізанні торця глибина різання приймається найчастіше 3 мм (залежить від габариту заготовки). При визначенні глибини різання необхідно враховувати, що при чистовій обробці глибина різання і кількість проходів будуть залежати від заданої шорсткості обробленої поверхні. Так, при значеннях шорсткості $3,2 > Ra > 1,25$ мкм глибина різання $t = 0,5 \dots 2,0$ мм; при $Ra \leq 1,25$ мкм - $t = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Потім за довідниками вибирають значення подачі S . Рекомендується призначати найбільше допустиме значення подачі, враховуючи вимоги точності та шорсткості обробленої поверхні, а також потужність верстата, різальні властивості матеріалу інструменту тощо. Вибране значення подачі коригується за паспортними даними верстата, тобто береться найближча менша величина із низки подач. Швидкість різання визначають за різними методиками розрахунку за різними формулами. Для нашого випадку користуємось формулою:

$$V = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/ хв,}$$

де V - Табличне значення швидкості різання з урахуванням обраних значень глибини різання та подачі; K_1, K_2, K_3 - коефіцієнти, що залежать від оброблюваного матеріалу, матеріалу інструменту, виду обробки.

Після обчислення швидкості визначають кількість обертів шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв.}$$

Значення n коригують за паспортом верстата, тобто приймається найближче значення до розрахункової величини, після чого остаточно уточнюють величину швидкості різання.

Розраховують необхідну кількість проходів (i) – кількість робочих ходів інструменту, які необхідні для зняття припуску, та довжину проходу інструменту (L) – відстань, що проходить інструмент при обробці даної поверхні

$$i = \frac{h}{t}$$

$$L = l_0 + l_{\text{врез}} + \Delta ,$$

де h – припуск на цьому переході, мм; t – глибина різання на цьому переході, мм. $l_{\text{про}}$ - довжина оброблюваної поверхні по кресленню, мм; $l_{\text{врез}}$ - величина врізання

інструменту в заготовку при даній глибині різання, мм; Δ - довжина перебігу інструменту, необхідна для його виходу за межі поверхні, що обробляється, мм.

При точінні

$$l_{\text{різ}} = (1 \dots 2 \text{ мм}) + t \cdot \text{ctg}\varphi ;$$

- при підрізанні

$$l_{\text{різ}} = (1 \dots 2 \text{ мм}) + t \cdot \text{tg}\varphi ;$$

- при відрізанні розрахункова довжина L дорівнює радіусу заготовки у зоні обробки, мм;
- при прорізанні канавок L дорівнює глибині канавки за кресленням, мм;
- при нарізанні різьблення $l_{\text{різ}}$ приймають у межах 1,0 мм, а перебіг Δ повинен бути не менше 1,0 мм.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

- 3.1. Токарно-гвинторізний верстат.
- 3.2. Набір токарних різців.
- 3.3. Штангенциркуль, мікрометр.
- 3.4. Допоміжний інструмент.
- 3.5. Зразки шорсткості поверхні.
- 3.6. Заготовки для виготовлення деталі за заданим кресленням.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.
- 4.2. Ознайомитись з набором токарних різців, їх конструкцією та призначенням.
- 4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління токарно-гвинторізного верстата.
- 4.4. Вивчити методику налаштування верстата.
- 4.5. За заданим кресленням деталі (рис.12) вибрати послідовність обробки поверхонь.

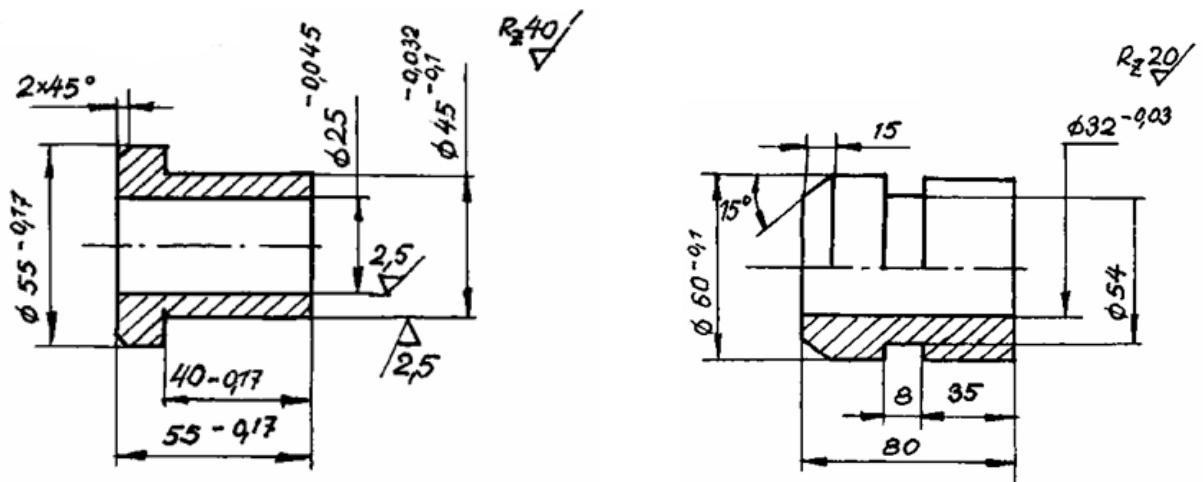


Рисунок 12 – Креслення деталі

4.6. Підібрати інструмент для кожного переходу та призначити режими різання за таблицями (додаток 2). Отримані дані занести до таблиці 1.

4.7. Під керівництвом навчального майстра налаштувати верстат на задані режими різання та провести обробку деталі.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

№ пере-хода	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання			
			S , мм/об	t , мм	V , м/хв	n , об/хв

4.8. Вимкнути верстат, зняти деталь.

4.9. Виміряти готову деталь та зробити ескіз із простановою розмірів.

4.10. Провести оцінку шорсткості оброблених поверхонь.

4.11. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.

5.4. Вихідні дані налаштування верстата (таблиця 1).

5.5. Операційні ескізи з переходів.

5.7. Аналіз відповідності точності оброблених поверхонь вимогам креслення.

5.8. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які поверхні розрізняють на заготовки під час обробки на токарному верстаті?
2. Перелічити основні типи токарних різців та зазначити їх призначення.
3. Перелічити основні елементи токарного прохідного різця.
4. Перерахувати вузли токарно-гвинторізного верстата 16К20.
5. Перелічити рухи в токарному верстаті.
6. Перелічити пристрої до токарного верстата.
7. Перелічити способи кріплення заготовки на токарному верстаті в залежності від жорсткості.
8. Порядок налагодження верстата під час обробки поверхонь обертання.
9. Дати визначення припуску при обточуванні та прорізанні канавок.
10. Що таке глибина різання та як вона визначається при обточуванні циліндричної поверхні, прорізанні канавок?
11. Як визначити режим різання під час обробки деталі на токарному верстаті?
12. Що називається швидкістю різання при токарній обробці та як вона визначається?

Лабораторна робота №10. ОБРОБКА ЗОВНІШНІХ КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з технологічними можливостями універсального токарного обладнання для формування зовнішніх конічних поверхонь з різними геометричними параметрами; навчити студентів проводити налагодження токарно-гвинторізного верстата на обробку конічних поверхонь деталей у різний спосіб.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Точіння конусів на універсальних верстатах здійснюють одним із наступних способів:

- зміщення корпусу задньої бабки;
- поворотом різцевих салазок;
- широким різцем;
- за наявності на верстаті копіювально-конусної лінійки та гідрокопіювального супорта можна також обробляти і конуси.

На верстатах із програмним керуванням точіння конуса виконується як окремий перехід операції.

Широким різцем (рис. 1а) можлива обробка конусів довжиною до 20 мм. Подача різця може бути як поперечна, так і поздовжня. Величина подачі – мінімальна, оскільки можливе виникнення вібрацій системи «верстат-приспособлення-заготовка-інструмент» (ВПЗІ) і, як результат, невисокі точність обробки, стійкість різального інструменту та шорсткість обробленої поверхні.

Зсув корпусу задньої бабки (рис. 1в.) спрацьовують довгі деталі з невеликим кутом ухилу до 8° . Точність обробки невисока.

Зсув корпусу задньої бабки в поперечному напрямку h (мм) визначають за формулою

$$h = L \sin \alpha,$$

де L - довжина деталі, мм; α - кут ухилу деталі, град.

Зі схеми (рис. 1в):
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2l}.$$

Зазвичай значення α мало, тобто. $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$, тому
$$h \approx L \sin \alpha = \frac{L(D - d)}{2l}.$$

Налагодження верстата на обробку конуса здійснюють наступним чином: за допомогою двох гвинтів 31 (див. рис.1,в) ключем зміщують корпус задньої бабки

в поперечному напрямку на себе при обробці прямих конусів, від себе при обробці зворотних конусів. Відлік усунення h ведеться або по лімбу, або за упорами та плитками (кінцевими мірами довжини), якщо упори встановлені на торці задньої бабки, або за допомогою штангенциркуля.

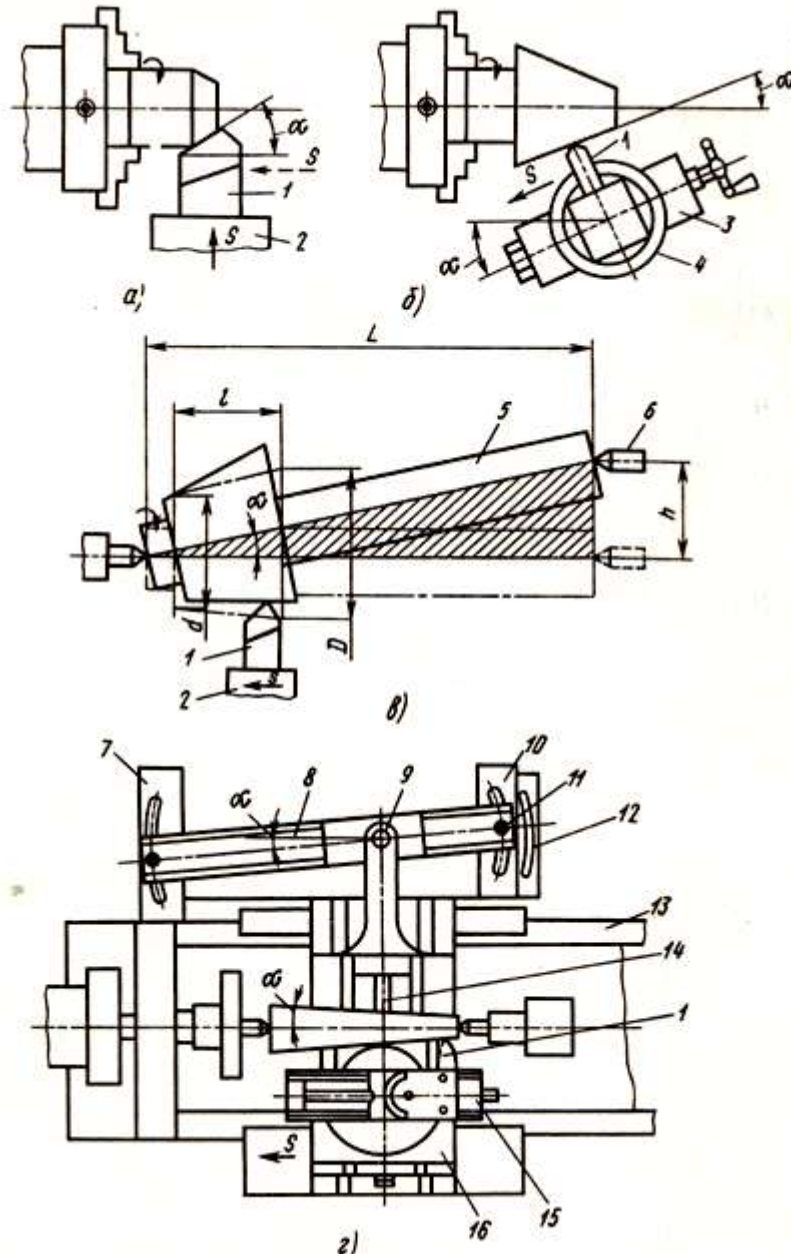


Рисунок 1 – Схеми обробки конічних поверхонь на токарних верстатах:
 а-широким різцем; б – поворотом салазок; в-зміщення корпусу задньої бабки; г – з використанням копійно-конусної лінійки

У жорсткі токарні центри, на кінці робочого конуса яких є кульові поверхні, встановлюється заготовка з повідковим хомутиком. Останній знаходиться всере-

дині кожуха повідкового патрона (для безпеки). Включається верстат, починається обертання шпинделя та поздовжня механічна подача супорта. У кілька проходів різець формує повний профіль конічної поверхні деталі. Таким чином вимірюють діаметри і, якщо необхідно, додаткове зміщення задньої бабки в одну або іншу сторону.

Поворотом різцевих салазок (рис. 1,б) обробляють короткі деталі із зовнішніми та внутрішніми конічними поверхнями. За кресленням або здійснивши відповідні розрахунки, встановлюють кут ухилу α оброблюваної конусної поверхні – половинний кут при вершині конуса. Гайковим ключем відпускають дві гайки, що кріплять поворотну частину різцевих салазок, повертаючи її в потрібному напрямку. Відлік ведеться по лімбу з ціною розподілу на один градус. Закріплюють гайки. Обробляють заготовку. При цьому подача різального інструменту здійснюється зазвичай вручну обертанням рукоятки різцевих салазок (що непродуктивно і недостатньо точно) або механічно. Обробка вимагає частих вимірів деталі та довороту салазок, внаслідок чого падає продуктивність праці. У серійному виробництві для вимірювання використовують спеціальні калібр-втулки та калібр-пробки, зокрема калібри типу «Конус Морзе».

У серійному виробництві можливе встановлення на універсальних верстатах копінно-конусної лінійки. Застосування забезпечує обробку довгих деталей з високою точністю і продуктивністю. Лінійка 8 (рис. 1,г) встановлюється на кронштейнах 7 і 10, що прикріплюються до станини 13 із задньої сторони, під кутом α при переміщенні гвинтів 11 у пазах кронштейнів. Відлік переміщення (град) ведеться за шкалою 12. На лінійці встановлений повзун 9, з'єднаний з поперечним супортом 16 тягою 14. Гвинт поперечного супорта повинен бути вивернути або мати спеціальну телескопічну конструкцію. При включенні поздовжньої подачі переміщуються одночасно каретка і поперечний супорт, тобто здійснюються два рухи: провідний (що задає) і слідкуючий (що копіює). В результаті обробляється конічна поверхня деталі із заданим кутом ухилу α .

Розглянемо обробку конічних поверхонь на прикладі токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20 (рис. 2). Токарно-гвинторізний верстат призначений для обробки зовнішніх, внутрішніх, циліндричних, конічних, фасонних та торцевих поверхонь, для нарізування різних різьбових поверхонь: метричних, дюймових, модульних, спеціальних.

Основні частини верстата:

ОС – основа; СТ – станина, КП – коробка подач; КС – коробка швидкостей; ЕШ – електросилова шафа; ЛТ – люнет; СП – супорт, ЗБ – задня бабка.

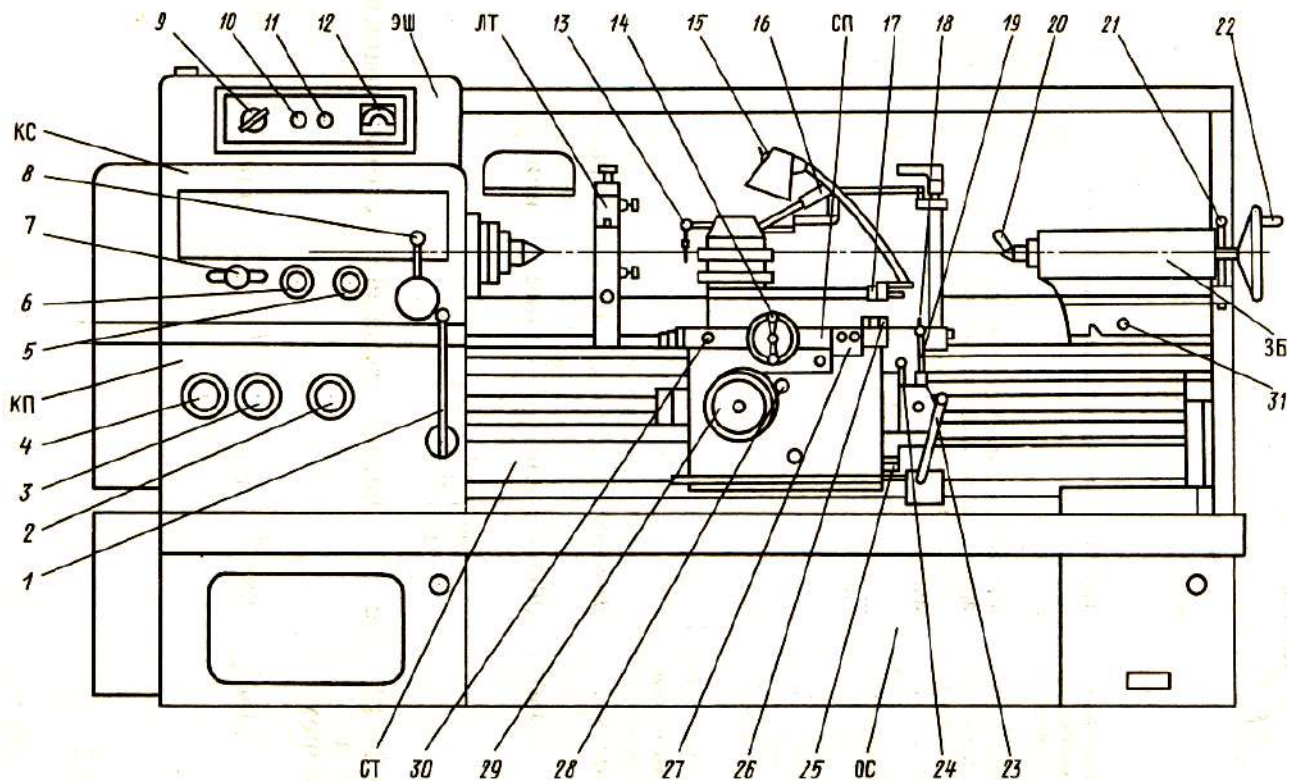


Рисунок 2 - Загальний вигляд та органи управління токарно-гвинторізного верстата 16K20

Органи управління:

- 1 - рукоятка управління фрикційною муфтою головного приводу (зблокована з рукояткою 23);
- 2 - рукоятка для з'єднання гітари та ходового гвинта безпосередньо;
- 3 - рукоятка установки виду робіт: подачі і типу різьби, що нарізується;
- 4 - рукоятки установки розміру подачі та кроку різьблення;
- 5 - рукоятка установки правого та лівого різьблення;
- 6 - рукоятка установки нормального, збільшеного кроку різьблення та положення при розподілі багатозахідних різьблень;
- 7 - рукоятка установки частоти обертання шпинделя;
- 8 - рукоятка установки діапазону частоти обертання шпинделя;
- 9 - вступний автоматичний вимикач;
- 10 – сигнальна лампа;
- 11 - вимикач електронасоса подачі охолоджувальної рідини;
- 12 - показчик навантаження верстата;
- 13 - регульоване сопло подачі охолоджувальної рідини;
- 14 - рукоятка ручного переміщення поперечних салазок супорта;
- 15 – вимикач лампи місцевого освітлення;

- 16 - рукоятка повороту та закріплення індексованої різцевої головки;
- 17 - рукоятка ручного переміщення різцевих салазок супорта;
- 18 - кнопка включення електродвигуна приводу швидких ходів каретки та поперечних салазок супорта;
- 19 - рукоятка управління механічними переміщеннями каретки та поперечних салазок супорта;
- 20 - рукоятка затиску пінолі задньої бабки;
- 21 - рукоятка кріплення задньої бабки до станини;
- 22 - маховик переміщення пінолі задньої бабки;
- 23 - рукоятка управління фрикційною муфтою головного приводу (зблокована з рукояткою 1);
- 24 - рукоятка включення та вимкнення маткової гайки ходового гвинта,
- 25 - рукоятка включення подачі;
- 26 – болт закріплення каретки на станині;
- 27 - кнопкова станція включення та вимкнення електродвигуна головного приводу;
- 28 - рукоятка включення та вимкнення рейкової шестерні;
- 29 – маховик ручного переміщення каретки;
- 30 - кнопка золотника мастила направляючих каретки та поперечних салазок супорта;
- 31 - гвинти переміщення корпусу задньої бабки у поперечному напрямку.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Універсальний токарно-гвинторізний верстат.
- 3.2. Патрон повідковий або самоцентруючий трикулачковий, токарні центри, хомутик.
- 3.3. Набір гайкових ключів.
- 3.4. Накидні ключі для патрона та різцетримача.
- 3.5. Набір різців.
- 3.6. Заготовки для деталей, що підлягають обробці.
- 3.7. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль, мікрометр гладкий.
- 3.8. Магнітна стійка з індикатором вартового типу.
- 3.9. Плакат «Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата 16К20».

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.

4.2. Ознайомитись із методами формування конусних поверхонь на токарних верстатах.

4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління токарно-гвинторізного верстата.

4.4. Вивчити методику налаштування верстата.

4.5. За заданим кресленням деталі вибрати послідовність обробки поверхонь.

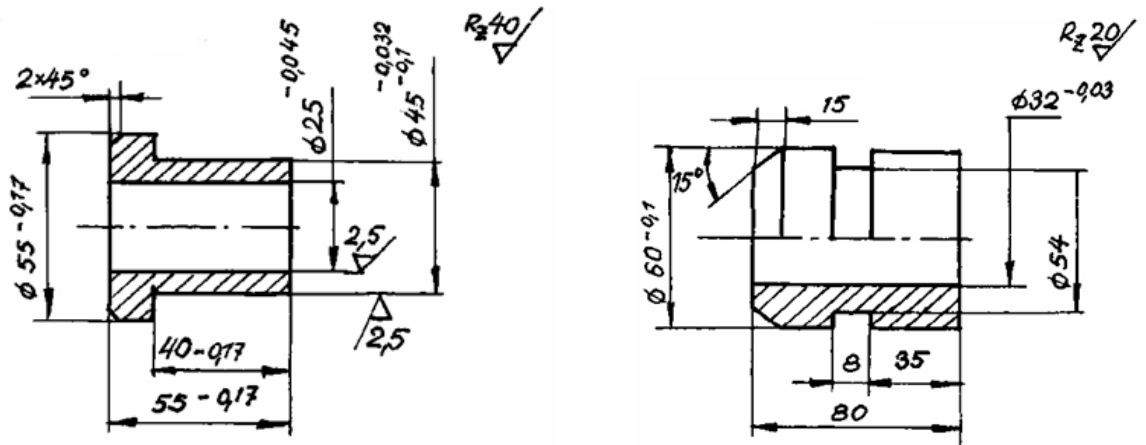


Рисунок 3 – Креслення деталі

4.6. Підібрати інструмент та призначити режими різання за таблицями (додаток 2). Отримані дані занести до таблиці 1.

4.7. Під керівництвом навчального майстра налаштувати верстат на задані режими різання та провести обробку деталі.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

№ переходу	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання			
			S , мм/об	t , мм	V , м/хв	n , об/хв

4.8. Вимкнути верстат, зняти деталь.

4.9. Виміряти готову деталь та зробити ескіз із простановою розмірів.

4.10. Провести оцінку шорсткості оброблених поверхонь.

4.11. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.

5.4. Вихідні дані для налаштування верстата (таблиця 1).

5.4. Визначити за довідниками необхідні параметри обробки: швидкість різання, подачу, частоту обертання шпинделя, занести їх до таблиці 1.

5.5. Операційні ескізи з переходів. Виконати ескіз налагодження під час обробки кожної конічної поверхні.

5.6. Аналіз відповідності точності оброблених поверхонь вимогам креслення.

5.7. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи формування конічних поверхонь на токарних верстатах застосовують у машинобудуванні?

2. У чому полягає налаштування верстата на обробку довгих конусів?

3. Як можна обробити короткі конічні поверхні?

4. Органи управління токарним верстатом та їх розташування.

5. У чому полягає налаштування верстата на обробку довгих конусів при використанні копійно-конусної лінійки

6. Які дані про об'єкт обробки необхідні для налагодження верстата на обробку конуса?

7. Як визначити режими різання при обробці деталі на верстаті?

Лабораторна робота №11. ОБРОБКА РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ НА ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомить студентів з технологічними можливостями універсального токарно-гвинторізного обладнання для формування різних різьбових поверхонь (метричних, дюймових, модульних, спеціальних) з різними геометричними параметрами. Навчити студентів проводити налагодження токарно-гвинторізного верстата на обробку різьбової поверхні (налагоджувати механізми подач (рукоятки) на задній крок (хід) різьблення; робочим прийомом нарізування різьблення різцем у кілька проходів; прийомом і різним методам розподілу на число заходів різьблення). Ознайомитись з методами контролю кроку нарізаного різьблення.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20 призначений для обробки зовнішніх, внутрішніх, циліндричних, конічних, фасонних та торцевих поверхонь, для нарізування різних різьблень: метричних, дюймових, модульних, спеціальних. Пристрій верстата та система управління було розглянуто докладно у лабораторній роботі №10. Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20 наведена на рисунку 1.

Нарізання різьблення.

Метрична. Кінцеві ланки: *шпиндель - ходовий гвинт* (1 оборот шпинделям $\rightarrow P_p$). Рівняння кінематичного балансу від шпинделя до ходового гвинта при нарізанні різьблення складається з умови, що за один оборот шпинделя з заготовкою каретка супорта з різальним інструментом повинна переміщатися в поздовжньому напрямку на величину кроку нарізання різьби P , якщо різьблення одно.

За цією кінематичною схемою можна нарізати 16 значень стандартних кроків метричних різьблень. При цьому в коробці подач використовується короткий кінематичний ланцюг, що забезпечує високу точність нарізування по кроку різьблення. При нарізанні метричної різьби муфту $M2$ вимикають, а муфти $M3$, $M4$, $M5$ включають.

У кінематичному ланцюгу при нарізанні різьблення використовується механізм реверсу; його передатне відношення $\frac{30}{45}$. При лівому положенні зубчастого колеса ($z = 45$) нарізатиметься правозахідне різьблення, при цьому супорт з рі-

зальним інструментом переміщатиметься від задньої бабки до шпинделя верстата. При правому положенні зубчастого колеса ($z = 45$) нарізатиметься лівозахідне різьблення, супорт з різальним інструментом переміщатиметься від шпинделя до задньої бабки.

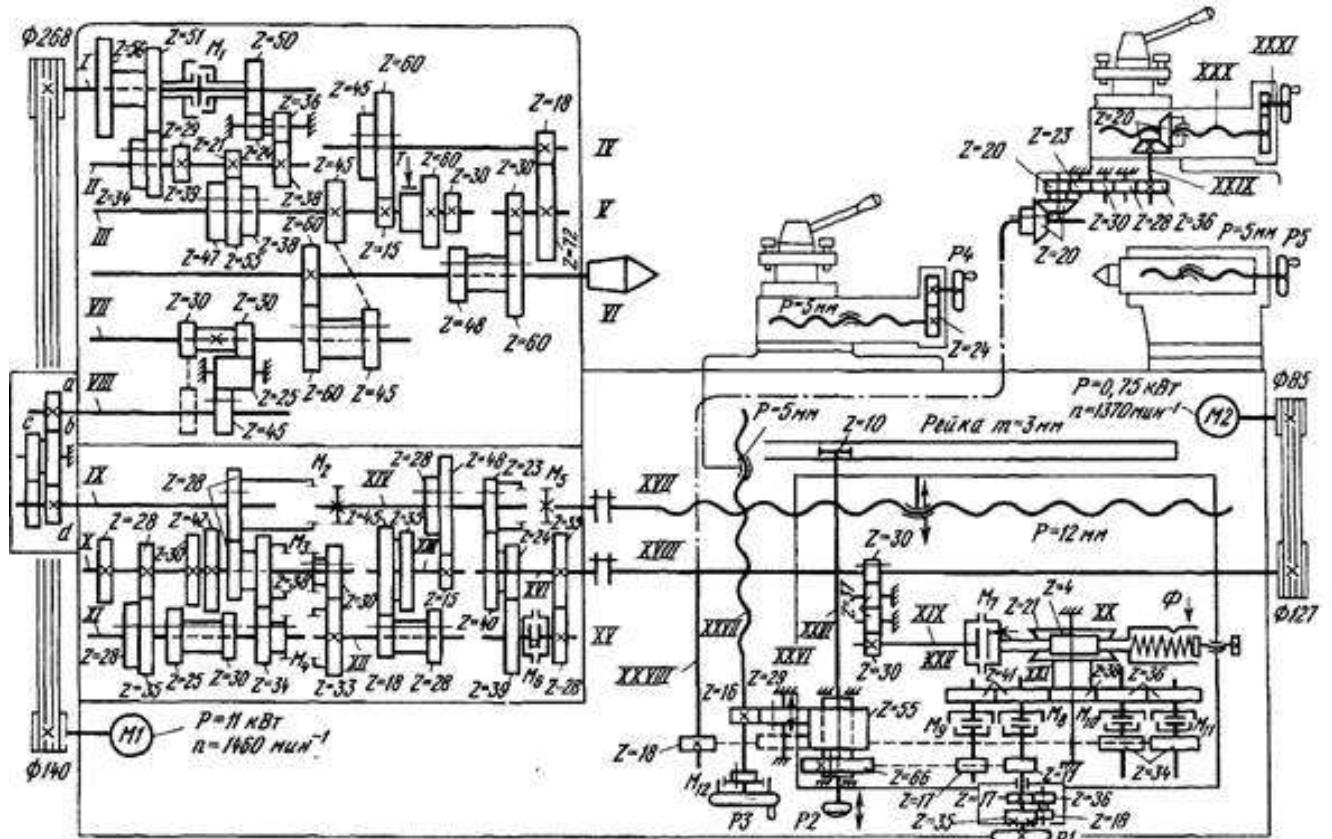


Рисунок 1 – Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата 16К20

Числова характеристика $\frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64}$ рівняння кінематичного балансу – це передачне відношення гітари змінних зубчастих коліс $\frac{K}{L} \frac{L}{N}$.

Дюймова. Кінцеві ланки: шпиндель із заготовкою – ходовий гвинт (1 оборот шпинделя $\rightarrow P = \frac{25,4}{n_p}$):

$$1 \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{30}{42} \left(\text{или } \frac{30}{25}, \text{ или } \frac{28}{35}, \text{ или } \frac{28}{28} \right) \times$$

$$\frac{30}{33} \cdot \frac{18}{45} \left(\text{или } \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left(\text{или } \frac{15}{48} \right) \cdot 12 = \frac{25,4}{n_p},$$

де n_p - число ниток різьблення на 1 дюйм.

При нарізанні дюймового різьблення в коробці подач використовується довшя кінематична схема: повинна бути включена муфта М5 в коробці подач, а муфти М2, М3 і М4 - вимкнені.

Модульна. Кінцеві ланки: *шпindelь із заготовкою* – ходовий гвинт (1 оборот шпинделя) → $P = m \pi$):

$$1 \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{42}{30} \left(\text{или } \frac{30}{25}, \text{ или } \frac{28}{35}, \text{ или } \frac{28}{28} \right) \times \frac{18}{45} \left(\text{или } \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left(\text{или } \frac{15}{48} \right) \cdot 12 = m \pi;$$

$$z = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$$

При нарізанні модульної різьби в коробці подач використовується короткий кінематичний ланцюг: повинні бути включені муфти М3, М4 та М5, а муфта М2 - вимкнена.

У рівнянні кінематичного балансу числова характеристика $\frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}$ - це передатне відношення гітари змінних зубчастих коліс $\frac{K}{L} \frac{M}{N}$. У коробці швидкостей верстата є механізм ланки збільшення кроку різьб. При нарізанні збільшеного (великого) кроку різьблення рух різального інструменту запозичується не від шпинделя, як було раніше викладено, а від валу III коробки швидкостей на вал VIII.

У рівнянні кінематичного балансу до уваги береться передатне відношення від шпинделя до валу III:

$$i_{1^{3\phi}} = \frac{1}{i_{1^{неп}}} = \frac{1}{\frac{30}{60}} = \frac{60}{30} = 2$$

$$i_{2^{3\phi}} = \frac{1}{i_{2^{неп}}} = \frac{1}{\frac{45}{45} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60}} = \frac{1}{\frac{1}{8}} = 8$$

$$i_{3^{3\phi}} = \frac{1}{i_{3^{неп}}} = \frac{1}{\frac{15}{60} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60}} = \frac{1}{\frac{1}{32}} = 32$$

де $i_{3\phi}$ – передатне відношення ланки збільшення кроку різьби, що нарізується.

Отже, кожен стандартний крок різьби, що нарізується, за допомогою коробки подач може бути збільшений за значенням в 2, 8 або 32 рази.

Точна (з нестандартним кроком). При нарізанні точного (за кроком) різьблення коробка подач з кінематичного ланцюга відключається включенням муфт М2 та М5. Налаштування верстата на необхідний крок різьби, що нарізується, проводиться методом підбору змінних зубчастих коліс гітари з наявного або заздалегідь замовленого (виготовленого) набору.

Кінцеві ланки кінематичного ланцюга: *шпindel ь із заготовкою – ходовий гвинт* (1 оборот шпindel ь → P_p):

$$1 \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} i_{cm} \cdot 12 = P_p$$

Формула налагодження гітари змінних зубчастих коліс має вигляд

$$i_{cm} = \frac{K M}{L N} = \frac{P_p}{8}.$$

Багатозахідна. У багатозахідного різьблення відстань, виміряна вздовж осі, між однойменними точками одного і того ж витка називається ходом різьблення.

Хід різьблення дорівнює кроку різьблення, помноженому на число заходів:

$$S = P_p z,$$

де z - число заходів різьблення.

Кінематична налагодження верстата аналогічна всім розглянутих видів різьблень, тільки в розрахунок береться не крок, а хід різьби, що нарізується.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

- 3.1. Універсальний токарно-гвинторізний верстат.
- 3.2. Патрон повідковий або самоцентруючий трикулачковий, токарні центри, хомутик.
- 3.3. Набір гайкових ключів.
- 3.4. Накидні ключі для патрона та різцетримача.
- 3.5. Різьбові та прохідні різці.
- 3.6. Заготовки для деталей, що підлягають обробці.
- 3.7. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль, мікрометр гладкий, калібр-пробка та калібр-втулка, різьбовий шаблон, шаблон для заточування різьбових різців та встановлення його в різцетримачі.
- 3.8. Магнітна стійка з індикатором годинного типу.
- 3.9. Плакат «Кінематична схема токарно-гвинторізного верстата».
- 3.10. Плакат «Нарізування різьблення».

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.
- 4.2. Ознайомитись із методами формування різьблення на токарних верстатах.
- 4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління токарно-гвинторізного верстата.
- 4.4. Ознайомитись із прийомами нарізування різьблення різцем.

4.5. Визначити необхідну частоту обертання (об/хв) шпинделя для проточування зовнішнього діаметра заготовки під різьблення за формулою

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

Частота обертання коригується за таблицею (на верстаті) або за паспортом. Велику частоту обертання шпинделя приймають у тому випадку, якщо різниця паспортних та отриманих за формулою значень не перевищує 5%. В інших випадках вибирається найближче менше значення. Стійкість різального інструменту при цьому збільшується. Швидкість різання в залежності від матеріалу заготовки та марки пластини різального інструменту вибирається за нормативами (додаток 9).

4.6. Встановити рукоятки у коробці швидкостей згідно з розрахунком.

4.7. Встановити рукоятки в коробці подач згідно з табличними даними (на верстаті) на певну величину подачі.

4.8. Встановити заготовку у центрах чи патроні.

4.9. Встановити різець для обточування ділянки різьблення.

4.10. Здійснити обточування ділянки циліндричної поверхні до встановленого діаметра для нарізування різьблення.

4.11. Встановити ручки в коробці швидкостей на певну частоту обертання шпинделя для виконання нарізування різьблення.

4.12. Встановити рукоятки в коробці подач для нарізання різьблення відповідного кроку згідно з табличними даними верстата.

4.13. Встановити відповідний профільний різець для нарізування різьблення за шаблоном.

4.14. Виконати один-два проходи різьбовим різцем і перевірити правильність отримання кроку різьблення штангенциркулем на довжині десяти ниток, здійснивши потім розподіл на 10. Це потрібно для більш точного вимірювання кроку.

4.15. Зробити нарізання одного заходу різьблення до встановленого діаметра.

4.16. Здійснити поділ на другий та наступні заходи різьблення одним з наступних способів:

а) на верстаті моделі 16К20 є ділильний пристрій, який складається з фланця з ризиком, укріпленого на корпусі коробки швидкостей, і диска з шістдесятьма поділками, закріпленого на шпинделі. Кількість рисок на диску однакова з кількістю зубів на зубчастому шпиндельному колесі, що полегшує зачеплення подвійного блоку ($z = 60$ та $z = 45$) на валу VIII.

Розподіл роблять наступним чином. Рукояткою управління фрикційною муфтою 1 або 23 (див. рис. 3) забезпечують зворотне обертання шпинделя і переміщення вправо (при нарізанні правозахідної різьби) супорта з різьбовим різцем, потім перемикають шпиндель на пряме обертання і одночасно вимикають обертання. Таким чином забезпечується натяг (вибір зазорів) всіх ланок кінематичного ланцюга верстата. Рукояткою 6 ставлять подвійний блок ($z = 60$ і $z = 45$) на валу нейтральне положення. Повертають ділильний диск зі шпинделем вручну на тридцять рисок при нарізанні двозахідного різьблення і на двадцять рисок – при нарізуванні різьблення тризахідного. Таким чином, заготовку повертають на півоберта при нарізанні двозахідного різьблення і на третину обороту - при нарізанні тризахідного різьблення та ін.

Рукояткою 6 вводять у зачеплення шестерню ($z = 60$) подвійного блоку зі шпиндельною шестернею ($z = 60$) Включають головний електродвигун, підводять різець до торкання із заготовкою і запам'ятовують розташування лімба на гвинті поперечного супорта. Потім лімб ставлять у нульове положення та ведуть відлік глибини різьблення, використовуючи відповідні таблиці профілю різьблення. Нарізають у кілька проходів другий захід різьблення, потім у такий же спосіб і третій захід різьблення.

Рекомендується всі заходи нарізати не відразу на повний профіль, а залишати припуск на чистовий прохід на збільшеній частоті обертання шпинделя із заготовкою для підвищення шорсткості.

б) Розподіл на другий та наступні заходи виконують зміщенням різцевих салазок з різьбовим різцем. При цьому спочатку вибирають зазор гвинта в гайці, а потім, обертаючи гвинт, переміщують різець, та по лімбу ведуть відлік переміщення.

При нарізанні двозахідного різьблення переміщують різець на половину ходу різьблення, тризахідного різьблення - на третину ходу різьблення тощо.

Шпиндель при розподілі на другий та наступні заходи не обертається, перемикавання подвійного блоку на валу VIII-не потрібно. Цей спосіб поділу найпростіший, продуктивний, але недостатньо точний.

в) Розподіл на другий та наступні заходи здійснюють за допомогою індикатора. В цьому випадку основа магнітної стійки встановлюється на верхній різцевий супорт, кулька індикатора годинного типу упирається в гладку частину патрона в 1 мм.

Переміщення різця та індикатора проводиться гвинтом різцевого супорта, а відлік проводиться за показаннями індикатора - на половину ходу різьблення при нарізанні двозахідного різьблення тощо. При цьому способі поділу видно, що

спочатку при обертанні гвинта вибирається зазор його в гайці, отже, точність розподілу підвищується.

4.17. Перевірити правильність отриманого кроку різьблення за різьбовим шаблоном.

4.18 Провести більш точні вимірювання кроку різьблення з використанням різьбового мікрометра та різьбових калібр-кілець (можна також зробити вимір середнього діаметра та якості виготовлення багатозахідного різьблення).

4.19. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.

5.4. Визначити за довідниками (додаток 9) необхідні параметри обробки: швидкість різання, частоту обертання шпинделя.

5.5. Операційні ескізи з переходів. Виконати ескіз налагодження під час обробки різьбової поверхні.

5.6. Аналіз відповідності точності оброблених різьбових поверхонь вимогам креслення.

5.7. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які типи різьбових поверхонь можна отримати на токарно-гвинторізних верстатах?

2. Як настроюється механізм подачі супорта при нарізанні різьбових поверхонь?

3. Органи управління токарно-гвинторізним верстатом їх розташування.

4. Порядок налагодження верстата під час нарізування багатозахідних різьбових поверхонь.

5. Які дані про об'єкт обробки необхідні для налагодження верстата?

7. Які режими різання необхідно встановити при нарізанні різьблення на токарно-гвинторізному верстаті?

8. Який інструмент використовується при нарізанні різьблення на токарно-гвинторізних верстатах?

9. Чим відрізняється налаштування верстата при обробці правої та лівої різьбової поверхні?

Лабораторна робота №12. ОБРОБКА ОТВОРІВ У ЗАГОТОВКАХ НА СВЕРДЛИЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з можливостями свердлувальних верстатів в процесі обробки отворів у деталях машин та загальною конструкцією свердильних верстатів та додаткових пристроїв при обробці отворів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

На свердильних верстатах проводять обробку так званим кінцевим інструментом (свердління, зенкерування, розгортання, нарізування різьблення та інші види обробки отворів). При обробці інструменту надається головний обертальний рух (рух різання) та осьове переміщення за один оберт інструмента на величину S (подача).

На свердильному верстаті можна виконувати такі операції: свердління отвору в суцільному матеріалі, зенкерування, розгортання, нарізання мітчиком різьблення, зенкування, цекування. Схеми обробки зображені на рисунку 1.

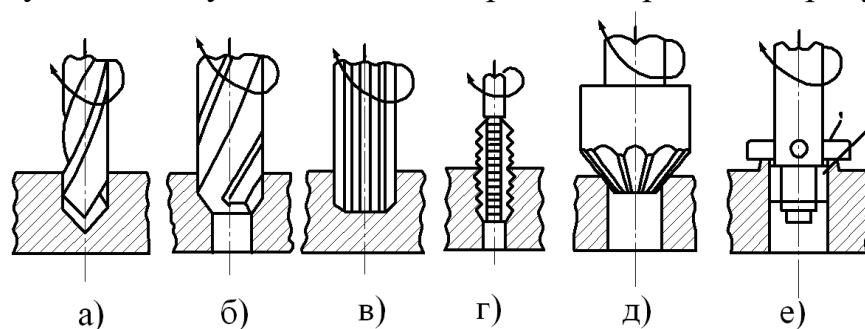


Рисунок 1 – Схеми обробки на свердильному верстаті: а - свердління; б – зенкерування; в - розгортання; г - нарізування різьблення мітчиком; д - зенкування; е – цекування

Під свердлінням розуміється процес утворення отвору в суцільному матеріалі свердлом.

Спиральне свердло складається (рис. 2) з робочої частини l_1 , шийки l_3 та хвостовика l_4 , який має на кінці лапку l_5 . Робоча частина у свою чергу поділяється на різальну l_2 і спрямовуючу l_2' . Різальна частина включає наступні елементи: стрічки (допоміжні різальні леза) 1, поперечну різальну кромку 2, канавки 3, два головних різальних леза 4, передні 7 і задні поверхні 5, два зуби (пера) свердла 6.

Хвостовик свердла може бути виконаний як конусним за системами Морзе або метричною системою, так і циліндричним з повідцем. У першому випадку крутний момент передається за рахунок сил тертя між конічними поверхнями

хвостовика свердла і отвору посадкового шпинделя, а в другому - за допомогою повідця. Лапка служить для вибивання свердла зі шпинделя верстата або перехідної втулки. Шийка призначена для виходу шліфувального кола під час виготовлення свердла. Направляюча частина забезпечує напрямок свердла в отворі і служить резервом для утворення робочої частини при його переточках.

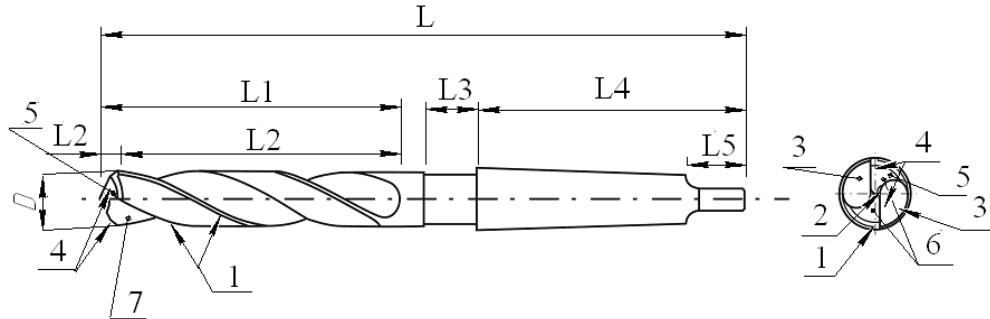


Рисунок 2 – Конструктивні елементи спірального свердла

Різальна частина свердла складається з наступних елементів: гвинтової канавки для відведення стружки, головного різального леза; стрічки, що спрямовує свердло в отворі; головної задньої поверхні; поперечного різального леза. Міцність, знос, стійкість, а загалом працездатність свердла, залежать від розташування поверхонь і кромок леза щодо один до одного та заготовки. Це розташування прийнято визначати кутами їх нахилу.

Кут нахилу гвинтової канавки ω , це кут, укладений між віссю свердла та розгорнутою гвинтовою лінією стружкової канавки (рис. 3). Величина його не постійна, що ближче до осі свердла, то менше кут ω .

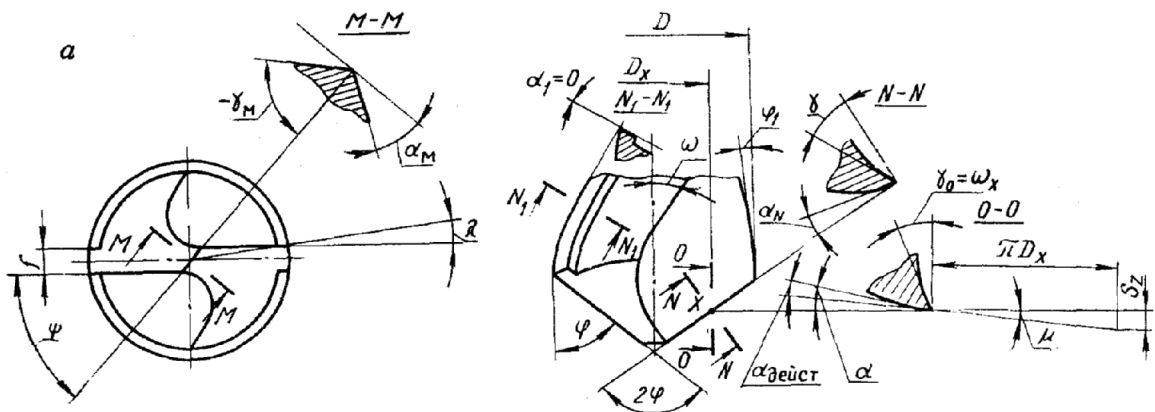


Рисунок 3 – Геометричні параметри спірального свердла

Кут нахилу поперечного леза (перемички) - кут між проекціями поперечного і одного з головних різальних лез на площину, перпендикулярну до осі свердла. Зазвичай приймають 55° . Кут різання у перемички більше 90° , а тому метал не ріжеться, а скоблється.

Кут при вершині 2ϕ - кут між головними різальними лезами. Розмір цього кута залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та лежить у діапазоні

не більше $80...140^\circ$. Для свердління пластичних матеріалів беруть більші значення кута 2φ , ніж крихких. Наприклад, для обробки сталі та чавуну $2\varphi = 116...120^\circ$, для алюмінію $2\varphi = 140^\circ$, для мармуру $2\varphi = 80^\circ$.

Допоміжний кут у плані φ_1 утворюється за рахунок виконання робочої частини свердла зі зворотною конусністю. Розмір його становить $1...2'$.

Допоміжні задні кути α_1 на стрічках дорівнюють нулю, оскільки допоміжна задня поверхня окреслена поверхнею циліндра.

Кут нахилу головного різального леза визначається так само, як і для різців загального призначення.

Переднім кутом γ називається кут між дотичної до передньої поверхні свердла в точці, що розглядається, і нормаллю в тій же точці до поверхні обертання, утвореної при обертанні різального леза навколо осі свердла. У кожній точці різального леза в площині N-N кут має різну величину, а в площині O-O, паралельної осі свердла, він дорівнює куту нахилу гвинтової канавки.

Задній кут α , це кут, укладений між дотичної до задньої поверхні пера в точці різального леза, що розглядається, і дотичної до кола її обертання навколо осі свердла. Вимірюється в площині O-O, паралельної осі свердла і дотичної до циліндричної поверхні, на якій лежить дана точка різального леза.

Під зенкеруванням розуміється процес обробки отворів, отриманих литтям, куванням, штампуванням або попередньо просвердлених з метою покращення шорсткості поверхні та підвищення точності. Точність обробки зенкером знаходиться в межах JT 8...11, а шорсткість поверхні досягає Ra 2,5...1,25мкм. У порівнянні зі свердлом зенкер найчастіше має більшу (зазвичай 3...4) кількість різальних зубів (рис.4), а, отже, і напрямних стрічок, має більшу жорсткість і не має перемички або поперечного леза, у зв'язку з чим зменшується розбивка обробленого отвору та виведення його осі від теоретичного положення. Величина припуску під зенкерування зазвичай лежить у діапазоні не більше 1...4мм на діаметр. За типом кріплення зенкери розрізняються на хвостові і насадні, по виду отворів, що обробляються - циліндричні, конічні, комбіновані (ступенчасті).

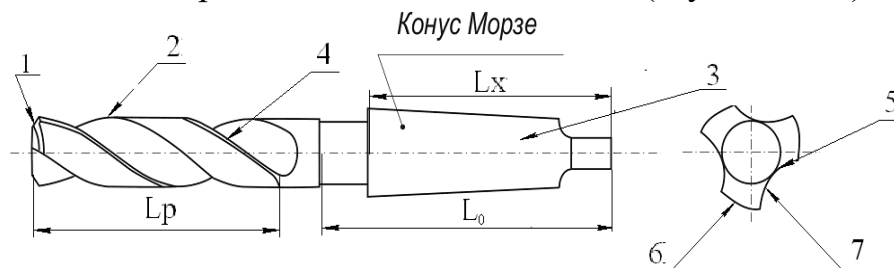


Рисунок 4 – Елементи конструкції зенкера:

- 1, 2 - різальна та калібруюча частини; 3 - корпус (хвостовик); 4 – стрічка;
5 - стружкова канавка; 6 – задня поверхня зуба; 7 – передня поверхня зуба

Під розгортанням розуміється процес остаточної обробки отвору після розточування чи зенкерування. Основними відмінними особливостями конструктивних і геометричних параметрів розгорток є: велика кількість різальних зубів і стрічок, довга калібруюча частина, мала величина забірного конуса та інші (рис.5), що дозволяє отримувати розгортанням отвору 8-го квалітету точності і шорсткості $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм. Тонким розгортанням можна досягти 7-го квалітету точності та шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,63 \dots 0,32$ мкм. Припуск на розгортання зазвичай вбирається у $0,4 \dots 0,5$ мм на діаметр.

Розрізняють розгортки ручні та машинні, хвостові та насадні, циліндричні та конічні. Розгортки виготовляють як із прямими, так і з гвинтовими зубами.

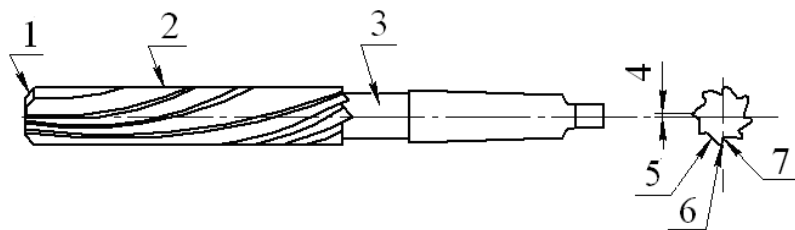


Рисунок 5 – Елементи конструкції розгорток:

- 1, 2 - різальна та калібруюча частини; 3 - корпус (хвостовик); 4 – стрічка;
5 - стружкова канавка; 6 – задня поверхня зуба; 7 – передня поверхня зуба

Нарізання різьблення в отворах на свердлильних верстатах проводять машинними мітчиками. Мітчик є загартований гвинт з вирізаними поздовжніми або гвинтовими канавками, які утворюють різальні леза (рис.6). Отримуючи обертальний рух від шпинделя верстата, мітчик вкручується в отвір і прорізає на поверхні гвинтову канавку, профіль якої відповідає профілю різьблення мітчика.

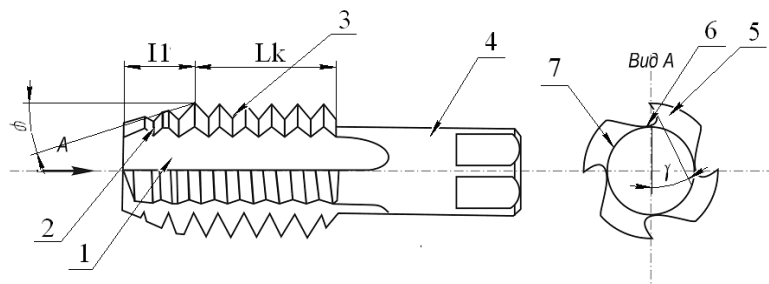


Рисунок 6 – Елементи конструкції мітчика:

- 1 – різальна частина; 2 - забірна частина; 3 - калібруюча частина; 4 – хвостовик;
5 - пір'я; 6 - стружкові канавки; 7 - серцевина

Для закріплення заготовок на свердлильних верстатах застосовують універсальні пристрої типу машинних лещат (рис.7), косинців, кронштейнів та ін.

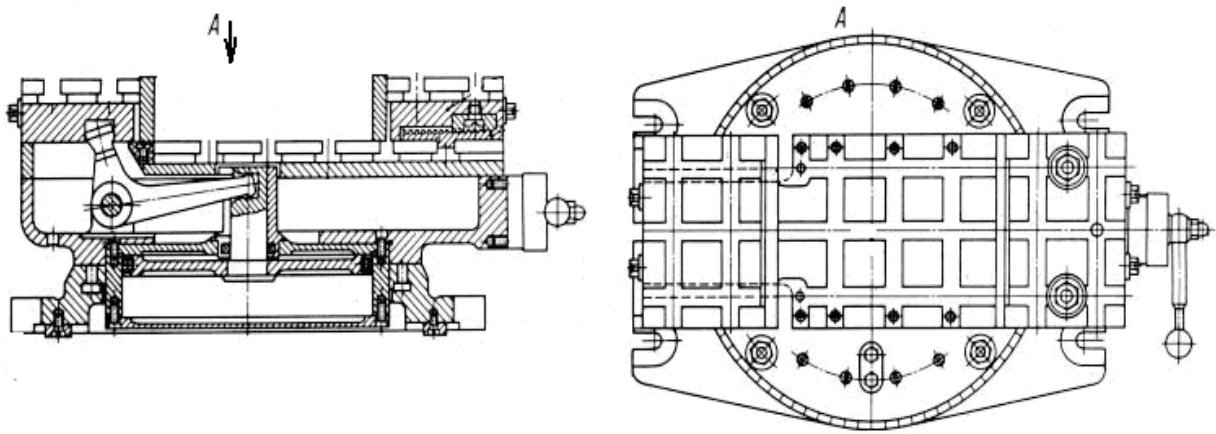


Рисунок 7 – Машинні лещата

Для збільшення продуктивності праці та підвищення точності обробки застосовують кондуктори (рис.8). Вони служать для направлення свердл, зенкерів і розгорток за допомогою кондукторних втулок різної конструкції, виготовлених із загартованої інструментальної сталі. Положення втулок в кондукторі визначає місце отворів в заготовці, що обробляється.

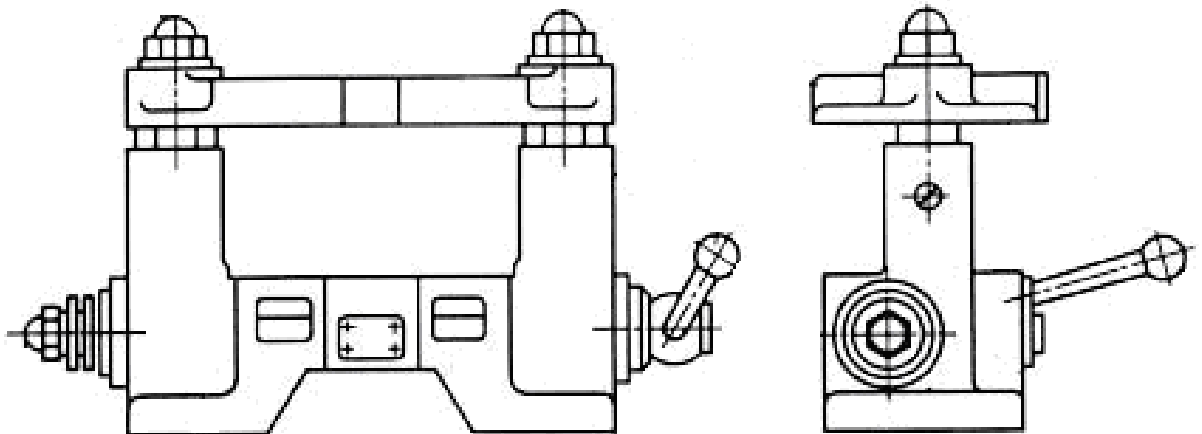


Рисунок 8 – Кондуктор скальчастий

Для одночасної обробки кількох отворів на одношпindelному вертикально-свердлильному верстаті використовують багатшпindelні головки (рис.9).

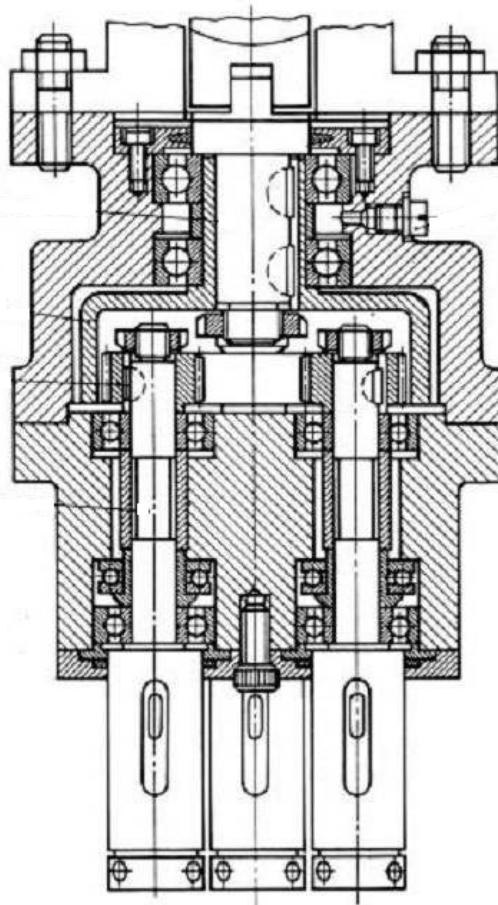


Рисунок 9 – Свердлильна головка багатошпindelьна

Різальні інструменти з циліндричним хвостовиком (зазвичай дрібнорозмірні) закріплюються у спеціальних перехідних трикулачкових патронах (рис. 10), які кріпляться через конус Морзе безпосередньо у верстаті шпинделя.

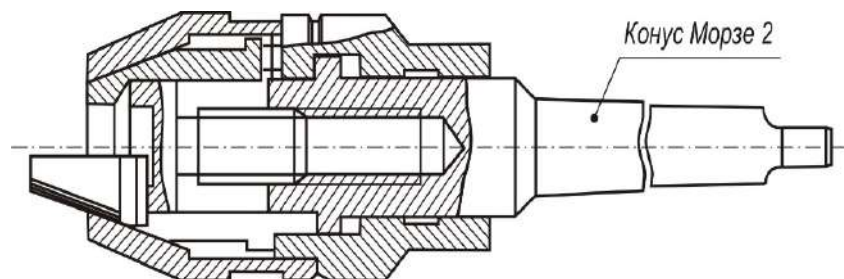


Рисунок 10 – Патрон для кріплення свердла з циліндричним хвостовиком

Різальні інструменти з конічним хвостовиком (свердла, зенкери, розгортки) закріплюють у шпинделі верстата або безпосередньо або через перехідну втулку (рис.11), якщо розмір конуса хвостовика інструмента менший за конусний отвір шпинделя, а також за допомогою патронів.

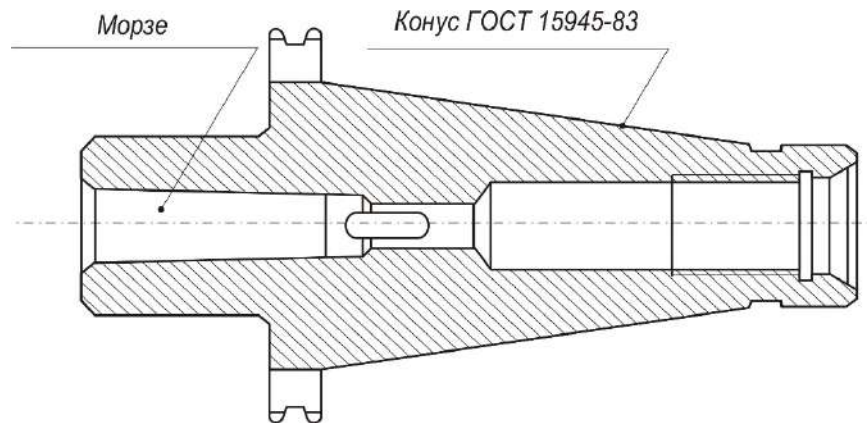


Рисунок 11 – Втулка для кріплення свердла з конічним хвостовиком

Основними вузлами свердлувального верстата (рис. 12) є фундаментна плита 1; колона 2; коробка швидкостей 3; електродвигун 4; коробка подач 5; шпиндель 6; стіл 7.

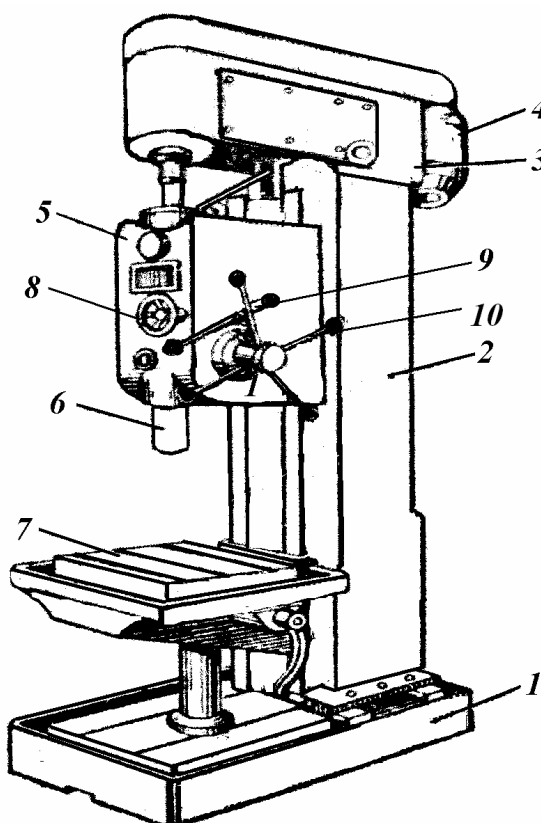


Рисунок 12 – Схема вертикально-свердлувального верстата

Колона 2 служить для монтажу на ній всіх основних вузлів та частин верстата. Вона має напрямні для вертикального переміщення коробки подач 5 і столу 7.

Коробка швидкостей 3 призначена для зміни частот і напрямку обертання

шпинделя 6. На нижній кінець шпинделя встановлюють різні пристрої для закріплення різального інструменту.

Коробка 5 подач призначена для зміни швидкостей вертикального руху подачі шпинделя 6. У свердлильному верстаті розрізняють такі рухи:

- головний рух або рух різання (обертання шпинделя з інструментом);
- рух подачі (вертикальне переміщення свердлувальної головки з різальним інструментом);
- допоміжні рухи (швидкі переміщення свердлильної головки від спеціального приводу та вертикальне переміщення столу).

До режимів різання при свердлильній обробці відноситься сукупність значень швидкості різання, подачі та глибини різання.

Швидкість різання V – лінійна швидкість обертання поверхні інструменту в зоні різання:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \text{ м/ хв,}$$

де d – діаметр інструменту, мм; n - число обертів інструмента, об/хв.

Подача S - шлях точки різального леза інструменту щодо заготовки у напрямі руху подачі за один оборот інструмента, мм/об.

Глибина різання t - товщина шару металу, що знімається за один прохід у напрямку, перпендикулярному до подачі, мм.

Припуск h - товщина шару металу, який необхідно зняти із заготовки для отримання деталі із заданими розмірами та шорсткістю поверхні, мм.

При свердлінні, зенкеруванні або розгортанні h визначають за формулою:

$$h = \frac{D - d}{2},$$

де D – діаметр інструменту; d – діаметр отвору в деталі до початку обробки.

Якщо ж з технологічних чи інших причин цього зробити не можна, то призначають чорновий та чистовий проходи. При чорновій обробці знімається до 80% припуску, при чистовій - близько 20% припуску. При цьому після чистової обробки отримують необхідну за кресленням точність і шорсткість поверхні деталі.

Розрахунок параметрів режиму різання проводиться у наступній послідовності. Спочатку вибирають глибину різання t .

Глибина різання під час свердління:

$$t = \frac{D}{2},$$

Глибина різання при зенкеруванні та розгортанні

$$h = \frac{D - d}{2},$$

де D – діаметр інструменту; d – діаметр отвору в деталі до початку обробки.

Потім за довідниками вибирають значення подачі S . Рекомендується призначити найбільше допустиме значення подачі, враховуючи вимоги точності та шорсткості обробленої поверхні, а також потужність верстата, ріжучі властивості матеріалу інструменту тощо. Вибране значення подачі коригується за паспортними даними верстата, тобто береться найближча менша величина із низки подач. Швидкість різання визначають за формулою:

$$V = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/ хв,}$$

де V - табличне значення швидкості різання з урахуванням вибраних значень глибини різання та подачі; K_1, K_2, K_3 - коефіцієнти, що залежать від оброблюваного матеріалу, матеріалу інструменту, виду обробки. Після обчислення швидкості визначають кількість обертів шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot d} \text{ об/хв.}$$

Значення n коригують за паспортом верстата, тобто. приймається найближче значення до розрахункової величини, після чого остаточно уточнюють величину швидкості різання.

Розраховують довжину проходу інструменту (L) - відстань, що проходить інструмент при обробці даної поверхні

$$L = l_0 + l_{\text{врез}} + l_{\text{пер}}$$

де l_0 - Довжина оброблюваної поверхні по кресленню, мм; $l_{\text{врез}}$ - величина врізання інструменту в заготовку при даній глибині різання ($l_{\text{врез}} = 0,5D \text{ ctg}\varphi + (1...2)$ мм); $l_{\text{пер}}$ - довжина перебігу інструменту, необхідна для його виходу за межі оброблюваної поверхні, ($l_{\text{пер}} = 0,5D \cdot \text{ctg}\varphi + (2...3)$ мм).

Після встановлення всіх необхідних режимів різання проводиться обробка згідно з кресленням.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

3.1. Вертикально-свердлильний верстат.

3.2. Набір інструментів, який застосовується при обробці на свердлильних верстатах.

3.3. Штангенциркуль, нутромір.

3.4. Допоміжний інструмент.

3.5. Зразки шорсткості поверхні.

3.6. Заготовка для виготовлення деталі за заданим кресленням.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.
- 4.2. Ознайомитись із набором інструменту для обробки отворів, їх конструкцією та призначенням.
- 4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління верстата 2Н135.
- 4.4. За заданим кресленням деталі (рис. 12) вибрати послідовність обробки поверхонь.
- 4.5. Вивчити методику налаштування верстата.
- 4.6. Підібрати інструмент для обробки отворів та призначити режими різання за таблицями (додаток 3). Отримані дані занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

№ пер.	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання			
			S , мм/об	t , мм	V , м/хв	n , об/хв

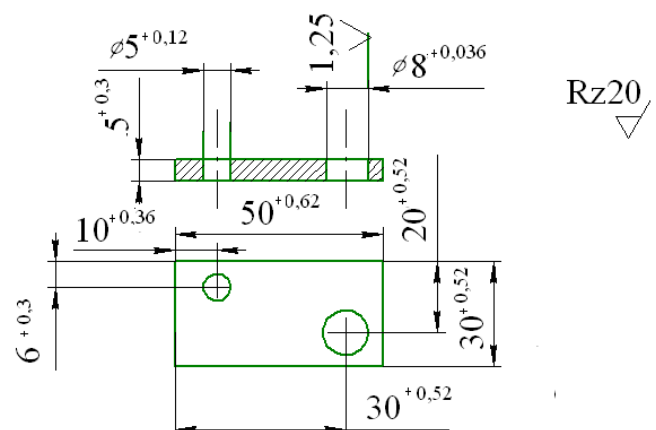


Рисунок 13 – Креслення деталі

- 4.7. Під керівництвом навчального майстра налаштувати верстат на задані режими різання та провести обробку деталі.
- 4.8. Вимкнути верстат, зняти деталь.
- 4.9. Виміряти готову деталь та зробити ескіз із простановою розмірів.
- 4.9. Зробити висновок щодо відповідності точності обробленої деталі вимогам креслення.
- 4.10. Провести оцінку шорсткості оброблених поверхонь.
- 4.11. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.
- 5.4. Вихідні дані для налаштування верстата (таблиця 1).
- 5.5. Операційні ескізи з переходів.
- 5.6. Висновок про відповідність точності оброблених поверхонь вимогам креслення.
- 5.7. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які поверхні можна обробити на свердлильному верстаті?
2. Яка точність та шорсткість поверхні можуть бути отримані при обробці на свердлильних верстатах?
3. Основні вузли та механізми верстата, їх призначення.
4. Органи управління верстатом та їх розташування.
5. Порядок налагодження верстата під час обробки поверхонь.
6. Які дані необхідні для налагодження верстата?
7. Як визначити режим різання при обробці на свердлильному верстаті?
8. Який інструмент можна використовувати на свердлильному верстаті?

Лабораторна робота №13. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з технологічними можливостями універсального фрезерного обладнання у процесі обробки різних поверхонь деталей, конструкцією фрез різних типів та загальною конструкцією фрезерних верстатів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Фрезерування – процес механічної обробки, при якому різальний інструмент – фреза, здійснює обертальний рух (зі швидкістю різання V), а оброблена заготовка – поступальне (зі швидкістю подачі S). При фрезеруванні утворюється уривчаста стружка змінного перерізу. Різальні зубці можуть розташовуватися на циліндричній та на торцевій поверхні фрези. Кожен зуб фрези є найпростішим інструментом – різцем. Фрези зазвичай багатозубий інструмент. Поверхні та різальні кромки зубів циліндричної фрези (рис. 1,а): 1 – передня поверхня; 2 – головна різальна кромка; 3 – головна задня поверхня; 4 – допоміжна задня поверхня; 5 – спинка зуба; 6 – канавка. Головна різальна кромка циліндричної фрези може бути прямолінійною (по утворюючій циліндра), похилою до утворюючої циліндра та гвинтовою. У зубців торцевих фрез розрізняють (рис. 1,б): головну різальну кромку 1, розташовану під кутом φ до напрямку подачі; допоміжну різальну кромку 5, розташовану під кутом φ_1 до напрямку подачі; перехідну різальну кромку 4, що з'єднує кромки 1 та 5.

Фрезерування застосовується для обробки площин пазів з прямолінійним та гвинтовим напрямом, шліців, тіл обертання, розрізання заготовок, утворення різьблення, а також для отримання фасонних поверхонь. Головний рух при фрезеруванні здійснюється за рахунок обертання фрези, а рух подачі (поступальний або обертальний) – переміщенням або обертанням заготовки. Процес фрезерування може забезпечити точність деталей у межах 8...11-го квалітетів та шорсткість оброблених поверхонь – $Rz\ 20... Rz\ 5$.

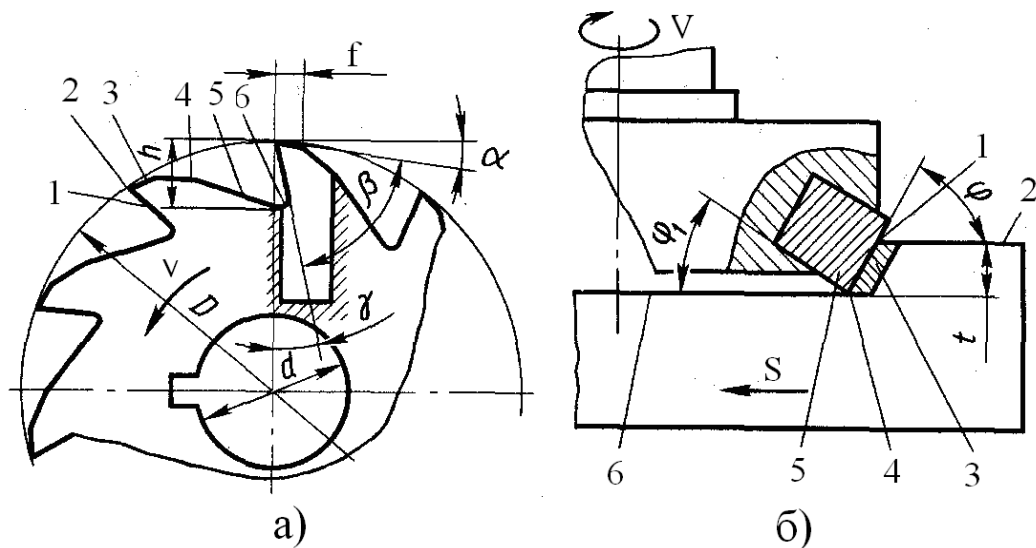


Рисунок 1 – Зуб фрези: а – циліндричної; б - торцевої

Фрези є найпоширенішим видом різального інструменту. За технологічною ознакою розрізняють фрези для обробки площин, пазів, шліців, фасонних поверхонь, тіл обертання, зубчастих та різьбових поверхонь, розрізання матеріалу та ін.

За конструктивними ознаками фрези поділяють наступним чином: 1) за розташуванням зубів на вихідному циліндрі (торцеві, циліндричні, дискові, двосторонні, кутові, фасонні, кінцеві та ін); 2) за конструкцією зуба (з гострозаточеними і потильованими зубами); 3) у напрямку зуба (з прямими, похилими, гвинтовими, рівноспрямованими зубами); 4) по конструкції фрези (цілісні, складові, зі вставними зубами, збірні); 5) за способом кріплення (насадні, кінцеві з конічним або циліндричним хвостовиком); 6) за складом інструментального матеріалу різальної частини (із швидкорізальної сталі, твердих сплавів, різальної кераміки, надтвердих матеріалів). Основні типи фрез показано на рисунку 2.

Циліндричні та торцеві фрези призначені для обробки площин, дискові фрези (пазові, двосторонні, тристоронні) застосовують для фрезерування пазів, уступів та бічних площин. Прорізні та відрізні фрези використовують для прорізування вузьких пазів та розрізання матеріалів. Кінцеві фрези застосовують для обробки пазів, уступів і площин шириною $B \leq 0,8D$, де D - діаметр кінцевої фрези.

Кутові фрези застосовують в основному для фрезерування стружкових канавок різальних інструментів та скосів. Також є фрези, які призначені для фрезерування фасонних поверхонь.

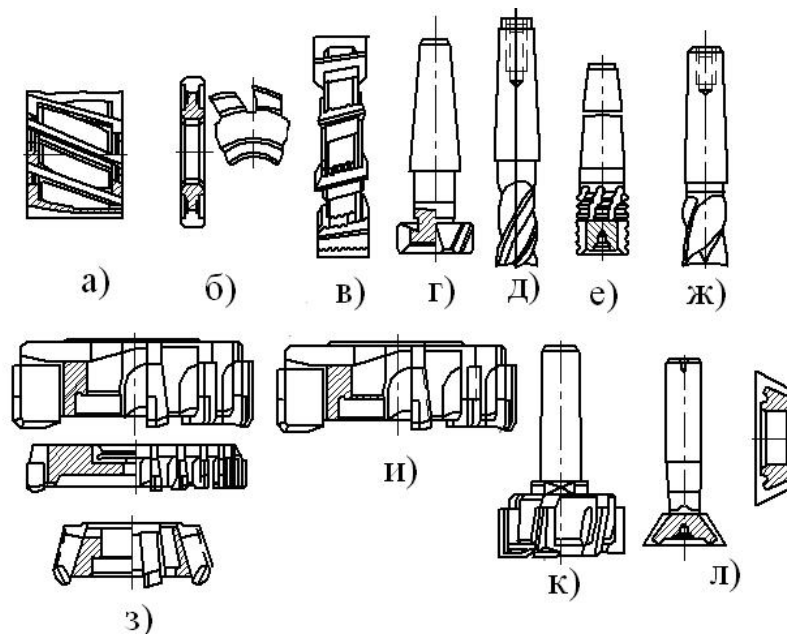


Рисунок 2 – Основні типи фрез: а – циліндрична; б, в – дискова; г - Т-подібна; д – кінцева; е – кінцева обдирна; ж – шпонкова; з - торцева насадна; и - торцева східчаста; к - торцева з хвостовиком; л – кутова

При циліндричному фрезеруванні вісь фрези паралельна оброблюваній поверхні; обробка здійснюється зубами, розташованими на циліндричній поверхні фрези. При торцевому фрезеруванні вісь фрези перпендикулярна до обробленої поверхні; у роботі беруть участь зуби, розташовані як на торцевій, так і на циліндричній поверхні фрези.

Геометричні параметри фрез показано на прикладі циліндричних прямо-, і косозубих та торцевих фрез (рис. 3 та 4).

Для циліндричних фрез (рис. 3,а) γ - передній кут, утворений дотичної до передньої поверхні і осьової площиною, тобто лінією радіуса, що проходить через точку, що розглядається на різальному лезі, розглядається в площині N-N.

Задній кут α забезпечує зменшення сил тертя задньої поверхні зуба по поверхні різання. Цей кут укладено між дотичної до траєкторії руху розглянутої точки різального леза навколо осі фрези, що приймається за коло, і задньою поверхнею.

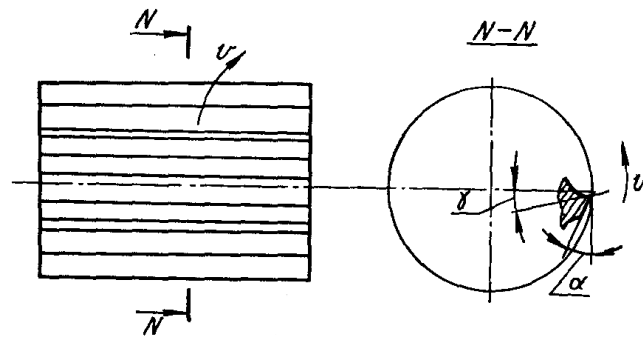


Рисунок 3 – Деякі геометричні параметри різальної частини циліндричної фрези

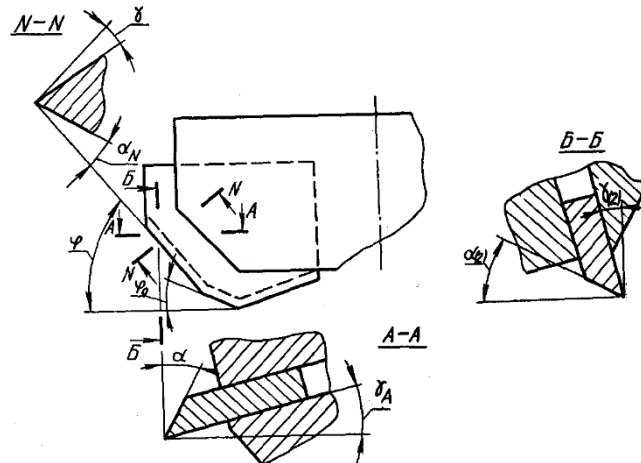


Рисунок 4 – Геометричні параметри різальної частини торцевої фрези

У торцевих фрез (рис. 4) різальні леза оформляються, як і у прохідних різців, з перехідними лезами. Визначення кутів торцевої фрези аналогічні до визначення кутів прохідного різця. Наприклад, головний кут у плані φ - кут, укладений між проекцією головного різального леза на основну (осьову) площину і напрямком подачі; $\varphi_0 = \varphi/2$ – кут у плані перехідного різального леза. Вимірювання головного переднього кута γ проводиться в нормальній до головного різального леза площині $N-N$, а заднього α в площині траєкторії руху точки різального леза, тобто в площині $A-A$, перпендикулярної до осі фрези і збігається з напрямком подачі.

Геометричні параметри фрез призначаються в залежності від властивостей матеріалу, що обробляється, умов обробки, їх конструктивних параметрів тощо.

Торцеве і циліндричне фрезерування можна виконувати двома способами: зустрічним фрезеруванням, коли напрямок подачі протилежно напрямку обертання фрези, і попутним фрезеруванням, коли напрямок подачі збігається з напрямком обертання фрези.

При зустрічному фрезеруванні навантаження на зуб фрези збільшується поступово, процес різання закінчується з найбільшою товщиною шару, що зріза-

ється. При попутному фрезеруванні зуб починає різання з шару найбільшої товщини, тому в момент входу зуба в контакт з заготовкою, що обробляється, спостерігається явище удару. При зустрічному фрезеруванні процес різання відбувається спокійніше, оскільки товщина зрізаного шару зростає плавно і, отже, навантаження верстат зростає поступово. Попутне фрезерування слід виконувати на верстатах, що мають достатню жорсткість та вібростійкість.

Обробку фрезами виконують на фрезерних верстатах. Розрізняють дві основні групи фрезерних верстатів: 1) загального призначення або універсальні (вертикально-фрезерні, горизонтально-фрезерні, поздовжньо-фрезерні); 2) спеціалізовані (шліцефрезерні, шпонково-фрезерні, різьбофрезерні та ін.).

За конструктивними особливостями ці верстати поділяються на консольні (стіл розташований на підйомному кронштейні консолі), безконсольні - стіл переміщується на нерухомій станині в поздовжньому та поперечному напрямках) та безперервної дії (карусельні та барабанні). Основні вузли фрезерних верстатів показані на рисунках 5 та 6.

Станина служить для монтажу всіх основних вузлів і частин верстата. Вона має напрямні для вертикального переміщення столу.

Коробка швидкостей призначена для зміни частот та напрямку обертання шпинделя. На кінець шпинделя, що є пустотілим валом, встановлюють різні інструментальні пристрої для закріплення фрез.

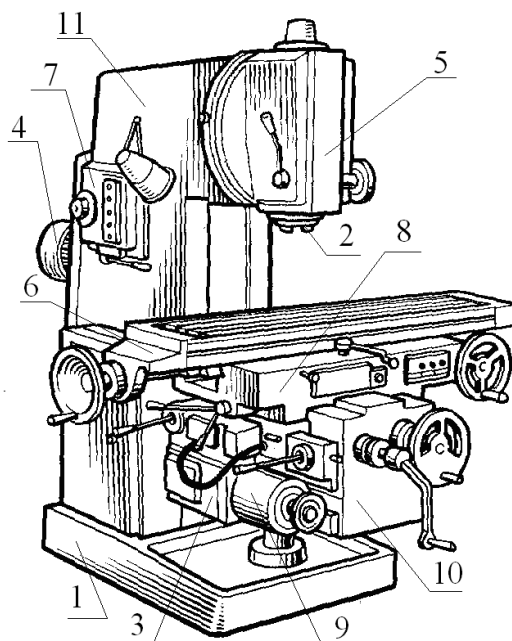


Рисунок 5 – Загальний вигляд вертикально-фрезерного верстата:

- 1 – станина; 2 – шпиндель; 3 – коробка подач; 4 – електродвигун;
- 5 – поворотна головка; 6 – робочий стіл; 7 – коробка швидкостей; 8 – салазки;
- 9 – механізм перемикання подач; 10 – консоль

Коробка подач призначена для зміни швидкостей та напрямків поздовжнього, поперечного та вертикального рухів подачі столу та консолі.

Стіл верстата призначений для кріплення на поверхні пристосувань для базування та затиску заготовок. Для базування та кріплення пристроїв на поверхні столу верстата виконані Т-подібні пази.

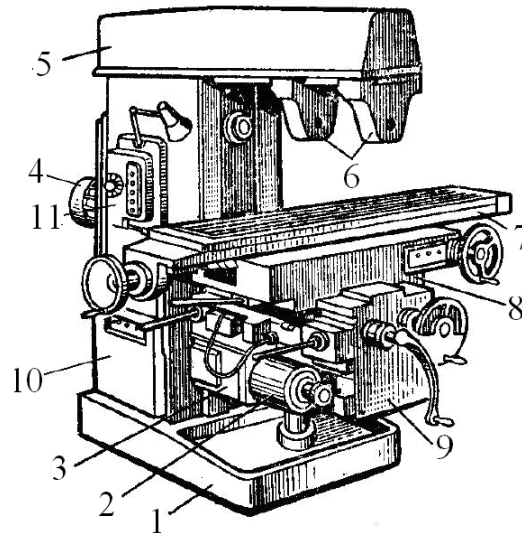


Рисунок 6 – Загальний вигляд горизонтально-фрезерного верстата:
1 – станина, 2 – механізм перемикавання, 3 – коробка подач, 4 – електродвигун,
5 – хобот, 6 – кронштейни додаткової опори шпиндельної оправки, 7 – стіл,
8 – салазки, 9 – консоль, 10 – шафа для електроустаткування, 11 – коробка швидкостей

У фрезерному верстаті розрізняють такі рухи:

- головний рух або рух різання (обертання шпинделя з фрезою);
- рух подачі (подовжнє, поперечне або вертикальне переміщення столу із заготовкою);
- допоміжні рухи (швидкі переміщення столу від спеціального приводу).

Заготовки, що обробляються, на фрезерних верстатах можуть закріплюватися в пристосуваннях, показаних на рисунках 7...10:

До режимів різання при фрезерній обробці відноситься сукупність значень швидкості різання, подачі та глибини різання.

Швидкість різання V - лінійна швидкість обертання фрези у зоні різання

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ м/хв,}$$

де d – діаметр фрези, мм; n - число оборотів фрези, об/хв.

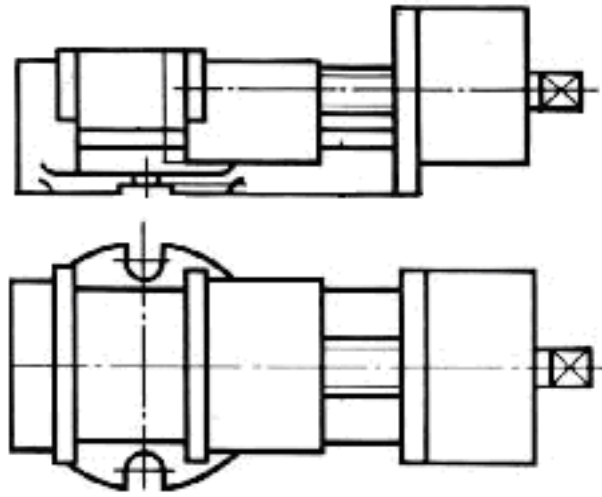


Рисунок 7 – Лещата машинні

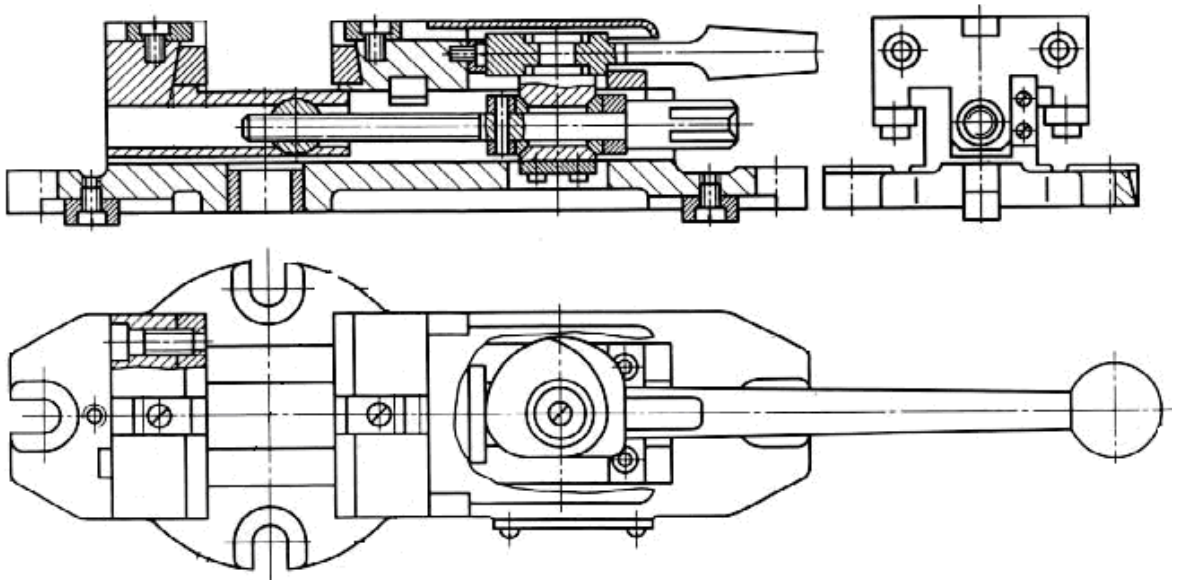


Рисунок 8 – Лещата з ексцентриковим затискачем

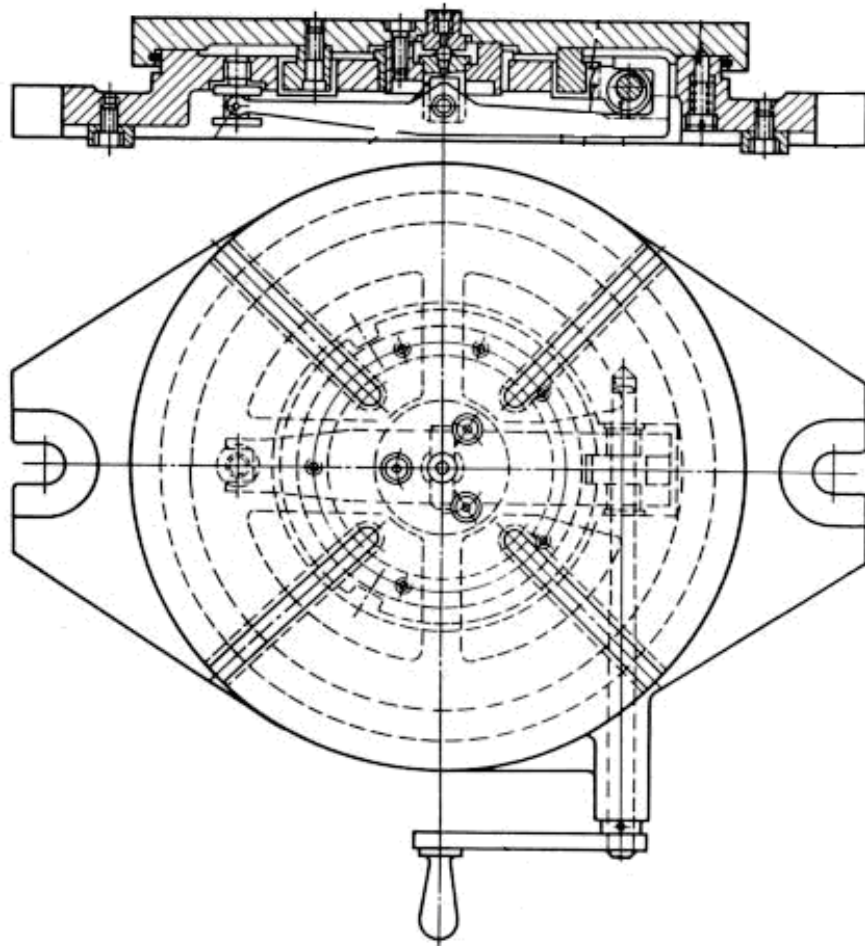


Рисунок 9 – Стіл поворотний

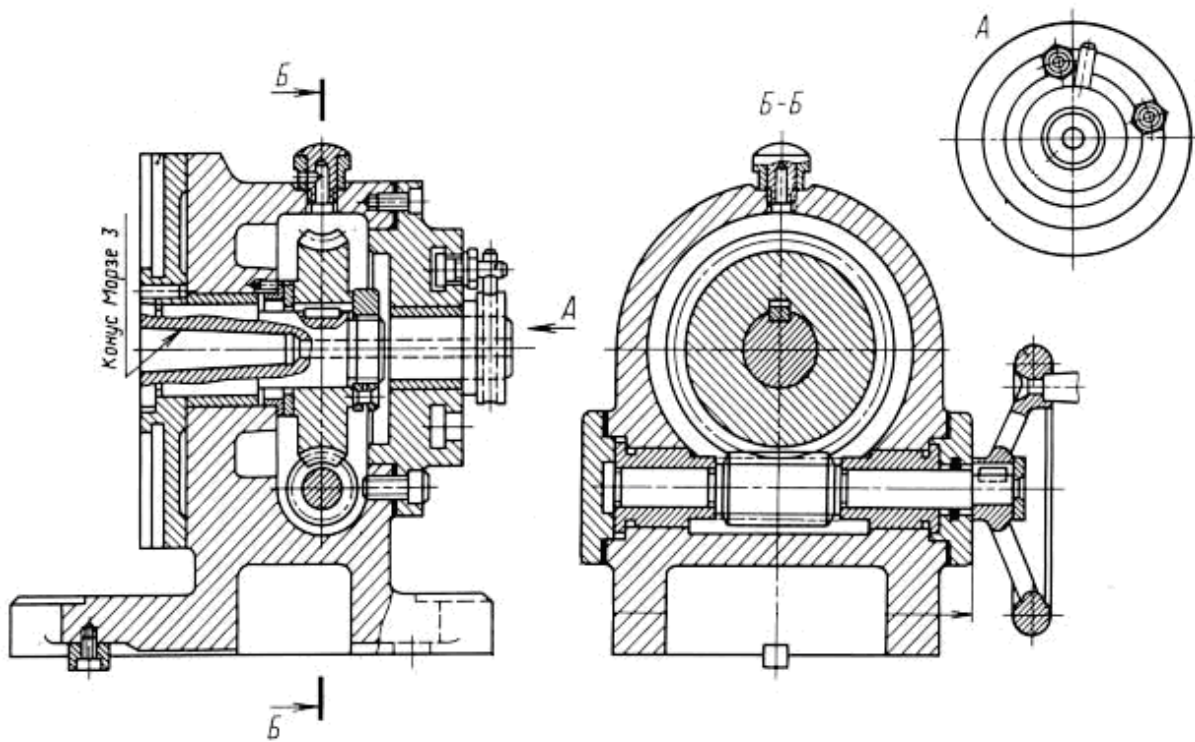


Рисунок 10 – Ділильна головка

Розрахунок параметрів режиму різання проводиться у наступній послідовності. Спочатку вибирають глибину різання t , прагнучі весь припуск на обробку зрізати за один прохід. Якщо ж з технологічних чи інших причин цього зробити не можна, то призначають чорновий та чистовий проходи. При чорновій обробці знімається до 80% припуску, при чистовій - близько 20% припуску. При цьому після чистової обробки отримують необхідну за кресленням точність і шорсткість поверхні деталі.

Глибина різання при фрезеруванні визначається залежно від виду фрезерування (рис. 11).

При визначенні глибини різання необхідно враховувати, що при чистовій обробці глибина різання та кількість проходів i будуть залежати від заданої шорсткості обробленої поверхні. Так, при значеннях шорсткості $3,2 > Ra > 0,8$ мкм глибина різання $t = 0,5 \dots 2,0$ мм; при $Ra = 0,8$ мкм - $t = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Потім за довідниками вибирають значення подачі S . Рекомендується призначати найбільше допустиме значення подачі, враховуючи вимоги точності та шорсткості обробленої поверхні, а також потужність верстата, різальні властивості матеріалу інструменту тощо.

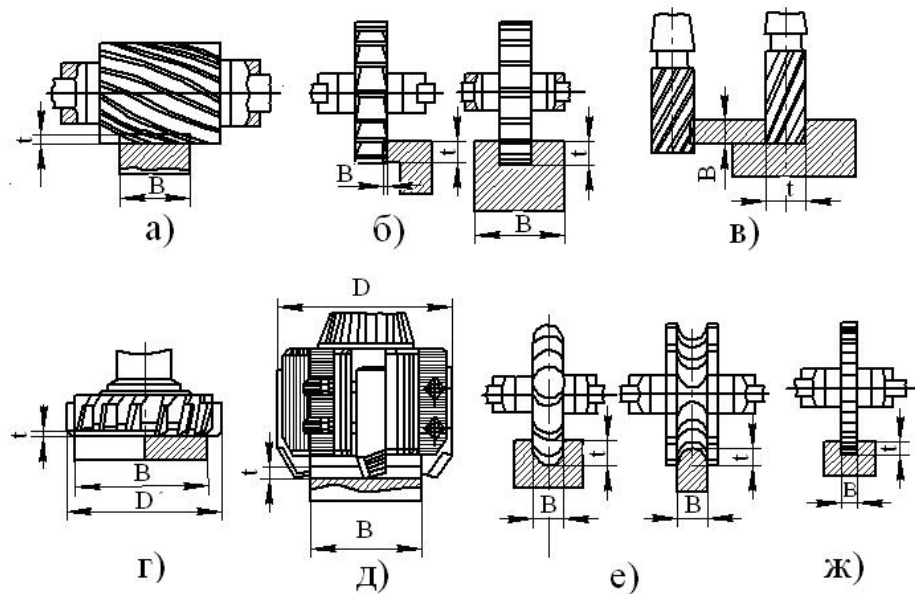


Рисунок 11 – Схеми визначення глибини різання залежно від виду фрезерування

Вибране значення подачі коригується за паспортними даними верстата, тобто береться найближча менша величина із низки подач. Швидкість різання визначають за формулою:

$$V = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2)$$

де V - табличне значення швидкості різання (вибирається з урахуванням обраних

значень глибини різання та подачі), м/хв; K_1, K_2, K_3 - коефіцієнти, що залежать від оброблюваного матеріалу, матеріалу інструменту, виду обробки.

Після обчислення швидкості визначають кількість обертів шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot d},$$

Значення n коригують за паспортом верстата, тобто приймається найближче значення до розрахункової величини, після чого остаточно уточнюють величину швидкості різання.

Розраховують необхідну кількість проходів i – кількість робочих ходів інструменту, необхідну для зняття припуску та розрахункову довжину проходу інструменту L – відстань, що проходить інструмент при обробці даної поверхні

$$i = \frac{h}{t}$$

$$L = l_0 + l_{\text{врез}} + l_{\text{пер}}$$

де h – припуск на цьому переході, мм; t – глибина різання на цьому переході, мм. l_0 - довжина оброблюваної поверхні по кресленню, мм; $l_{\text{врез}}$ - величина врізання інструменту в заготовку при даній глибині різання, мм; $l_{\text{пер}}$ - довжина перебігу, необхідна для виходу інструменту за межі оброблюваної поверхні, мм.

При фрезеруванні циліндричними, кінцевими та дисковими фрезами:

$$l_{\text{врез}} = \sqrt{t(D_{\phi} - t)} + (2...3)\text{мм},$$

торцевими фрезами:

$$l_{\text{врез}} = \sqrt{B(D_{\phi} - B)} + (2...3)\text{мм},$$

а перебіг, відповідно, $l_{\text{пер}} = 3...5$ мм.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

- 3.1. Фрезерний верстат.
- 3.2. Набір фрез. Штангенциркуль, мікрометр.
- 3.3. Допоміжний інструмент.
- 3.4. Зразки шорсткості поверхні.
- 3.5. Заготовка для виготовлення деталі за заданим кресленням.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.
- 4.2. Ознайомитись з набором фрез, їх конструкцією та призначенням.

4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління фрезерного верстата. Вивчити методику налаштування верстата.

4.4. За заданим кресленням деталі (рис. 12) вибрати послідовність обробки поверхонь, що забезпечує отримання заданої точності та шорсткості поверхні. Підібрати інструмент.

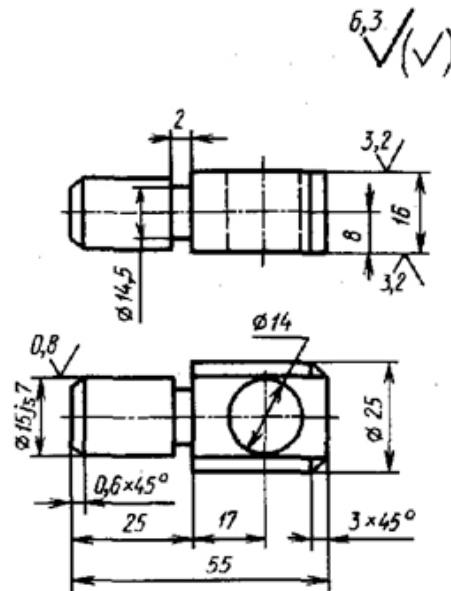


Рисунок 12 – Креслення деталі

4.5. Призначити режими обробки за допомогою таблиць Д.4.1, Д.4.2 (додаток 4). Отримані дані занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата.

№	Зміст переходу	Інструмент	Режими різання				
			S_z , мм/зуб	$S_{мин}$, мм/хв	t , мм	V , м/хв	n , об/хв
1							
2							

4.6. Під керівництвом навчального майстра налаштувати верстат на задані режими різання та провести обробку деталі.

4.7. Вимкнути приводи подач та головного руху.

4.8. Зняти заготовку. Зробити вимірювання обробленої поверхні і зробити ескіз деталі з простановкою розмірів.

4.9. Зробити оцінку шорсткості оброблених поверхонь

4.10. Вимкнути та прибрати верстат.

4.11. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.
- 5.4. Вихідні дані налагодження верстата (таблиця 1).
- 5.5. Операційні ескізи з переходів.
- 5.6. Ескіз оброблені деталі.
- 5.7. Висновок про відповідність точності оброблених поверхонь вимогам креслення.
- 5.8. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які поверхні можна обробити на фрезерному верстаті?
2. Яка точність та шорсткість поверхні можуть бути отримані при обробці на фрезерних верстатах?
3. Основні вузли та механізми фрезерного верстата, їх призначення.
4. Органи управління фрезерним верстатом та їх розташування.
5. Порядок налагодження верстата для обробки плоских поверхонь і пазів.
6. Дані необхідні для налагодження верстата.
7. Як визначити режими різання під час обробки деталі на фрезерному верстаті?
8. Який інструмент може застосовуватися при обробці плоскої горизонтальної поверхні?
9. Який різальний інструмент може застосовуватися для обробки Т-подібного паза?
10. Який інструмент може застосовуватися при обробці фасонної поверхні?

Лабораторна робота №14. ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з технологічними можливостями шліфувальних верстатів в процесі обробки різних поверхонь деталей (плоских, зовнішніх та внутрішніх циліндричних) та конструкцією шліфувальних верстатів різних типів.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Шліфування - метод обробки матеріалів різанням за допомогою абразивних інструментів, різальними елементами яких є зерна абразивних матеріалів, що мають високу твердість, теплостійкість і гострі кромки. Абразивні зерна розташовані в шліфувальному колі безладно і їх утримує сполучний матеріал. При обертанні шліфувального круга абразивні зерна, що виступають, зрізають із заготовок своїми кромками дуже тонкий шар металу. Завдяки малому перерізу зрізу та високій швидкості обертання круга шліфування забезпечує високу точність обробки.

Шліфувальні верстати забезпечують точність обробки 6...7-го квалітету і шорсткість оброблюваної поверхні $Ra = 1,25...0,32$ мкм (звичайне шліфування), $Ra = 0,38...0,08$ мкм (тонке шліфування) і $Ra = 0,08...0,02$ мкм (оздоблювальне шліфування). За класифікатором група шліфувальних верстатів позначена цифрою 3 (перша цифра позначення моделі). Друга цифра вказує тип верстата: наприклад, 1 – круглошліфувальні (модель 3161); 2 – внутрішньошліфувальні верстати (модель 3228); 6 – заточна модель 364); 7 – плоскошліфувальні з прямокутним (модель 371) та круглим (модель 3756) столом.

До абразивних інструментів відносяться шліфувальні круги, сегменти та бруски. Абразивний інструмент характеризується формою та розмірами, абразивним матеріалом, зернистістю, твердістю та структурою. До природних абразивних матеріалів відносяться алмаз, корунд (80... 95% Al_2O_3 , решта домішки), наждак (20... 60% Al_2O_3), кварц (SiO_2). Найбільше застосування знаходять синтетичні абразивні матеріали: електрокорунди нормальний (92...95 % Al_2O_3), білий (96...99 % Al_2O_3), хромистий (з домішками хромистих сполук), титанистий (містить 2 % TiO_2), монокорунд (Al_2O_3), карбід кремнію (карборунд): зелений (96... 99% SiC), чорний (95... 98% SiC), карбід бору (B_2C). Електрокорунди застосовують при обробці пластичних матеріалів (сталь, чавун, бронза тощо). Зелений ка-

рбід кремнію застосовують при заточуванні твердосплавного інструменту, чорний - при обробці сірого чавуну, алюмінієвих сплавів. Сполучні матеріали бувають: неорганічні (керамічна, магнезіальна, силікатна зв'язки), органічні (бакелітова та вулканітова зв'язки), металеві. Керамічні зв'язки є сумішами вогнетривкої глини, польового шпату, кварцу, крейди та інших складових. Шліфувальні круги на керамічній зв'язці мають високу міцність, вогнетривкі, мають хімічну стійкість. Їхнім недоліком є крихкість.

Бакелітова зв'язка є штучною смолою, отриманою з карболової кислоти і формаліну. Круги на бакелітовій зв'язці міцні, еластичні і можуть працювати при великих окружних швидкостях (до 50 м/с). При температурах 180-200 °С міцність зв'язки зменшується.

Вулканітова зв'язка складається з 70 % каучуку та 30 % сірки. Круги на вулканітовій зв'язці можуть працювати при великих окружних швидкостях (до 70 м/с), вони міцні, еластичні. Круги мають більшу, ніж круги на бакелітовій зв'язці пружність і використовуються для відрізання і прорізання. Недоліком їх є низька теплостійкість (150... 200 °С), тому при роботі потрібне рясне охолодження.

Металеві зв'язки виготовляють із сплавів міді, олова, цинку, алюмінію, нікелю та використовують в основному для алмазних інструментів.

Зернистість шліфувального круга вибирають залежно від властивостей оброблюваного матеріалу, шорсткості поверхні та точності. Круги з відносно більшим зерном застосовують при чорновому шліфуванні, коли потрібна велика продуктивність і при обробці в'язких матеріалів, щоб уникнути «засолювання» шліфувального круга.

Твердість абразивного інструменту характеризує опір зв'язування вириванню абразивних зерен з поверхні під дією зовнішніх сил. При рівномірному вириванні зерен по всій поверхні круга на місце зерен, що випали, в процес різання вступають нові гострі зерна, таким чином, відбувається самозаточування інструменту. Якщо твердість круга надмірно висока, то сила різання не може вирвати зерно зі зв'язки. У цьому випадку відбувається засолювання круга, що призводить до різкого погіршення якості обробленої поверхні. Засолювання слід уникати правильним вибором характеристики круга.

Під структурою абразивного інструменту розуміють співвідношення між абразивними зернами, зв'язкою та порами. Розрізняють три групи структур:

- щільна, номери 0...3, містить абразивні зерна (за обсягом) 62...56 %;
- середня, номери 4... 8, зерен 54... 48 %;
- відкрита, номери 9... 12, зерен 44... 38 %.

Круги зі структурами № 4 та № 5 застосовують для зовнішнього круглого

шліфування; № 6 – для внутрішнього шліфування; № 7 та № 8 – для плоского шліфування.

Абразивні інструменти, що випускаються промисловістю, маркують на неробочих поверхнях. У маркуванні вказують форму інструменту, абразивний матеріал та його зернистість, твердість, номер структури, зв'язку, клас круга. Особливо зазначається максимальна окружна швидкість. Наприклад, маркування круга таке: ПП 15А25НС17К1А 35 м/с: ПП – плоске коло прямого профілю, 15А – маркування матеріалу, електрокорунд нормальний, 25 – зернистість, Н – індекс зернистості, С1 – твердість круга середня, 7 – номер структури, зв'язка керамічна, А – клас круга, 35 м/с – допустима окружна швидкість.

Приклад 1: Умовне позначення круга типу 1 зовнішнім діаметром 500 мм, висотою 50 мм, діаметром посадкового отвору 305 мм, з білого електрокорунду марки 24А, зернистості 16 Н, ступеня твердості С2, номером структури 7, на керамічній зв'язці КПП 3 /с, клас точності А, 1- го класу неврівноваженості: 1 500x50x305 24А16НС27КПП 35 м/с.

Приклад 2: Умовне позначення круга типу 1 зовнішнім діаметром 400 мм, висотою 4 мм, діаметром посадкового отвору 32 мм, з нормального електрокорунду марки 14А, зернистості 63Н, зі звуковим індексом 41, на бакелітовій зв'язці (Б), з зміцнюючими елементами (У), з робочою швидкістю 80 м/с, 2-го класу неврівноваженості для різання металу: 1400x4x32 14А63Н41БУ 80 м/с.

Залежно від розташування та форми оброблюваної поверхні заготовки шліфування поділяють на такі види: зовнішнє, коли обробляється зовнішня поверхня заготовки; внутрішнє, коли обробляється внутрішня поверхня заготовки; плоска, коли обробляється плоска поверхня; профільне, коли обробляється поверхня, що утворює у перерізі криву або ламану лінію.

Шліфування поверхні обертання називають круглим шліфуванням, сферичної поверхні – сферошліфуванням, бічних поверхонь зубів зубчастих коліс – зубошліфуванням, бічних сторін та западин профілю різьблення – різьбошліфуванням, шліцьових поверхонь – шліцьошліфуванням.

Головним рухом різання при шліфуванні є обертання шліфувального круга, що визначає швидкість головного руху різання V м/с. Рух подачі визначається способом шліфування і формою поверхні, що шліфується.

Швидкість різання при шліфуванні складає: 25...35 м/с (звичайне шліфування), 35...60 м/с (швидкісне шліфування) та понад 60 м/с високошвидкісне шліфування. При шліфуванні швидкість різання значно перевищує швидкість подачі.

При зовнішньому круглому шліфуванні заготовка отримує обертання зі

швидкістю кругової подачі V_0 , зворотно-поступальний рух з поздовжньою подачею S_{np} , а шліфувальний круг - періодичний поперечний рух подачі S_n (рис. 1,а).

Врізне шліфування здійснюють по всій ступені заготовки з безперервним поперечним рухом подачі круга (рис. 1,б).

Глибинне кругле шліфування здійснюють при встановленні круга на глибину припуску t з одностороннім поздовжнім рухом подачі S_{np} ; поперечний рух подачі відсутній (рис. 1,в).

Аналогічно зовнішньому шліфування здійснюють внутрішнє шліфування: поздовжнє на прохід (рис. 1,г) і планетарне (рис. 1,д).

При плоскому шліфуванні деталь отримує зворотно-поступальний рух подачі S , шліфувальний круг - періодичний поперечний рух подачі S_n і після знімання припуску по всій довжині деталі, періодичне вертикальне переміщення S на глибину t припуску (рис. 1,е).

Плоскошліфувальні верстати з круглим столом мають кругову подачу S_k деталі і періодичну вертикальну подачу S , круга.

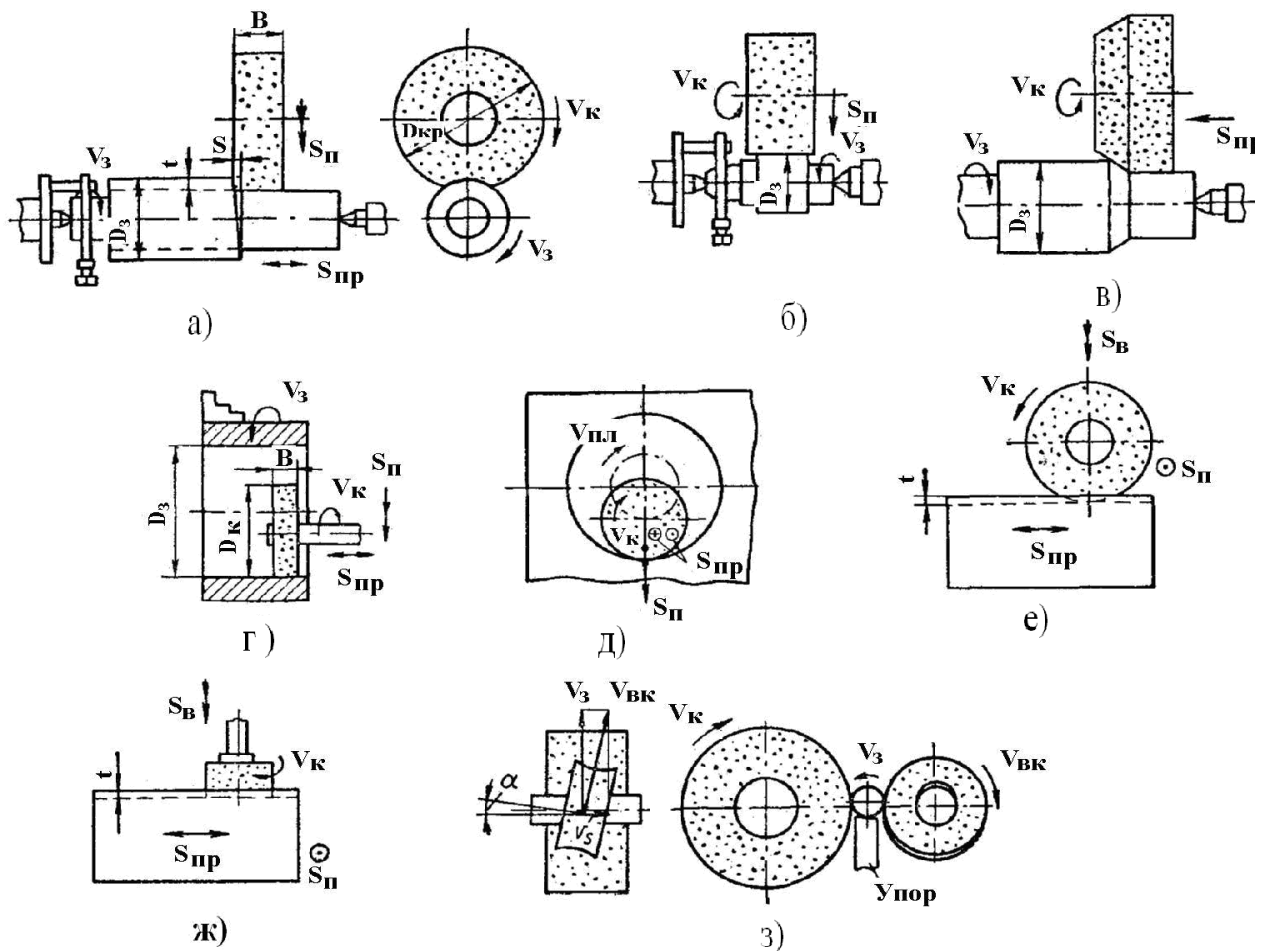


Рисунок 1 – Види шліфування: а) зовнішнє кругле; б) врізне; в) глибинне кругле шліфування; г) внутрішнє на прохід; д) внутрішнє планетарне; ж) плоске шліфування; е) плоске шліфування торцем круга; з) безцентрове

На рисунку 2 показаний загальний вигляд круглошліфувального верстата. Верстат призначений для одиничного, дрібносерійного та серійного виробництва. Заготовка може встановлюватися і кріпитися в центрах, що не обертаються, в патроні або в планшайбі. Рух виконавчих органів верстата здійснюється від ряду електродвигунів за допомогою механічних та гідравлічних пристроїв.

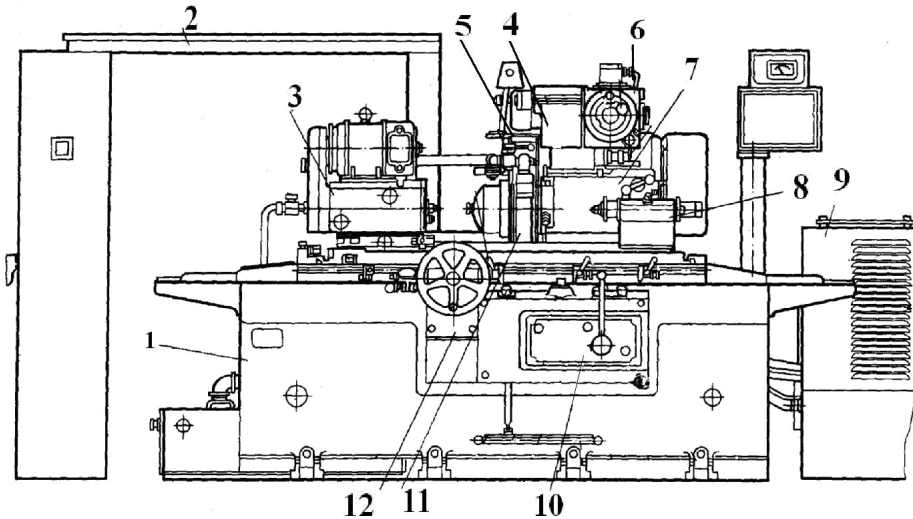


Рисунок 2 – Загальний вигляд круглошліфувального верстата: 1 – станина; 2 – електрообігрівач; 3 – передня бабка; 4 – пристрій для внутрішнього шліфування; 5 – кожух шліфувального круга; 6 – механізм подач шліфувальної бабки; 7 – шліфувальна бабка; 8 – задня бабка; 9 – система гідроприводу та змащування; 10 – система гідроправління; 11 - шліфувальний круг; 12 – механізм ручного пересування столу.

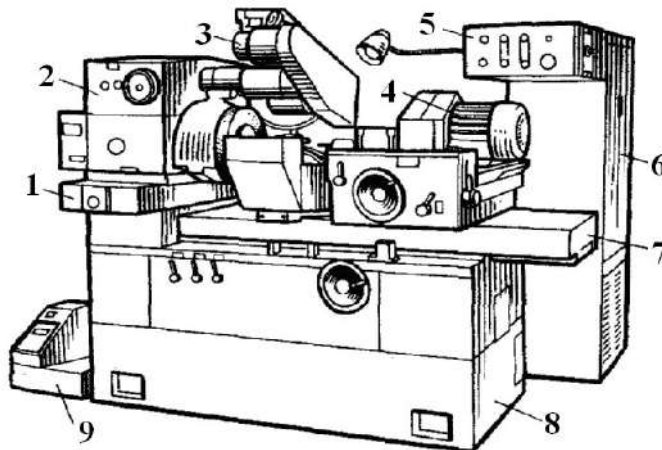


Рисунок 3 – Загальний вигляд внутрішньошліфувального верстата:
 1 – міст; 2 – передня бабка; 3 - торцешліфувальний пристрій;
 4 - шліфувальна бабка; 5 – пульт управління; 6 – електрошкафа; 7 – стіл;
 8 – станина; 9 – бак для ЗОТР

Міст 1 (рис. 3) з бабкою 2 розташований на верхній площині станини 8. При

налагодженні салазки, що несуть бабку 2, переміщуються напрямними ковзання моста. Торцешліфувальний пристрій 3 встановлено на бабці 2. Стіл 7 зі шліфувальною бабкою 4 здійснює зворотно-поступальні переміщення (від гідроциліндра) вздовж станини по напрямних кочення. У баку 9 розташований електронасос та магнітний сепаратор для очищення ЗОТР. Ззаду верстата встановлена насосна станція, електрошафа 6 (з електроапаратурою та пультом управління 5), а також пневмоагрегат для подачі масляного туману до опор шпинделя.

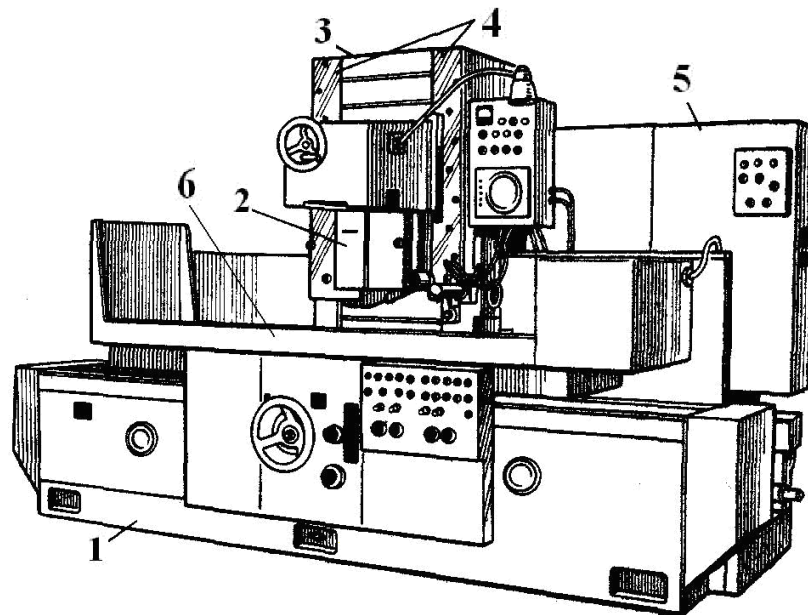


Рисунок 4 – Загальний вигляд плоскошліфувального верстата:
 1 – станина; 2 – шліфувальна бабка; 3 – колона; 4 – напрямні;
 5 – електрошафа; 6 – стіл

Плоскошліфувальний напівавтомат мод. ЗП722 (рис. 4) з прямокутним столом та горизонтальним шпинделем має наступне компонування. На тумбі, відлитій спільно зі станиною 1, встановлена колона 3 з напрямними 4, якими переміщується каретка зі шліфувальною бабкою 2. Вертикальне переміщення каретки зі шліфувальною бабкою може бути ручне або автоматичне. Обертально-поступальне переміщення столу здійснюється по напрямних станини від двох гідроциліндрів. За верстатом розташовані електрошафа 5, гідростанція, установка для змащування шпинделя та агрегат охолодження.

Заготовки, що обробляються, на шліфувальних верстатах можуть закріплюватися на столі верстата або в наступних пристосуваннях (рис.5 – рис.8):

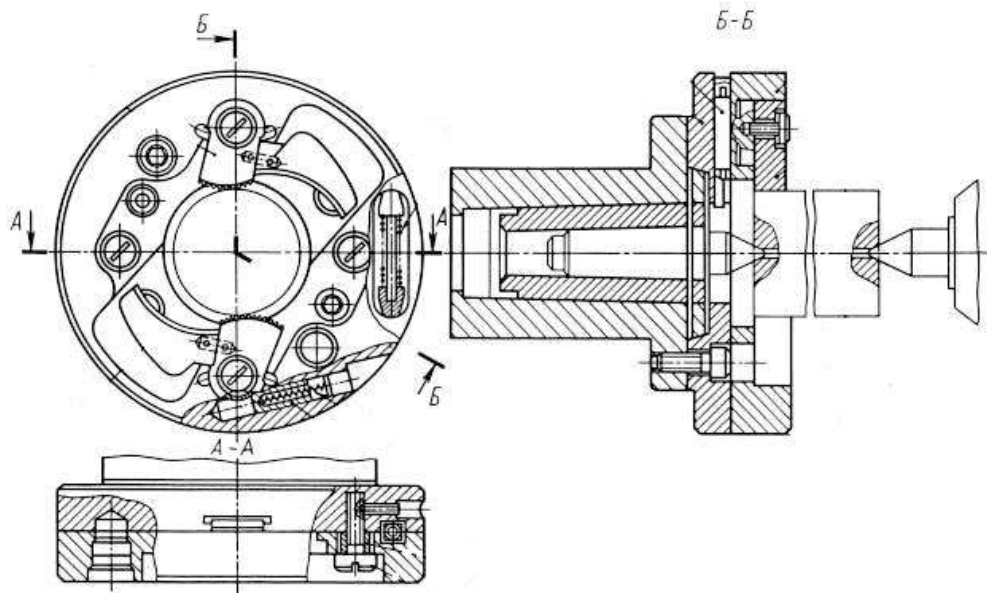


Рисунок 5 – Патрон повідковий

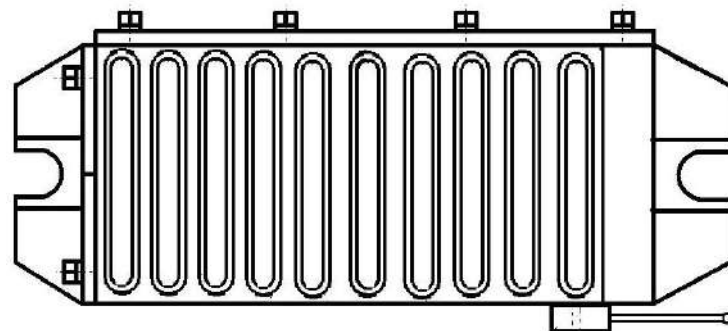
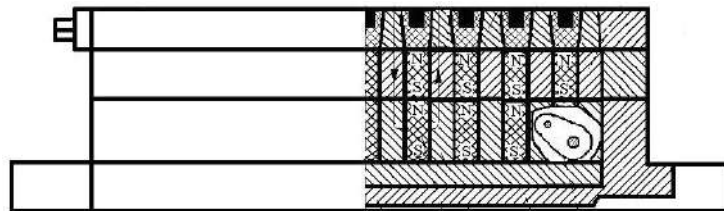


Рисунок 6 – Плита магнітна

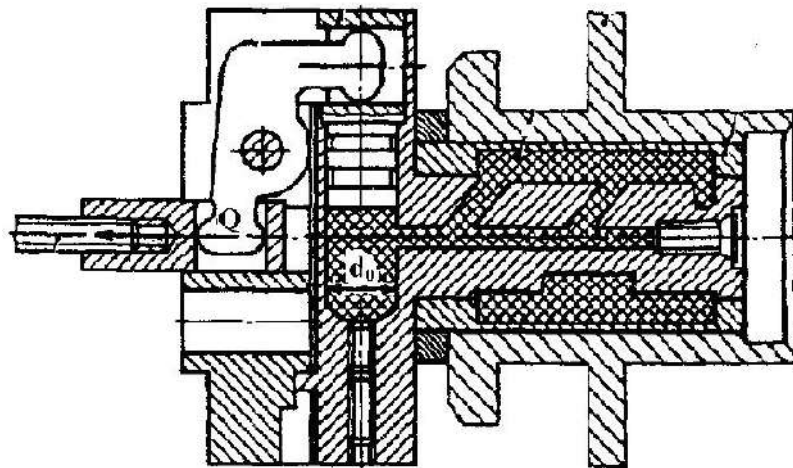


Рисунок 7 – Оправка гідропластова

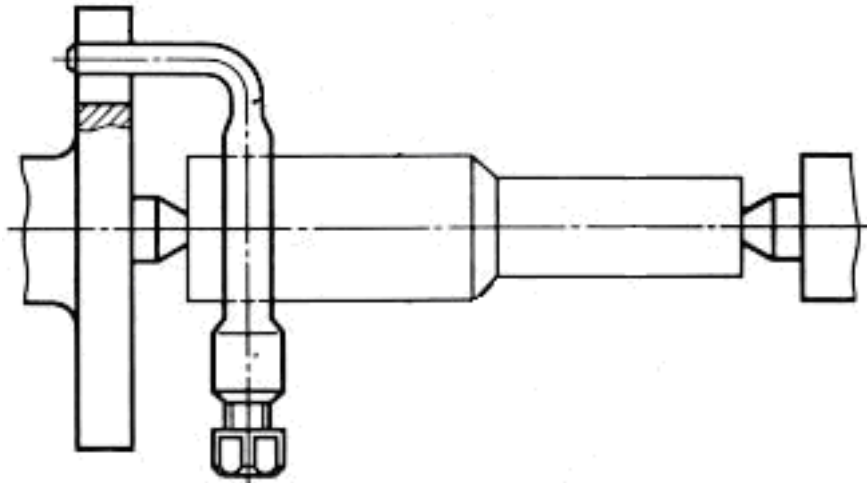


Рисунок 8 – Центри та повідковий механізм

Елементами різання при плоскому шліфуванні є швидкість різання, подача та глибина різання.

Швидкість різання V , м/с, дорівнює окружній швидкості периферії шліфувального круга:

$$V = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_k}{1000 \cdot 60}$$

де n_k - частота обертання круга, об/хв; D_k - зовнішній діаметр круга, мм.

При плоскому шліфуванні призначають поздовжню подачу S_{np} , м/с, поперечну подачу S_n , мм/хід столу, вертикальний рух подачі або рух подачі на глибину S , мм.

Поздовжня та поперечна подачі здійснюються переміщенням оброблюваної деталі щодо круга, подача на глибину - переміщенням круга в момент реверсування поперечної подачі.

Глибина різання t , мм - товщина шару металу, який знімається за один прохід шліфувального круга. Глибина різання для плоского шліфування збігається з величиною подачі на глибину.

Оптимальні режими різання обирають за довідковою літературою. Рекомендації щодо вибору режимів шліфування плоских поверхонь із загартованої сталі периферією круга наведено у додатку 5.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

- 3.1. Плоскошліфувальний верстат.
- 3.2. Набір шліфувальних кругів.
- 3.3. Штангенциркуль, мікрометр.

- 3.4. Допоміжний інструмент.
- 3.5. Зразки шорсткості поверхні.
- 3.6. Заготовка для виготовлення деталей.
- 3.7. Твердомір.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади.
- 4.2. Ознайомитись з набором шліфувального інструменту, його видами та призначенням.
- 4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління плоскошліфувального верстата.
- 4.4. Вивчити методику налаштування верстата.
- 4.5. Вивчити креслення деталі (рис. 9), визначити характеристики заготовки (матеріал, твердість, габаритні розміри, величина припуску), дані занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані про заготовку

Твердість матеріалу заготовки, HRC	Припуск h, мм	Параметр шорсткості Ra, мкм	Розміри деталі	
			L, мм	B, мм

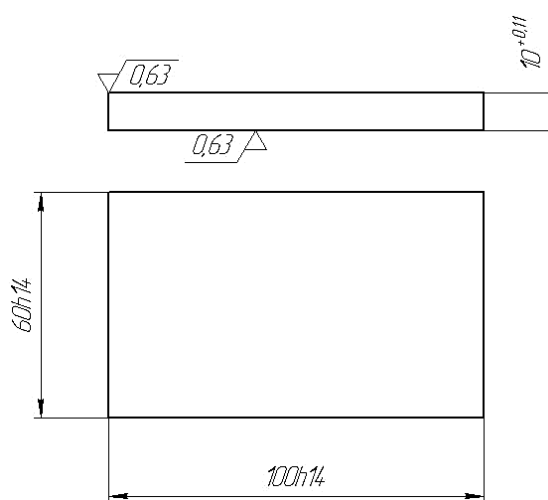


Рисунок 9 – Креслення деталі

4.6. Визначити режими різання при шліфуванні горизонтальної поверхні пластини із загартованої сталі відповідно до технічної характеристики верстата за таблицями Д.5.2, Д.5.3 (додаток 5), дані внести до таблиці 2.

4.7. Визначити довжину поперечного переміщення круга щодо деталі

$$L = (B + b + l_1 + l_2),$$

де l_1 та l_2 - величини недоходу та перебігу шліфувального круга, $l_1 = l_2 = 3 \dots 5$ мм; B - ширина поверхні, що шліфується; b - Ширина шліфувального круга, мм.

Таблиця 2 – Вихідні дані для налагодження верстата.

Модель верстата	Характеристика круга	Режими різання				T_o , хв
		V , м/с	S_p , м/хв	S_n , мм	S , мм	

4.8. Користуючись таблицею Д.5.1 (додаток 5) вибрати марку шліфувального круга.

4.9. Встановіть швидкість поздовжньої подачі S_n .

4.10. Визначте число ходів столу n_d , округлити значення n_d до більшого цілого числа.

$$n_d = \frac{L}{D}$$

4.11. Визначте довжину столу: $L_{x.cm} = L + 20$

4.12. Встановіть сталеву заготовку на магнітну плиту верстата. Налаштувати верстат на шліфування поверхні. Під керівництвом учбового майстра виконати шліфування заготовки.

4.13. Вимкнути та прибрати верстат.

4.14. Оформити звіт.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Дані про заготовку: матеріал, твердість, габаритні розміри, величина припуску (таблиця 1).

5.4. Таблиця 2 - Вихідні дані налагодження верстата.

5.5. Операційні ескізи з переходів.

5.6. Ескіз обробленої деталі.

5.7. Висновок про відповідність точності оброблених поверхонь вимогам креслення.

5.8. Висновки щодо роботи.

7. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які види шліфування ви знаєте?

2. Вкажіть рухи різання за різних видів шліфування.

3. Які режими різання визначаються під час шліфування на шліфувальному верстаті?

4. Вкажіть основні вузли плоскошліфувального верстата.

5. Вкажіть основні вузли круглошліфувального верстата.

5. Які характеристики включають маркування шліфувального круга?

Лабораторна робота №15. УНІВЕРСАЛЬНІ МЕТОДИ СЛЮСАРНОЇ РОЗМІТКИ ТА ОЦІНКА ЇХ ТОЧНОСТІ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з сутністю та призначенням слюсарної розмітки, з розмічальним та вимірювальним інструментом, з оцінкою похибок розмітки в процесі виготовлення деталі.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Розміткою в машинобудуванні називають способи та прийоми нанесення на заготовку контуру деталі у вигляді точок (кernів) та ліній (рисок) для позначення місць подальшої механічної обробки згідно з робочим кресленням.

Слюсарну розмітку застосовують в машинобудуванні в умовах індивідуального та серійного виробництва при виготовленні деталей машин, пристроїв та технологічного оснащення, а також при ремонтних роботах. Залежно від виду деталі та способу виконання розмітка буває плоскою та просторовою. Від точності виконання розмітки залежить точність обробки деталі. Розмітку виконують за допомогою розмічального інструменту. Розмічальним інструментом (рис. 1) називають інструмент, що застосовується для розмітки, у тому числі вимірювальний. Розмічувальні плити 1 застосовують для установки заготовок, що розмічаються, розмічувальні ящики 5 - для зміцнення за допомогою болтів і планок дрібних деталей, призми 8 - для підтримки циліндричних деталей і полегшення розмітки їх осей. Для вивіряння та регулювання положення деталей щодо площини розмічальної плити застосовують опорні підкладки, регульовані клини та домкрати. Чортилки 10, рейсмуси 3 і кернери 9 служать для нанесення рисок і kernів, штангенрейсмуси 4 - для вимірювання відстаней і відкладення відрізків по вертикалі, циркулі 11 і розмічальні штангенциркулі - для побудови та нанесення кіл, кутники 7 - для проведення для вивіряння вертикального і горизонтального положення основних площин заготовки, що розмічається при встановленні її на розмічальній плиті, кутоміри 6 - для вимірювання кутів у проділах від 0 до 180° з точністю до 2'. Для вимірювання та виконання геометричних побудов використовують масштабні лінійки.

З метою підвищення продуктивності розмічувальних операцій застосовують електромагнітні поворотні плити, що полегшують просторову установку заготовок, що розмічаються, автоматичні (пружинні та електричні) кернери, кернери-центрувальники та ін.

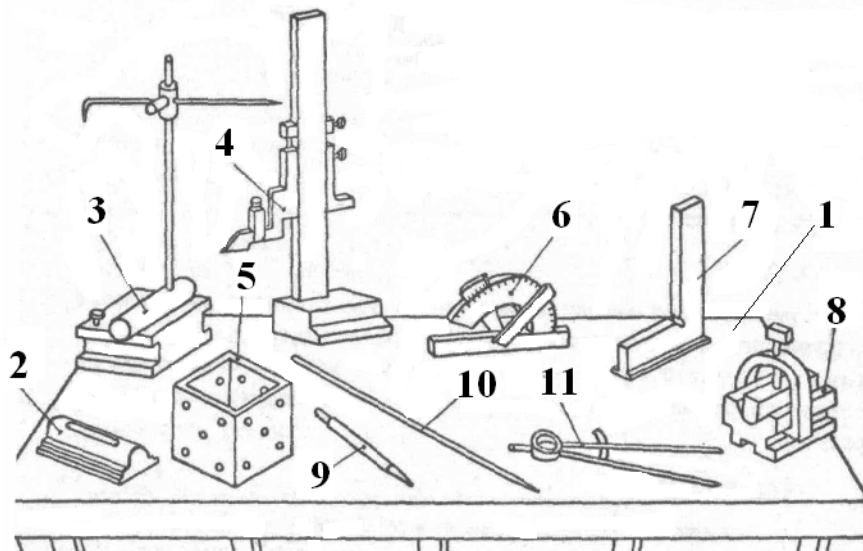


Рисунок 1 – Розмічувальні інструменти: 1 – розмічувальна плита; 2 – рівень; 3 – рейсмус; 4 - штангенрейсмус; 5 - розмічувальний ящик; 6 - кутомір; 7 - косинець; 8 – призма; 9 – кернер; 10 - рисилка; 11 - циркуль

При розмітці дотримуються певної послідовності операцій. Поверхні заготовки, що підлягають розмітці, попередньо покривають розчином мідного купоросу у воді для створення тонкого шару міді, фарбою, водяним крейдою з додаванням столярного клею або натирають сухою крейдою. Вивіряють на заготовках базові поверхні – тобто поверхні, від яких надалі виробляють відлік розмірів. За допомогою рейсмусу, штангенрейсмусу, штангенциркулю та рисилки наносять центрові та осьові риски. За допомогою кернера та молотка в центрах кіл і вздовж осьових рисок наносять керни. Відраховуючи розміри від центрових та осьових рисок та кернів, розмічають контур деталі та контури отворів.

Похибки, відхилення фактичних розмірів від заданих виникають при розмітці внаслідок недосконалості розмічального та вимірювального інструменту і залежать від кваліфікації розмітника.

До основних причин похибок розмірів можна віднести такі:

а) неточність розташування базової поверхні заготовки щодо поверхні розмічальної плити внаслідок неточності закріплення заготовки на розмічальній плиті;

б) неточність вимірювання та відкладання відрізків. Точність виміру становить ± 1 розподіл шкали ноніуса приладу (точність виміру штангенрейсмусом становить $\pm 0,02$ мм);

в) коливання товщини розмічувальних ліній (рисок);

г) неточність кернення;

д) неточність вимірювання контрольними вимірювальними приладами (точність виміру на інструментальному мікроскопі становить $\pm 0,01$ мм);

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

- 3.1. Розмічувальна плита, розмічальний ящик.
- 3.2. Штангенрейсмус ШР-II
- 3.3. Штангенциркуль ШЦ-I
- 3.4. Циркуль.
- 3.5. Кутник інструментальний.
- 3.6. Кутомір Семенова.
- 3.7. Кернер, молоток, викрутка.
- 3.8. Крейда.
- 3.9. Інструментальний мікроскоп.
- 3.10. Заготовка.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з сутністю розмітки, розмічальним та вимірювальним інструментом та робочим кресленням деталі (рисунок 2).

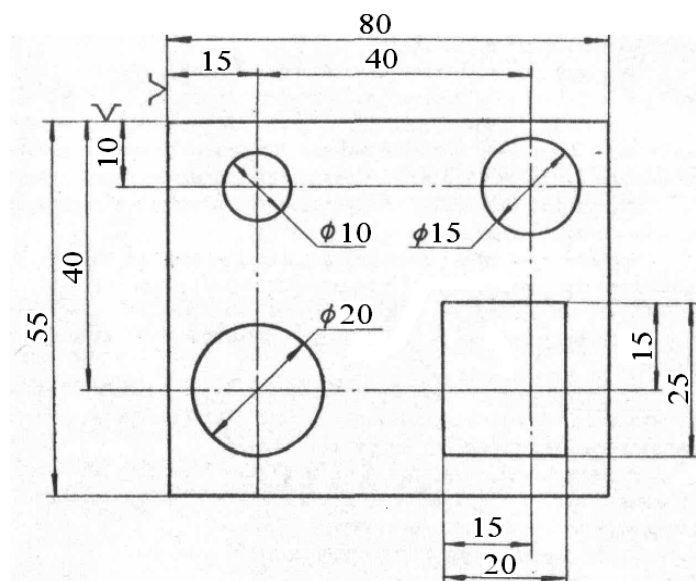


Рисунок 2 – Робоче креслення деталі.

4.2. За допомогою косинця та кутоміра перевірити правильність виконання на заготовки базових поверхонь - поверхонь, від яких надалі виробляють відлік розмірів. Базові поверхні робочому кресленні позначені знаком «V».

4.3. Закріпити заготовку на розмічувальному пристосуванні за допомогою

настановних штифтів, притискних планок і гвинтів (рисунок 3) покрити поверхню заготовки, що підлягає розмітці, тонким шаром крейди.

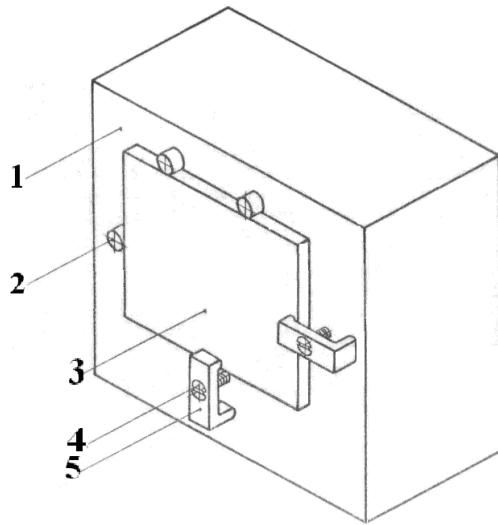


Рисунок 3 – Схема закріплення заготовки на розмічальному пристосуванні (розмічальний ящик): 1 - ящик розміток; 2 - настановний штифт; 3 – Заготовка; 4 – гвинт; 5 - притискна планка

4.4. Розмітити заготовку згідно з вказівками та схемами послідовності розмітки (рис. 4а, б, в, г). Розмітку здійснюють за допомогою штангенрейсмусу, циркуля, кернера та молотка в послідовності, показаній на схемах (рис. 4а, б, в, г).

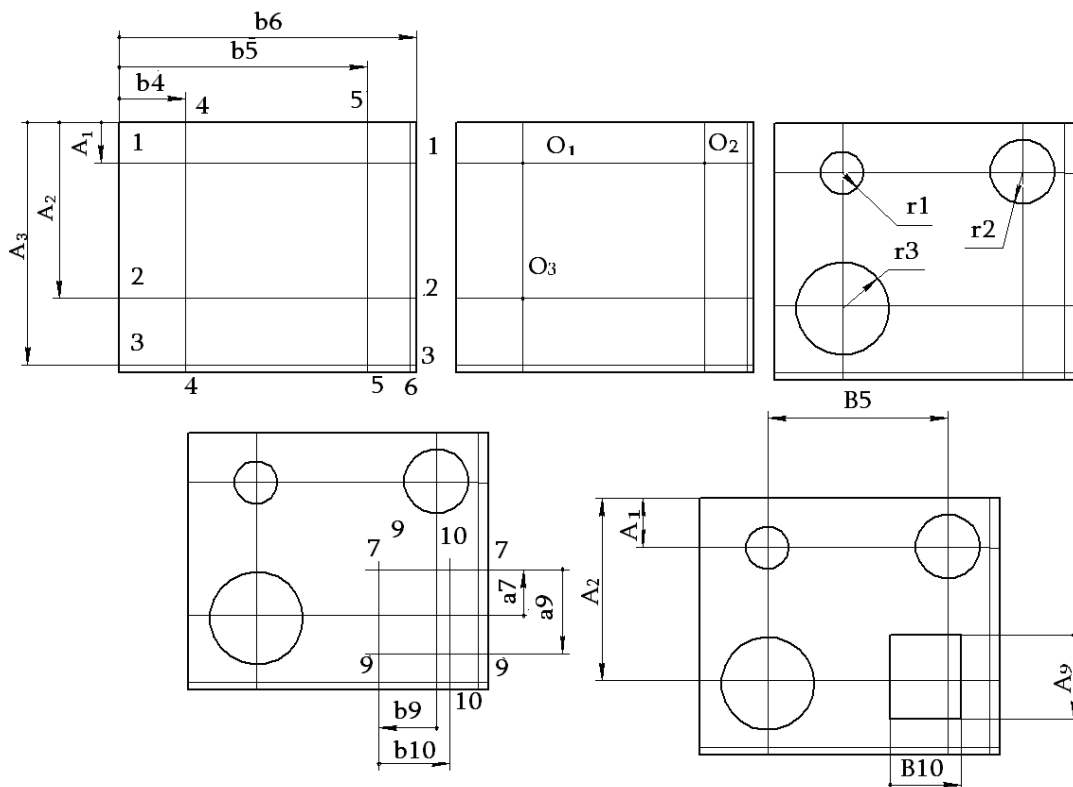


Рисунок 4 – Схема послідовності розмітки (а, б, в, г) та карта вимірювань (д)

Спочатку розмічають горизонтальні осьові 1-1 і 2-2 та габаритну 3-3 (рисунок 4,а) ризику. Для цього вістря штангенрейсмусу поєднують з горизонтальною базовою поверхнею, перевіряють її паралельність площини розмотної плити і запам'ятовують розмір на ноніусі штангенрейсмусу. Цей розмір вважають базовим початком відліку. Додаючи або віднімаючи від базового розміру відповідно розміри 1, 2, 3, переміщують рухому рамку штангенрейсмусу і наносять ризики 1-1, 2-2, 3-3 (рисунок 4,а).

Потім, повернувши розмічальний ящик із заготовкою на 90° , аналогічно розмічають осьові 4-4 і 5-5 та габаритну лінії.

За допомогою кернера та молотка наносять керни в центрах кіл O_1 , O_2 , O_3 (рис. 4,б).

Користуючись циркулем, завдають кола 7 (r_1 , r_2 , r_3 (рис. 4,в)).

Розмітку прямокутника 7-7, 8-8, 9-9, 10-10 (рис. 4,г) здійснюють за допомогою штангенрейсмусу, відраховуючи розміри a_7 і b_9 відповідно від осьових (базових) рисок 2-2 і 5-5.

4.5. Виміряти розміри, вказані в карті вимірів (рис. 4,д), на інструментальному мікроскопі. Результати вимірювань занести до таблиці 1. Обчислити похибки розмітки та сформулювати висновки про причини відхилення розмірів.

Контролювати якість розмітки за допомогою вимірювань на інструментальному мікроскопі. Контроль якості розмітки та визначення похибок розмірів виробляють за допомогою інструментального мікроскопа згідно з картою вимірювань (рис. 4,д).

Перевіряють налаштування мікроскопа: кутомірна шкала повинна бути встановлена на нуль (при збігу нульових штрихів градусної та хвилинної шкал, горизонтальний штрих сітки паралельний напрямку поздовжнього переміщення предметного столу мікроскопа).

Заготовку знімають з ящика, звільняють від шару крейди і розташовують на предметному столі мікроскопа. Обертаючи мікрогвинт, поєднують вертикальну штрихову лінію перехрестя з базовою поверхнею або базовим ризиком на деталі (початок відрізка, що вимірюється). Знімають перший відлік.

Потім, обертаючи мікрогвинт, переміщують предметний стіл з деталлю до поєднання другої ризику (кінець відрізка, що вимірюється) з вертикальною штриховою лінією перехрестя. Знімають другий відлік. Різниця другого та першого відліків дає розмір вимірюваного відрізка.

Дані вимірів заносять до таблиці 1.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Інструмент, який використовується під час роботи.
- 5.4. Ескіз деталі (рис. 2).
- 5.5. Таблиця вимірів розмірів та визначення похибок.
- 5.6. Висновки щодо причин відхилення розмірів.

Таблиця 1 – результати змін

Найменування розміру	Номинал розміру за робочим кресленням, мм	Вимірювання на мікроскопі, мм	Похибка розчину, мм
A ₁			
A ₂			
A ₃			
B ₅			
.....			
B ₁₀			

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть що таке розмітка?
2. Який інструмент використовують для розмітки?
3. Для яких типів виробництв використовується операція розмітки?
4. Назвіть основні способи підготовки поверхонь для розмітки.
5. Як здійснюється контроль точності розмітки?
6. Назвіть основні причини похибки при розмітці.
7. Перерахуйте основну послідовність під час виконання розмічувальних операцій.

Лабораторна робота № 16. ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ЗУБОФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з методами нарізування циліндричних зубчастих коліс; навчитися налаштовувати ланцюг головного руху, ланцюга поділу та обкату на підставі розрахунку та встановлення необхідних зубчастих коліс відповідних гітар (подач, обкату, поділу); навчитися практичним прийомом налагодження верстата.

2. ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Нарізання вінців зубчастих коліс виконують двома методами: копіюванням (рис. 1,а,б) та обкатуванням (рис. 1,в, г, д, е).

При виготовленні зубчастих коліс методом обкатки колеса, що нарізується, і зуборізному інструменту повідомляють ряд рухів, що узгоджені кінематичне, сукупність яких відтворює рухи ланок зубчастої, рейкової або черв'ячної передачі. У зв'язку з цим бічна поверхня зуба на вінці заготовки утворюється як загальна послідовних положень різальних кромek інструменту в їх відносному русі.

Нарізання зубчастого вінця методом обкатки здійснюють різними технологічними способами, до яких відносять: зубодовбання (рис. 1,в, г), зубостругання (рис. 1,д) та зубофрезерування (рис. 1,е).

Найбільшого поширення у промисловості набув метод зубофрезерування (з допомогою високої продуктивності проти інших розглянутих методів), у якому різальним інструментом є черв'ячна модульна фреза (рис.2). Вона являє собою гвинт з одно- або багатозахідним трапецоїдальним різьбленням і декількома похилими стружковими канавками, що служать для утворення різальних лез і розміщення стружки.

Зубофрезеруванням можна нарізати вінці циліндричних зубчастих коліс з прямими і гвинтовими зубами, а також вінці черв'ячних коліс. Головним рухом різання під час виготовлення всіх названих типів коліс є обертання фрези D_2 (рис. 2,а). Заготовка здійснює обертальний (круговий) рух обкатки $D_{скр}$ з частотою обертання n , об/хв, так, що

$$n_0 = n_f k/z,$$

де n_f - частота обертання фрези, об/хв; k - число заходів фрези; z - число зубів зубчастого колеса, що нарізується.

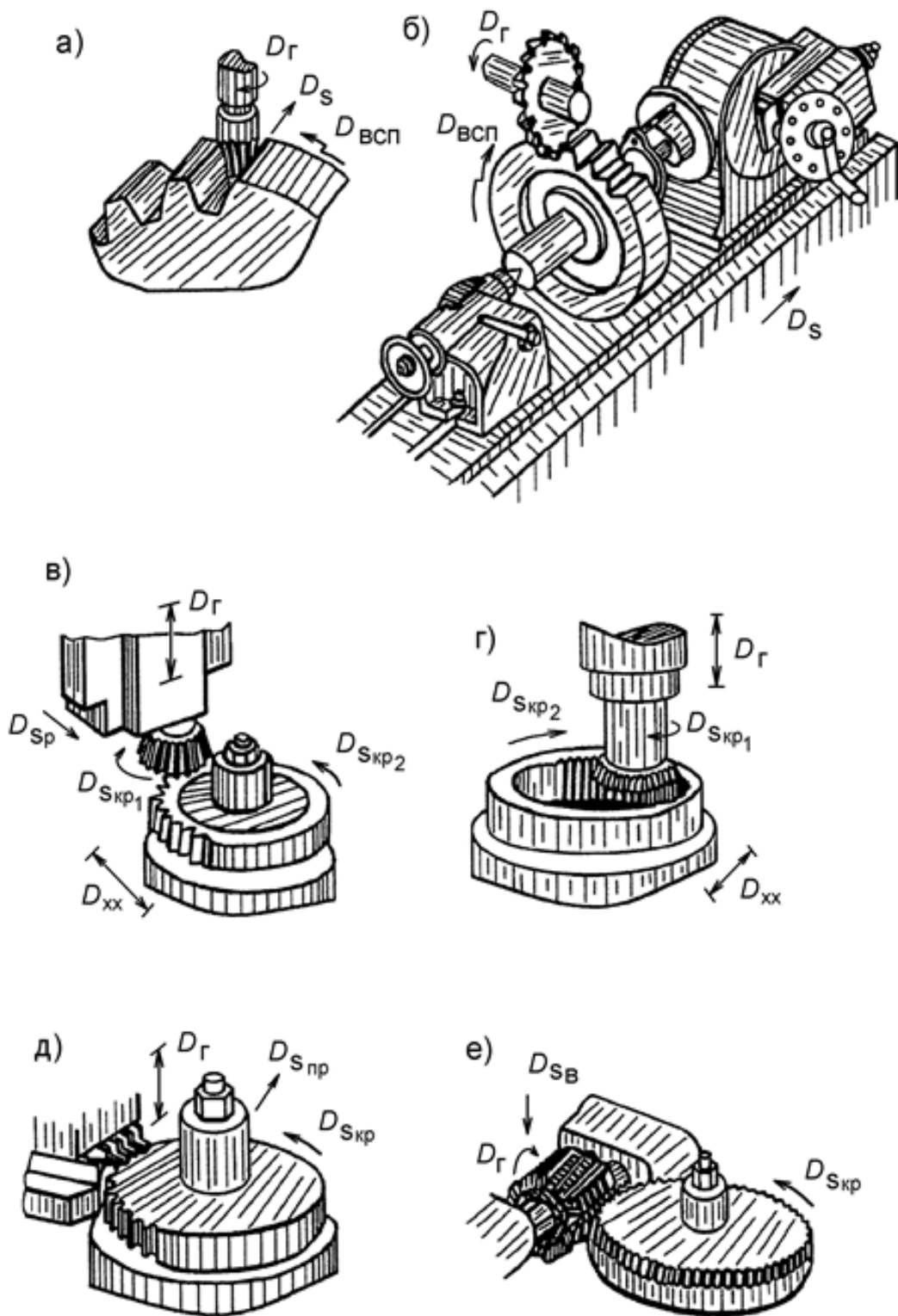


Рисунок 1 – Методи нарізування зубчастих коліс

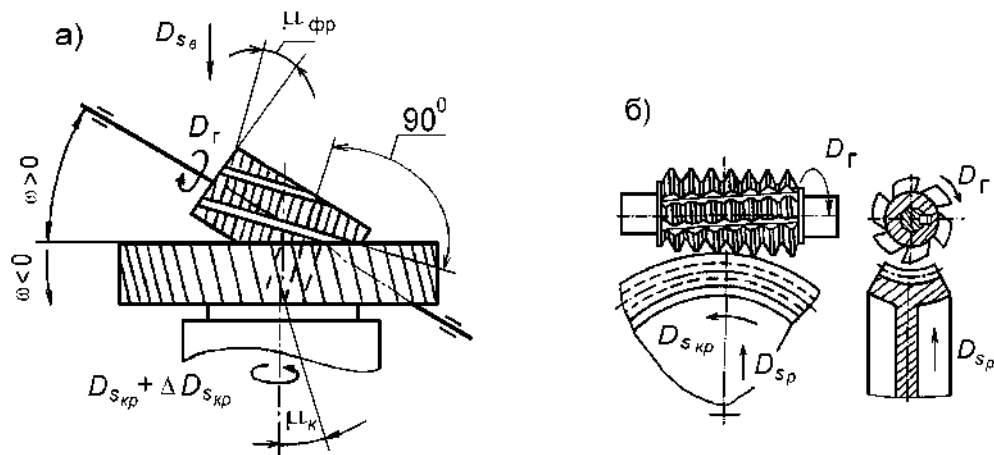


Рисунок 2 – Схема нарізування зубчастого колеса черв'ячною фрезою

При виготовленні циліндричних (прямозубих і гвинтових) коліс до фрези, поряд з головним рухом різання D_z повідомляють рух вертикальної подачі $D_{св}$ вздовж осі заготовки. Введенням цього руху забезпечують нарізування зубів по всій ширині вінця.

Для отримання гвинтових зубів заготовки окрім рухів обкатки $D_{скр}$ та вертикальної подачі $D_{св}$ необхідно повідомити додаткове обертання $D_{скр}$. Швидкість його повинна бути узгоджена з вертикальною подачею S наступним чином: при опусканні фрези на крок гвинтової западини зубчастого колеса заготовка повинна додатково повернутись на один оберт.

При нарізанні циліндричних зубчастих коліс фрезу встановлюють так, щоб передня поверхня її леза, яка утворена перетином стружкової канавки витка фрези, в зоні різання була перпендикулярна напрямку западини колеса, що нарізується. У зв'язку з цим шпиндель верстата, на якому закріплюють черв'ячну фрезу, повертають на кут ω , що визначається з рівняння:

$$\omega = \mu_{ф} - \mu_{к},$$

де $\mu_{ф}$ - кут підйому витків фрези, град; $\mu_{к}$ - кут нахилу зубів оброблюваного колеса, град.

Кут $\mu_{ф}$ зазвичай вказують на торці фрези. Значення $\mu_{ф}$ і $\mu_{к}$ підставляють у формулу (2) з урахуванням їх знаків. При прийнятому (див. рис.2,а) напрямку позитивних значень кутів ω для правої черв'ячної фрези слід прийняти $\mu_{ф} > 0$, а для фрези з лівою гвинтовою канавкою - $\mu_{ф} < 0$. За аналогією з цим: для зубчастого колеса, що нарізується, з правим нахилом зубів - $\mu_{к} > 0$, з лівим- $\mu_{к} < 0$; для прямозубого колеса - $\mu_{к} = 0$.

Нарізання вінців черв'якових зубчастих коліс методом зубофрезерування

має свою специфіку стосовно розглянутого способу виготовлення циліндричних коліс. Рух вертикальної подачі фрези D_s у цьому випадку відсутній. Кут нахилу осі фрези ω приймають рівним нулю. Фрезу встановлюють так, що її вісь розташовується на середині ширини вінця колеса. Заготовці повідомляють рух радіальної подачі D_{sp} (див. рис. 2,б). До особливостей цього методу слід віднести і те, що черв'ячна фреза за своїми розмірами, профілем різальних кромek і числом заходів повинна відповідати черв'яку, в зачепленні з яким працюватиме зубчасте колесо, що виготовляється.

Призначення зубофрезерного верстата та його основні вузли

Зубофрезерний верстат моделі призначений для нарізування прямозубих і гвинтових циліндричних, а також черв'ячних коліс методом обкатки. При чистовому фрезеруванні черв'ячною фрезою досягається сьомий - восьмий ступінь точності зубчастого вінця і шорсткість поверхонь зубів $Ra = 6,3 \dots 1,6$ мкм. Верстат застосовують в умовах серійного виробництва при нарізуванні зубчастих коліс діаметрами від 60 до 180 мм із модулями від 1 до 4 мм.

Зовнішній вигляд зубофрезерного верстата показано на рисунку 3.

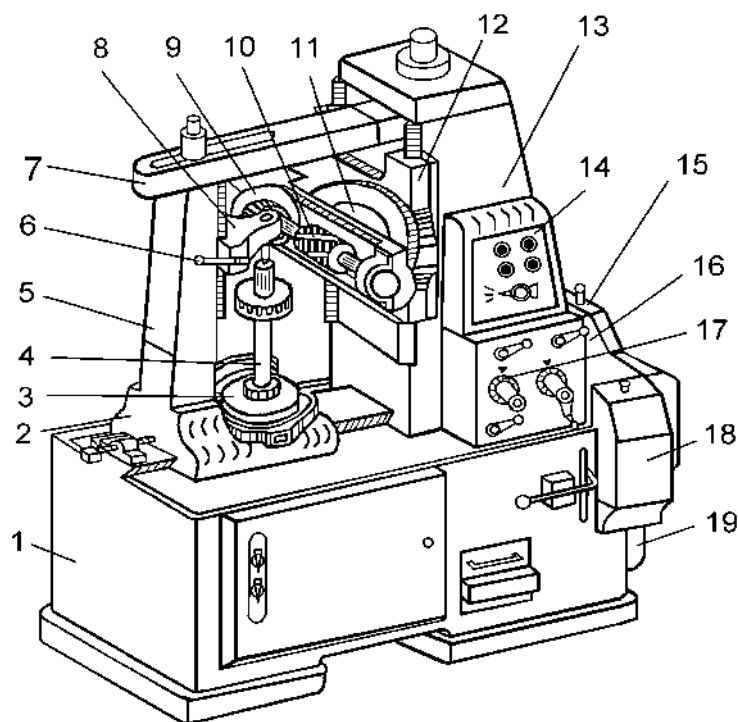


Рисунок 3 – Загальний вид зубофрезерного верстата

Верстат має збірну станину, що складається з основи 1 та вертикальної стійки 13. Усередині станини розміщено привід робочих та допоміжних рухів вузлів верстата.

Зовні на станині встановлені гітари змінних зубчастих коліс для налагодження швидкостей робочих рухів: головного руху різання 19, рухів вертикальної та радіальної подач 16, руху обкатки 15 і додаткового обертання заготовки $D_{скр}$ (гітара ланцюга диференціала) 18.

На горизонтальних напрямних станини розміщені салазки 2, що несуть на собі круглий стіл 3, що обертається, і стійку 5 з опорним кронштейном 8. Заготовку встановлюють на оправці 4, нижній кінець якої центрують і закріплюють в отворі столу 3, а верхній кінець - в опорному кронштейні 8, який кріпиться на стійці 5 затискачем 6.

На вертикальних направляючих стійці 13 розміщений фрезерний супорт 12 з поворотною частиною 11, в якій змонтований шпindel 9. Фрезу 10 встановлюють на двоопорній оправці, що закріплюється в отворі шпінделя і на опорі підшипникової поворотної частини 11. На передній стінці стійки 13 є пульти керування верстатом 14 та 17. Стійки 5 і 13 з'єднані зверху балкою 7, що забезпечує верстату підвищену жорсткість.

Режими різання при нарізуванні зубів черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі на зубофрезерних верстатах розраховуються на підставі нормативів (додаток 6).

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

1. Зубофрезерний верстат.
2. набір змінних зубчастих коліс.
3. Комплект черв'ячних фрез ($m = 1,0\text{мм}$, $m = 1,5\text{мм}$, $m = 2\text{мм}$).
4. Оправлення для заготовки.
5. Заготовки деталей.
6. набір необхідного слюсарного інструменту.
7. вимірювальний інструмент: індикатор зі штативом або з магнітною основою; штангенциркуль 0-125; штангенциркуль 0-150; штангензубомір; зубомірний мікрометр або індикаторна скоба.
8. Таблиці визначення розмірів під штангензубомер.
9. Таблиці визначення довжини загальної нормалі.
10. Плакат "Кінематична схема верстата".

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Вивчити способи нарізування зубчастих коліс та ознайомитися із зуборізним інструментом (по демонстраційному стенду).
- 4.2. Вивчити пристрій та кінематичну схему верстата.

4.3. Отримати у майстра з навчального процесу інструменти, прилади. Отримати від викладача індивідуальне завдання та виконати такі розрахунки, які необхідні для налагодження верстата на виготовлення прямозубого циліндричного колеса.

4.3.1. Розрахувати режими різання для нарізування зубчастого колеса за індивідуальним завданням, використовуючи додаток 6.

4.3.2. Підібрати зі змінних зубчастих коліс гітари швидкостей A і B , що додаються до верстата, виконавши співвідношення $A/B \leq n_{\phi}/142$; обрані колеса повинні задовольняти умову зчеплення $A + B = 65$.

4.3.3. Розрахувати дійсні частоту обертання фрези n_{ϕ}^0 та швидкість головного руху різання V .

4.3.4. Підібрати змінні зубчасті колеса a, b, c, d для гітари обкатки, виконавши такі дії: визначити за кінематичною схемою передатне відношення ланцюга обкатки i ; підставити отримане значення i_o до рівняння кінематичного балансу ланцюга обкатки $n_o = n_{\phi} i_o$; вивести умову підбору $i_{zo} = (a/b) \cdot (c/d)$; підібрати змінні зубчасті колеса a, b, c, d з набору коліс і перевірити їх на виконання умов зчеплення:

$$140 \geq a + b \geq 80; \quad 175 \geq c + d \geq 94; \quad c + d \geq b + 24$$

4.3.5. Підібрати змінні зубчасті колеса гітари подач за формулою:

$$i_{zn} = (a_1/b_1) \cdot (c_1/d_1) = (3/10) S_{\phi},$$

де S_{ϕ} - вертикальна подача фрези, мм/об.заг.

Вибрані колеса перевірити на виконання умов зчеплення:

$$a_1 \leq 75; \quad 143 \geq a_1 + b_1 \geq 83; \quad 200 \geq c_1 + d_1 \geq 94;$$

$$a_1 + b_1 \geq c_1 + 24; \quad c_1 + d_1 \geq b_1 + 24; \quad a_1 + b_1 + c_1 + d_1 \geq 235$$

4.3.6. Визначити глибину фрезерування t та розрахунковий діаметр заготовки D_{zag} за формулами: $t = 2,25 m$; $D_{zag} = m (z + 2)$.

4.3.7. Результати розрахунків занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

№ пере-хода	Інструмент	Режими різання						
		D_{zag} , мм	t , мм	S_{ϕ} , мм/об	V , м/хв	n , об/хв	Гітара швидкостей	Гітара обкатки

5. Здійснити налагодження верстата на виготовлення зубчастого колеса.

6. Простежити виготовлення на верстаті вінця зубчастого колеса.

7. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.
- 5.4. Параметри зубчастого колеса, що обробляється.
- 5.5. Вихідні дані налаштування верстата (таблиця 1).
- 5.6. Накреслити схему встановлення деталі та інструменту на верстаті.
- 5.7. Аналіз відповідності точності оброблених поверхонь вимогам креслення.
- 5.9. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи формування зубчастих поверхонь застосовують у машинобудуванні?
2. Які фрези використовуються при нарізуванні зубчастих коліс?
3. Для чого необхідний ланцюг поділу та обкату на зубофрезерному верстаті?
4. Органи управління зубофрезерним верстатом та їх розташування.
5. Порядок налагодження верстата для обробки циліндричних зубчастих коліс.
6. Які дані про об'єкт обробки необхідні для налагодження верстата?
7. Як визначити режим різання під час обробки деталі на зубофрезерному верстаті?
8. Що таке гітара змінних коліс і навіщо вона застосовується?
9. Навіщо шпindelь зубофрезерного верстата повертають на невеликий кут при встановленні черв'ячної фрези?

Лабораторна робота № 17. **ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ДІЛИЛЬНОЮ ГОЛОВКОЮ**

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомитись з методами нарізування циліндричних зубчастих коліс; навчитися налаштовувати універсальний горизонтально-фрезерний верстат з універсальною ділильною головкою на обробку прямозубого циліндричного колеса; навчитися практичним прийомам налагодження верстата та універсальної ділильної головки.

2. ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Універсальний консольно-фрезерний верстат призначено для фрезерування горизонтальних, вертикальних, фасонних поверхонь, різних граней, пазів, шліцьових валів, черв'ячних, циліндричних зубчастих коліс з прямим і гвинтовим зубом, конічних зубчастих коліс, зубчастих рейок, кулачкових та інших муфт, свердл, зенкерів, мітчиків, розгортки з прямими та гвинтовими канавками.

При фрезеруванні деталей з гвинтовими канавками стіл верстата може повертатись навколо вертикальної осі на певний кут. На особливе замовлення у комплекті зі верстатом поставляються додатково фрезерні головки різної конструкції, що значно розширює технологічні можливості верстата. Верстат використовується в одиничному, дрібному та середньосерійному виробництві.

Управління верстата – кнопково-рукояткове. Основними рухами в верстаті можна керувати спереду та збоку верстата. Працюючий на верстаті користується перемикачами, які розташовані із зовнішнього боку дверцят електрошафи. Основні частини верстата та система управління універсального горизонтально-фрезерного верстата наведено на рисунку 1.

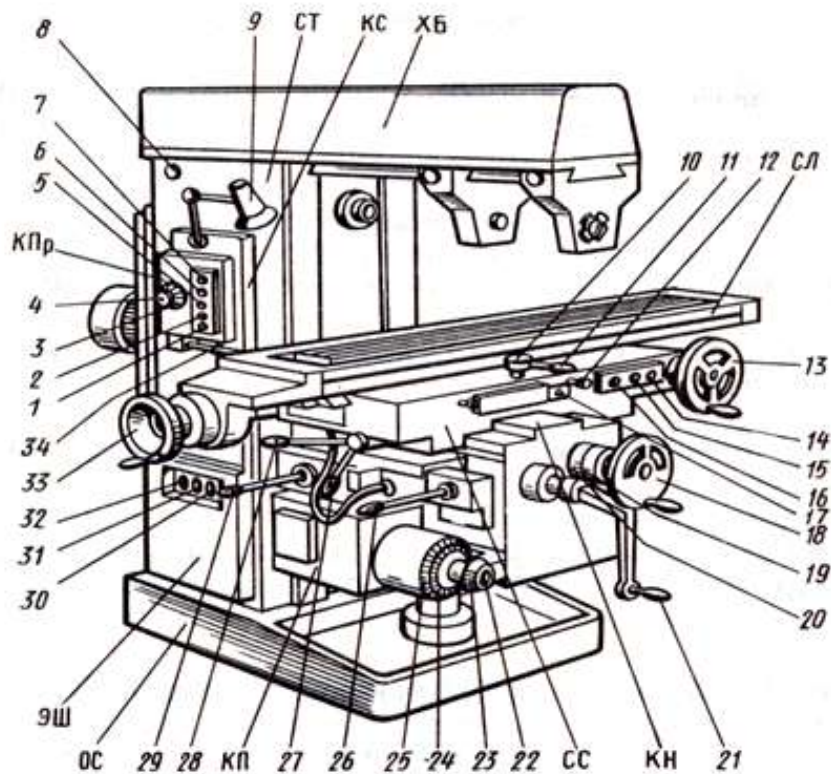


Рисунок 1 - Основні частини верстата та система управління універсального горизонтально-фрезерного верстата: ОС – основа; ЕШ – електрошафа; КПр - коробка перемикання; СТ – станина; КС – коробка швидкостей ХБ – хобот із підтримуючими кронштейнами; СЛ – стіл; КН – консоль; КП – коробка подач; 1 – кнопка «Стоп» (дублююча); 2 - кнопка «Пуск шпинделя» (дублююча); 3 – стрілка-показчик швидкостей шпинделя; 4 – показчик швидкостей шпинделя; 5 – кнопка «Швидко стоп» (дублююча); 6 - кнопка "Імпульс шпинделя"; 7 – перемикач освітлення; 8 – шестигранник для переміщення хобота; 9 – арматура освітлення; 10 - зірочка механізму автоматичного циклу; 11 – рукоятка включення поздовжніх переміщень столу; 12 – затискачі столу; 13 – маховичок ручного поздовжнього переміщення столу; 14 – кнопка «Швидко стоп»; 15 - кнопка "Пуск шпинделя"; 16 – кнопка «Стоп»; 17 – перемикач ручного або автоматичного керування поздовжнім переміщенням столу; 18 – маховичок ручних поперечних переміщень столу; 19 – лімба механізму поперечних переміщень столу; 20 - кільце-ноніус; 21 – рукоятка ручного вертикального переміщення столу; 22 - кнопка фіксації грибка перемикання подач; 23 - грибок перемикання подач; 24 - показчик подач столу; 25 - стрілка-показчик подач столу; 26 – рукоятка включення поперечної та вертикальної подач столу; 27 - затискач салазок на напрямних консолі; 28 – рукоятка включення поздовжніх переміщень столу (дублююча); 29 – рукоятка включення поперечної та вертикальної подач столу (дублююча); 30 – перемикач напряму обертання шпинделя «ліворуч – праворуч»; 31 – перемикач насоса охолодження; 32 – перемикач введення «включено – вимкнено»; 33 – маховичок ручного поздовжнього переміщення столу (дублюючий); 34 – рукоятка перемикання швидкостей шпинделя.

Головний рух верстата забезпечується обертанням шпинделя. Отвір у шпинделі верстата - наскрізний, спереду - конус 7:24. За цим конусом базується фрезерна оправка, у хвостовій частині якої є різьбовий отвір. У різьбовий отвір ввертається різьбова тяга, яка з допомогою гайки притягує фрезерну оправку до конуса шпинделя. На торці шпинделя є дві шпонки, які входять у пази фрезерної оправки, передаючи момент, що крутить, від шпинделя до різального інструменту. Довгі фрезерні оправки можуть мати додаткову опору в одному або двох кронштейнах, що встановлюються та закріплюються на передньому кінці хоботу.

На верстаті можливі три види подачі: поздовжня - стола, поперечна - салазок, вертикальна - консолі.

Коробка подач має однорукояткове преселективне керування. Перемикання подач здійснюється рухом зубчастих блоків або окремих зубчастих коліс за допомогою виделок, закріплених на відповідних рейках (рис. 2). Рейки одержують поздовжнє переміщення від двох дисків з отворами, закріплених на одній осі з рукояткою перемикання. Рейки, що переміщують блоки, можуть займати три різні положення щодо дисків 3 та 4.

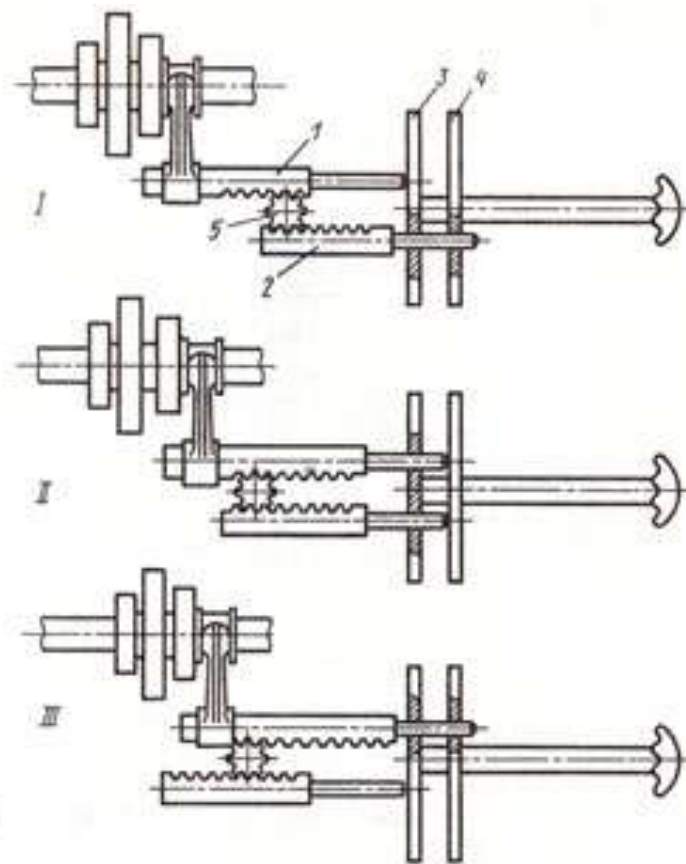


Рисунок 2 – Схема роботи селективного механізму перемикання подач

На рисунку 2 показано схему роботи цього механізму перемикання подач

на прикладі перемикання потрійного блоку зубчастих коліс. У положенні I рейка 1 упирається в диск 3, а рейка 2 проходить через отвори обох дисків. Потрійний блок встановлюється у крайньому лівому положенні. У положенні II обидві рейки входять до отворів диска 3. Потрійний блок займає середнє положення. У положенні III рейка 2 упирається в диск 3, а рейка 1 проходить через отвори обох дисків. Потрійний блок займає крайнє праве становище.

Між рейками є зубчасте колесо 5, яке забезпечує узгоджений рух рейок.

Для установки необхідної величини подачі грибок перемикання з дисками спочатку висувають з коробки подач, потім повертають вправо або вліво навколо осі в необхідне положення до збігу вибраної подачі на лімбі рукоятки зі стрілкою-показчиком на корпусі коробки подач. Після цього грибок всувають назад і, штовхаючи виступаючі кінці рейок дисками, переміщують рейки, а значить, і зубчасті колеса, що включаються в положення, що забезпечують обрану подачу.

Верстат автоматизований і може бути налаштований на наступні цикли роботи (рух столу):

- напівавтоматичні стрибкоподібні - *"швидко - подача - швидко - стоп";*
"швидко - подача - швидко назад - стоп";

- напівавтоматичні чергуються - *"швидко - подача - швидко - подача - швидко назад - стоп";*

- автоматичний маятниковий - *"швидко вправо - подача вправо - швидко вліво - подача вліво"* тощо.

Автоматизація робочих та настановних рухів столу здійснюється за допомогою механізму автоматичного циклу, розташованого у салазках, та кулачків, набір яких додається до верстата. Кулачки, встановлені відповідно до обраного циклу на передній площині столу, при його переміщенні в потрібні моменти повертають зірочку, насаджену на вісь рукоятки включення поздовжньої подачі столу. Ці рухи зірочки передаються механізму автоматичного циклу, який здійснює автоматичне перемикання з прискореного ходу на робочу подачу і назад.

Ділильні голівки та методика їх налагодження. Ділильні головки є найважливішим приладдям консольно-фрезерних верстатів, особливо універсальних, і значно розширюють технологічні можливості верстатів. Їх використовують при виготовленні різних інструментів (фрез, розгорток, зенкерів, мітчиків), нормалізованих деталей машин (головки болтів, грані гайок, корончасті гайки), при фрезеруванні зубчастих коліс, пазів та шліців на торцях (зубчасті муфти) та інших деталей.

Ділильні головки служать: для установки осі заготовки, що обробляється

під необхідним кутом щодо шпинделя верстата; для періодичного повороту заготовки навколо її осі на певний кут (розподіл на рівні або нерівні частини); для безперервного обертання заготовки при нарізанні гвинтових канавок або гвинтових зубів зубчастих коліс.

Ділильні головки бувають: *лімбові* з ділильними дисками (безпосереднього поділу, простого поділу, напівуніверсальні, універсальні); *безлімбові* (без ділильного диска) із зубчастим планетарним механізмом та набором змінних зубчастих коліс; *оптичні* (для точних поділів та контрольних операцій).

Зазвичай ділильні головки виготовляють одношпиндельними.

Іноді застосовують багатошпиндельні (дво- та тришпиндельні) для одночасної обробки відповідно двох або трьох заготовок.

Безлімбові ділильні головки дозволяють робити процес розподілу за допомогою змінних зубчастих коліс. При цьому ручку ділильної головки повертають на один або кілька повних обертів. Однак конструкція та кінематична схема безлімбових ділильних головок значно складніша, ніж лімбових.

Універсальна ділильна головка (рис. 3) складається з корпусу 5, ділильного диска (лімба) 4, шпинделя 7, задньої бабки 9. Заготовку встановлюють у центрах ділильної головки 9 та задньої бабки, заготовку можна кріпити також у патроні, який навіртається на різьбовий кінець шпинделя. Відлік повороту рукоятки 1 з фіксатором 2 і відповідно заготовки на потрібний кут здійснюється за допомогою лімба 4. Лімб має кілька рядів отворів, рівномірно розташованих на концентричних колах. Для зручності відліку використовують розсувний сектор 3.

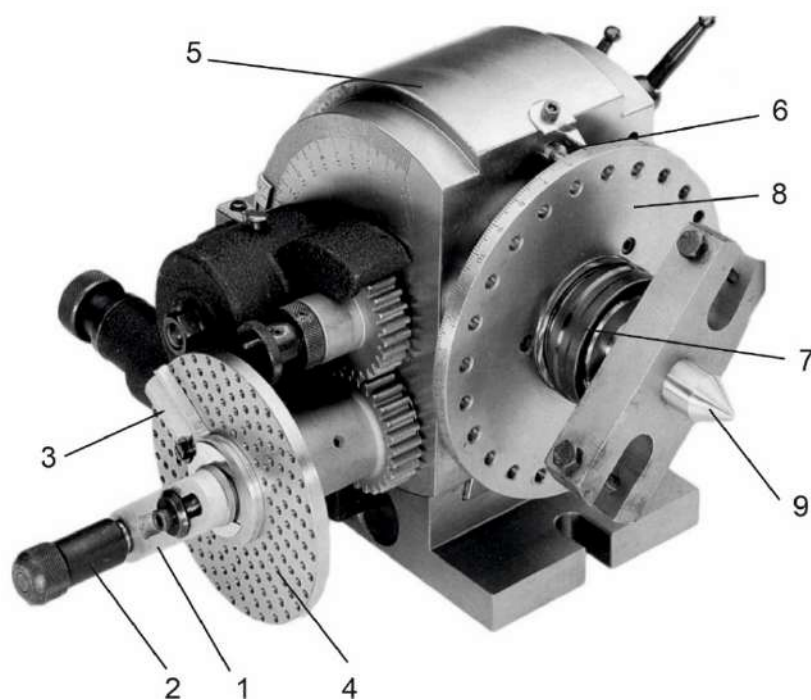


Рисунок 3 – Універсальна ділильна головка

Залежно від виду виконуваних робіт універсальну головку можна налагоджувати на безпосередній, простий та диференційний поділ.

Безпосередний поділ проводять за допомогою диска 8 і фіксатора 6. Для цього однозахідний черв'як (рис. 4) виводять із зачеплення з черв'ячним колесом і заготовку при поділі повертають вручну. Фіксатор 6 утримує заготовку від провороту при фрезеруванні. Ділильний диск 8 найчастіше має 24 отвори, тоді розподіл заготовки можливо на 2, 3, 4, 6, 8, 12 та 24 частини.

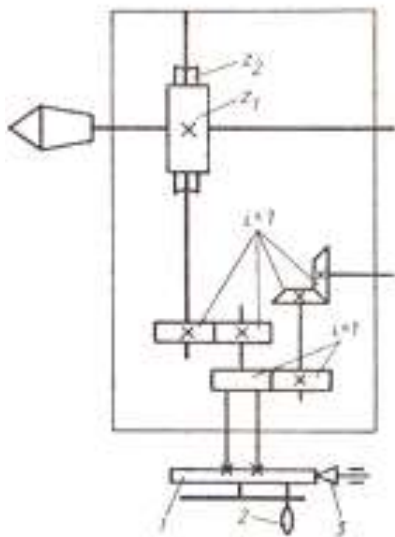


Рисунок 4 – Кінематична схема ділильної головки

Простий розподіл (рис. 5) застосовується тоді, коли на ділильному диску (лімбі) можна підібрати концентричне коло для відліку. Однозахідний черв'як введено у зачеплення із черв'ячним колесом. Ділильний диск 1 за допомогою клямки 3 закріплюється нерухомо. Поворот шпинделя із заготовкою на $\frac{1}{z}$ частину (z – число частин, яку потрібно виконати для розподілу) може бути зроблено за n обертів рукоятки 2.

Кінцеві ланки цього кінематичного ланцюга: *рукоятка універсальної ділильної головки – шпиндель із заготовкою.*

Розрахункові переміщення кінцевих ланок: $n_{рук} \rightarrow \frac{1}{z}$ оборотів заготовки.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга при повороті заготовки запишеться так:

$$n_{рук} i_{зуб} i_{черв} = \frac{1}{z}$$

де $i_{зуб} = 1; i_{черв} = \frac{1}{40}$

Тоді

$$n_{рук} \cdot 1 \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{z}$$

Формула налагодження універсальної ділильної головки має вигляд:

$$n_{рук} = \frac{40}{z}$$

Величина, зворотна передаточному відношенню черв'ячної пари, називається характеристикою ділильної головки.

Число зубів черв'ячного колеса становить 40, але буває 60, 80, 120.

Перетворюючи попередню формулу, отримаємо

$$n_{рук} = \frac{40}{z} = a + \frac{b}{c},$$

де a - ціла кількість обертів рукоятки; c - кількість отворів в одному з рядів ділильного диска; b - кількість отворів (кроків), на які треба додатково повернути рукоятку.

Ділильні диски універсальних ділильних головок мають ряд концентричних кіл з такою кількістю отворів:

з одного боку - 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;

з іншого боку - 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

Ділильний диск кріпиться до голівки чотирма гвинтами і може за потреби повертатися. Для повороту рукоятки ділильної головки на частину обороту використовується розсувний сектор з двома лінійками, пружними між собою від мимовільного повороту.

Приклад 1. Налагодити універсальну ділильну головку для фрезерування зубчастої муфти із числом зубів $z = 36$.

$$n_{рук} = \frac{40}{z} = \frac{40}{36} = 1 + \frac{4}{36} = 1 + \frac{1}{9} = 1 + \frac{1 \cdot 6}{9 \cdot 6} = 1 + \frac{6}{54}.$$

Отже, для повороту шпинделя із заготовкою на $1/9$ обороту для знаменника дробу вибираємо з ряду чисел число, кратне 9, а для того, щоб дріб не змінився, множимо чисельник на те ж число. У прикладі і чисельник і знаменник множимо на 6. Рукоятку ділильної головки слід щоразу повертати на один повний оборот

і шість кроків. Лінійки розсувного сектора встановлюються (розсуваються) на шість отворів, крім сьомого, в який вставлений фіксатор ручки ділильної головки.

Диференціальний поділ (рис. 5) застосовується тоді, коли через обмежену кількість отворів на ділильному диску не можна застосовувати простий поділ.

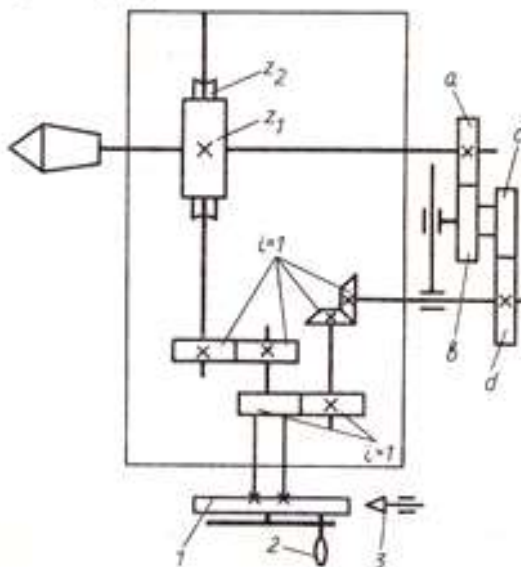


Рисунок 5 – Схема налагодження універсальної ділильної головки на диференціальний поділ

Оберти рукоятки ділильної головки у диференційному поділу визначають за формулою:

$$n_{рук} = 40 / y,$$

де y – близьке до z число, кратне хоча б одному числу отворів на ділильному диску та має спільні множники з числом 40.

У ділильний поворот рукоятки вводиться похибка. Похибка усувається поворотом ділильного диска (засувка 3 відводиться вправо), який отримує обертання від шпинделя ділильної головки через гітару змінних зубчастих коліс $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$ та конічну пару зубчастих коліс.

Похибка у повороті рукоятки на один крок (зуб) заготовки складе

$$n_{рук} = \frac{40}{z} - \frac{40}{y},$$

а похибка в повороті рукоятки на повний оборот заготовки в z разів більше:

$$n_{рук} = z \left(\frac{40}{z} - \frac{40}{y} \right).$$

Перетворюючи цей вираз, отримаємо формулу налагодження гітари змінних зубчастих коліс:

$$n_{рук} = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{40}{y} (y - z).$$

Якщо $y > z$, то ділильний диск повинен обертатися за годинниковою стрілкою, тобто у напрямку обертання рукоятки ділильної головки.

Якщо $y < z$, то ділильний диск повинен обертатися проти годинникової стрілки, тобто назустріч обертанню рукоятки ділильної головки. Для цього в гітару змінних зубчастих коліс необхідно встановити додаткову паразитну шестерню.

З універсальною ділильною головкою поставляється набір змінних зубчастих коліс з числами зубів: 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

Приклад 2. Налагодити універсальну ділильну головку для нарізування зубчастого колеса із числом зубів $z = 73$

$$n_{рук} = \frac{40}{z} = \frac{40}{73} \text{ (простий розподіл не застосовується).}$$

Задаємося $y = 75$, тоді

$$n_{рук} = \frac{40}{y} = \frac{40}{75} = \frac{40 : 5}{75 : 5} = \frac{8 \cdot 2}{15 \cdot 2} = \frac{16}{30}.$$

Вибираємо концентричне коло з тридцятьма отворами і розсуваємо лінійки сектора на шістнадцять проміжків. Підбираємо змінні зубчасті колеса гітари:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{40}{y} (y - z) = \frac{40}{75} (75 - 73) = \frac{80}{75} = \frac{10 \cdot 8}{15 \cdot 5} = \frac{60}{90} \frac{80}{50}.$$

Обов'язково перевіряють умови зачеплення змінних зубчастих коліс:

$$a + b \geq c + (15 \dots 22);$$

$$c + d \geq b + (15 \dots 22);$$

а також міжцентрову відстань, знаючи модуль змінних зубчастих коліс.

Режим різання. При обробці різних деталей на фрезерних верстатах застосовуються такі режими різання: подача на один зуб фрези; хвилинна подача; швидкість різання; частота обертання шпинделя із фрезою.

Рекомендовані подачі на один зуб фрези наведені у додатку 8.

Хвилинна подача (мм/хв) визначається за формулою:

$$S_M = S_z z_\phi n,$$

де z_ϕ - число зубів фрези; n – частота обертання шпинделя з фрезою, об/хв.

Швидкість різання визначається за формулою:

$$v = v_{табл} K_1 K_2 K_3,$$

де K_1 - коефіцієнт, що залежить від розмірів обробки; K_2 – від матеріалу, що обробляється; K_3 від стійкості матеріалу інструменту.

Швидкість різання $V_{табл}$ та коефіцієнти K_1 , K_2 , K_3 визначаються за таблицями у додатку 8.

Частота обертання шпинделя із фрезою визначається за формулою

$$n = \frac{1000v}{\pi D},$$

де V – швидкість різання, м/хв; D – зовнішній діаметр фрези, мм.

Частоту обертання шпинделя з фрезою коригують за паспортом верстата.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТИ

- 3.1. Універсально-фрезерний верстат.
- 3.2. Ділильна головка (лімбава) з паспортом і задня бабка до неї.
- 3.3. Набори змінних зубчастих коліс: для ділильної головки; для з'єднання головки із гвинтом столу верстата.
- 3.4. Набір дискових модульних фрез.
- 3.5. Заготовка.
- 3.6. Креслення деталі, що обробляється.
- 3.7. Оправки для кріплення заготовки та інструменту.
- 3.8. Машинні лещата.
- 3.9. Хомутик.
- 3.10. Набір втулок розпірних для кріплення фрези на оправці.
- 3.11. Набір гайкових ключів.
- 3.12. Вимірювальний інструмент; штангенциркуль; універсальний кутомір; штангензубомір; нормалемір; індикатор на магнітній основі.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Вивчити креслення деталі, що підлягає обробці. Вибрати вихідні дані, які необхідні для розрахунку налагодження верстата.
- 4.2. Розрахувати налагодження ділильної головки на поділ кола заготовки та визначити номер дискової модульної фрези.
- 4.3. Отримати від викладача індивідуальне завдання та виконати розрахунки, які необхідні для налагодження верстата на виготовлення прямозубого циліндричного колеса.

4.3.1. Розрахувати режими різання для нарізування зубчастого колеса за індивідуальним завданням, використовуючи додаток 8.

4.3.7. Результати розрахунків занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

№ переходу	Інструмент, кількість зубів, модуль	Режими різання				
		$D_{заг.}$ мм	t , мм	S_z ,	V , м/хв	n , об/хв

4.4. Виконати налагодження верстата:

а) налагодити ділильну головку на розподіл кола заготовки – на ділильному диску встановити пружний фіксатор на потрібне коло від версій і розсунути лінійки розсувного сектора на необхідну кількість отворів;

в) зміцнити на оправці ділильної головки оброблювану заготовку та хомут, встановити оправку в центрах ділильної головки та задньої бабки, закріпити хвостовик хомутика в пазу повідкової планки на шпинделі ділильної головки, закріпити піноль задньої бабки, перевірити биття;

г) вибрати з набору необхідну для роботи фрезу, встановити у шпиндель верстата та закріпити оправлення під інструмент, встановити на хобот верстата кронштейн та закріпити його;

д) встановити оброблювану деталь по відношенню до фрези в таке положення, щоб геометрична вісь обертання фрези розташовувалась над серединою циліндричної частини деталі, де нарізати зуби, а геометрична вісь обертання деталі знаходилася в середній площині фрези.

Глибина канавок, що фрезеруються, залежить від висоти зубів оброблюваного виробу, яка визначається за формулою:

$$h = 2,25m_n,$$

де m_n – модуль зубчастого зачеплення у нормальному перерізі, мм.

Налагодження верстата на фрезерування канавок потрібної глибини проводиться в такий спосіб. Заготовку, закріплену в оправку, встановлюють у центрах, переміщують стіл у горизонтальному напрямі доти, коли заготовка виявиться під фрезою. Вручну обережно піднімають консоль із заготовкою при шпинделі, що обертається, до зіткнення верхньої точки циліндричної поверхні заготовки з фрезою. Відводять стіл у бік від фрези і, ведучи відлік переміщення по лімбу, піднімають консоль на величину висоти зуба, що фрезерується. Підняту до потрібного положення консоль закріплюють;

ж) за вказівкою керівника роботи налагодити необхідну подачу столу та частоту обертання шпинделя.

4.5 Зробити обробку деталі.

4.6. Зняти оброблену деталь зі верстата та з оправки.

4.7. Користуючись наявними засобами вимірювання, перевірити відповідність обробленої деталі вимогам креслення.

4.8. Оформити звіт щодо виконання лабораторної роботи.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета роботи.

5.3. Дані про заготовку: матеріал, метод отримання, габаритні розміри.

5.4. Параметри зубчастого колеса, що обробляється.

5.5. Вихідні дані налаштування верстата (таблиця 1).

5.6. Накреслити схему встановлення деталі та інструменту на верстаті.

5.7. Аналіз відповідності точності оброблених поверхонь вимогам креслення.

5.9. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи формування зубчастих поверхонь застосовують у машинобудуванні?

2. Які фрези застосовуються при нарізуванні зубчастих коліс методом копіювання?

3. Для чого потрібна ділильна головка для формування зубчастого вінця на фрезерному верстаті?

4. Органи управління горизонтально-фрезерного верстата та їх розташування.

5. Які типи ділильних головок використовуються у машинобудуванні?

6. Які дані про об'єкт обробки необхідні налагодження верстата?

7. Як визначити режими різання при обробці зубчастого колеса методом копіювання?

8. Які види поділу може здійснювати ділильна голівка?

9. Як виконується диференціальний поділ на ділильній голівці?

Лабораторна робота №18. **ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ЗУБОДОВБАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ**

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомитись з методами нарізування циліндричних зубчастих коліс; навчитися налаштовувати довжину робочого ходу довбала, ланцюг головного руху, ланцюг поділу та обкату на підставі розрахунку та встановлення необхідних зубчастих коліс відповідних гітар (подач, обкату, поділу); навчитися практичним прийомам налагодження верстата.

2. ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Зубодовбальний напівавтомат моделі 5В12 призначений для нарізування циліндричних коліс з прямими та косими зубами, як із зовнішнім, так і з внутрішнім зачепленням. Зважаючи на малого перебігу довбала верстат пристосований для нарізування блоків зубчастих коліс.

Верстат працює за методом обкатки, де у процесі нарізування зубів відтворюються рухи пари циліндричних зубчастих коліс. Роботу одного колеса виконує зуборізне довбало, а другого – заготовка.

Довбало, встановлене на кінці шпинделя, здійснює зворотно-поступальний рух (вгору та вниз). При русі вниз довбало здійснює робочий хід, тобто здійснює процес різання, а при русі вгору здійснює холостий хід. Для запобігання псування і притуплення кромки на зубах довбала стіл із заготовкою відводиться від довбала на невелику величину під час зворотного ходу, а на момент початку робочого ходу стіл встановлюється у вихідне положення. Заготовка знаходиться на оправленні столу.

До початку обробки довбало підводиться впритул до зовнішньої поверхні заготовки. Потім включається радіальна подача шпиндельної головки для різання довбала в заготовку. Після закінчення радіальної подачі нарізування зубів відбувається на повний профіль за 1 повний оберт заготовки.

Верстат (рис. 1) має вертикальне компонування, станина його складається з трьох частин. У нижній частині розташовані двигун, насос гідросистеми та гідроагрегати. В окремих нішах змонтовано електрообладнання та резервуар для олії. У середній станині змонтовано: стіл, механізми реверсування, хитання та регулювання величини відведення столу, черв'ячна передача столу. Верхня частина станини служить для розташування валу кривошипно-шатунного механізму; механізмів радіальних та кругових подач; механізмів поділу та панелі управління верстатом.

Супорт змонтовано на напрямних верхньої станини. У корпусі супорта розташовані: штосель, черв'ячна передача, механізм переміщення та встановлення супорта, коромисло із зубчастим сектором, насос для подачі олії.

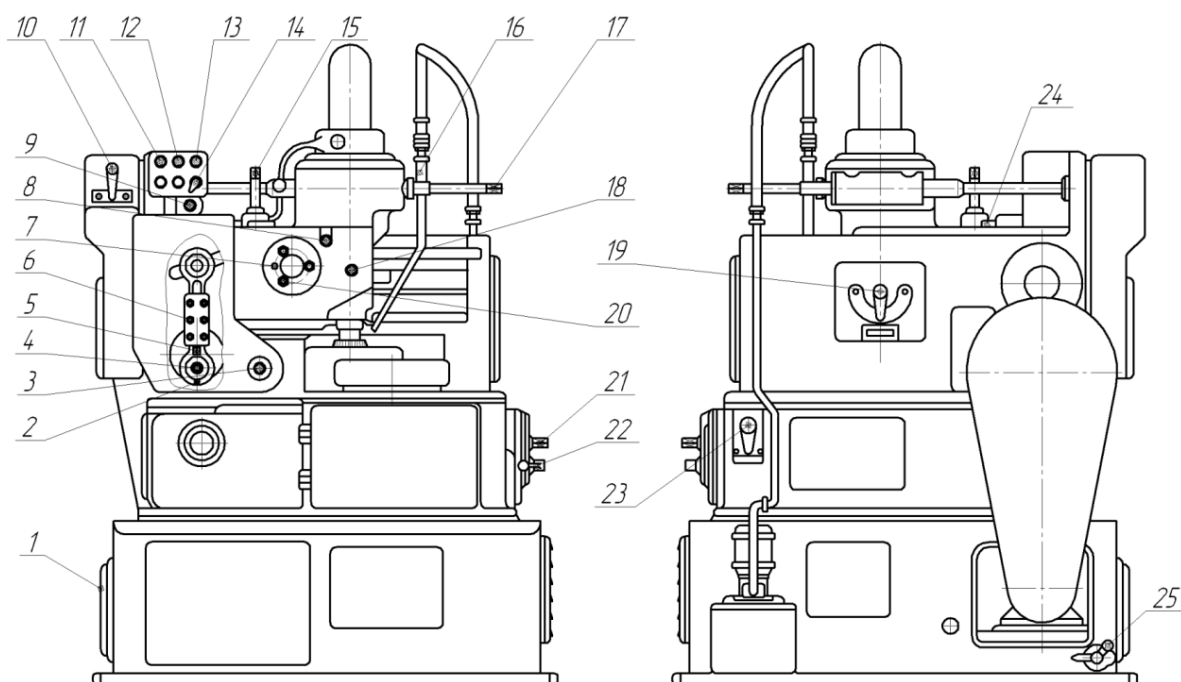


Рисунок 1 – Загальний вигляд верстата 5B12

Основні елементи налаштування та керування верстата:

- 1- Підведення струму в електричній схемі верстата
- 2- Регулювання довжини ходу штокеля
- 3- Поворот кривошипно-шатунного механізму
- 4- Стопоріння пальця кривошипу
- 5- Зміна довжини шатуна
- 6- Кріплення шатуна
- 7- Регулювання зазору в зачепленні сектора із штокелем
- 8- Переміщення супорту
- 9- Обертання кулачків врізання
- 10- Реверс супорта
- 11- Пуск та зупинка гідравліки
- 12- Пуск та зупинка головного приводу
- 13- Кнопка «поштовх»
- 14- Увімкнення та вимкнення місцевого освітлення
- 15- Встановлення глибини врізування
- 16- Подання ЗОТР
- 17- Обертання ділильної пари супорта

- 18- Фіксація супорта
- 19- Перемикання кулачків врізання
- 20- Фіксація супорта
- 21- Ручне обертання столу
- 22- Управління гідрозатиском
- 23- Реверс столу
- 24- Зупинка верстата
- 25- Перекидання ременів

Кінематична схема верстата представлена на рис. 2.

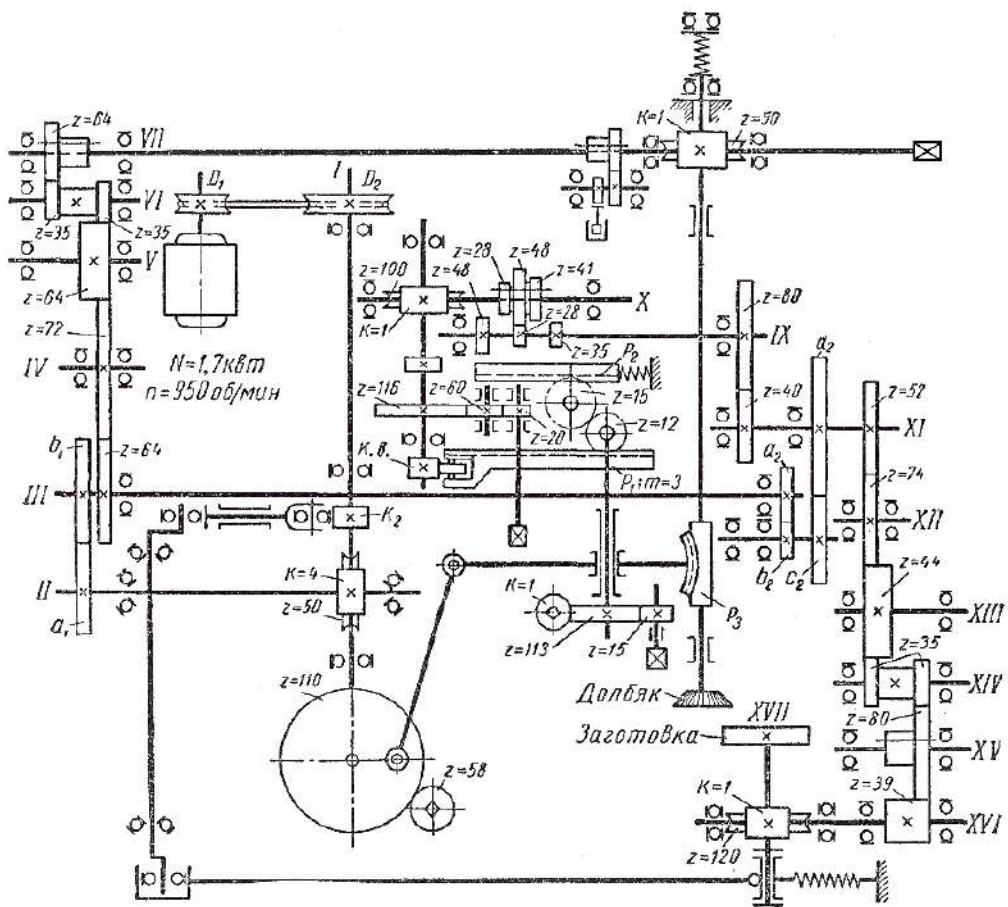


Рисунок 2 – Кінематична схема зубовдовбального верстата моделі 5B12

Схема включає *ланцюг головного руху* (обертально-поступальний рух довбала), *ланцюг обкатки (розподілу)*, *ланцюги подач* (кругових і радіальних) та *ланцюг ручних переміщень* при налаштуванні. Налаштування кінематичних ланцюгів проводиться на основі розрахункових переміщень, що приймаються.

Поворотно-поступальний рух довбала здійснюється за наступним ланцюгом: електродвигун ($N = 1,7$ кВт, $n = 950$ об/хв), чотириступінчаста клинопасова передача зі змінними шківками D_1/D_2 , вал I, кривошипно-шатунний меха-

нізм, що зачіпається з циліндричною рейкою P_3 шпинделя довбання за допомогою зубчастого сектора. Числа подвійних ходів довбала за хвилину 200; 315; 425; 600.

Обертальний рух довбала здійснюється за наступним ланцюгом: електродвигун ($N = 1,7$ кВт), ремінна передача D_1/D_2 , черв'ячна пара 4/50, вал II, змінні колеса a_1/b_1 , зубчасті пари 64/72 - 72/64, вали IV, V, VI, зубчасті колеса реверсу 64/35 – 35/64 або 64/64, вал VII, черв'ячну пару 1/90, шпindelь довбала.

За один подвійний хід довбала він повинен зняти шар металу, що відповідає величині кругової подачі $S_{кр}$. За величину $S_{кр}$ прийнято вважати величину дуги початкового кола довбала, на яку він повернувся під час одного подвійного ходу.

Звідси змінні колеса

$$\frac{a_1}{b_1} = \frac{358 S_{кр}}{D_{долзаг}},$$

де $D_{дол}$ - діаметр початкового кола довбала в мм.

Обертання заготовки (рух обкатки та поділу) здійснюється по ланцюгу: приводний вал I, черв'ячна пара 4/50, вал II, змінні колеса a_1/b_1 , вал III, змінні колеса $a/b \cdot c/d$, вал XI, зубчасті колеса 52/74·74/44, вали XII, XIII, зубчасті колеса реверсу 44/35·35/80 або 44/80, вали XIV, XV, зубчаста пара 80/39, вал XVI, черв'ячна пара 1/120, стіл із заготовкою. При повороті довбала на $1/z_{дол}$ заготовка повинна, виходячи з принципу роботи верстата, також повернутись на $1/z_{заг}$.

Звідси змінні колеса

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{Z_{дол}}{Z_{заг}},$$

Радіальна подача шпindelьної головки здійснюється по ланцюгу: приводний вал I, черв'ячна пара 4/50, вал II, змінні колеса a_1/b_1 , вал III, змінні колеса $a/b \cdot c/d$, зубчаста пара 40/80, вал IX, одна з трьох пар зубчастих коліс, що включаються 35/41 або 28/48, або 48/28, вал X, черв'ячна передача 1/100, кулачок врізання **К.В.** рейка P_1 , яка закріплена у корпусі шпindelьної головки.

Допоміжні рухи.

Відскок столу здійснюється від кулачка **К₂**, що сидить на приводному валу I, через систему важелів. Повернення проводиться пружиною.

Ручне вертикальне переміщення довбала проводиться рукояткою через зубчасту передачу 58/110. Ручний поворот кулачка **К.В.** радіальної подачі здійс-

нюється за допомогою зубчастих коліс $z = 20$, $z = 60$ та $z = 116$. Ручне переміщення супорта шпindelної головки здійснюється за допомогою черв'ячної пари 1/113, зубчастого колеса $z = 12$ та рейки з модулем 3 мм. За один оберт черв'яка переміщення супорта відповідає 1мм.

На валу черв'яка є лімб із ціною розподілу 0,01 мм. Прискорене переміщення проводиться зубчастою передачею 15/113, а величина переміщення за один оборот колеса $z = 15$ відповідає 15 мм.

Радіальне врізання відбуватиметься доти, доки упор не натисне на колійний вимикач кінця врізання і не надійде команда на перемикавання подвійних ходів, перемикавання подачі та включення лічильника, диск якого має кінематичний зв'язок зі столом верстата.

Подальша робота верстата залежить від того, який обраний цикл роботи – одно-, дво- чи трипрохідний (рис. 3).

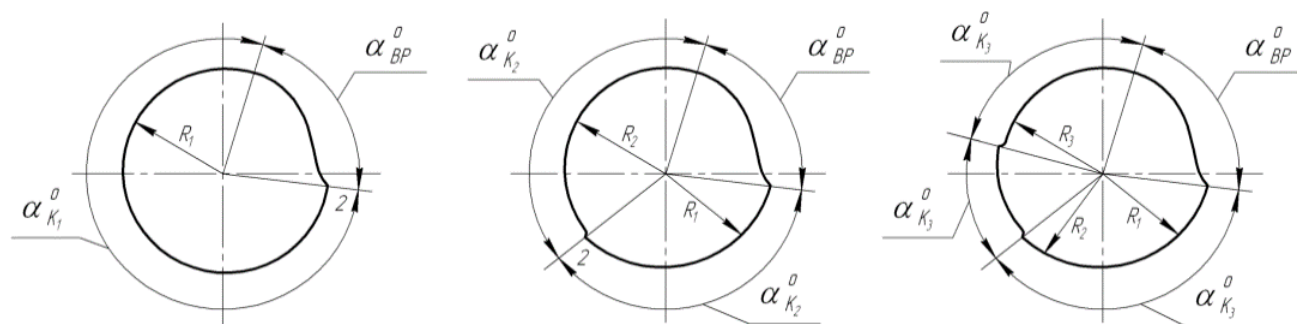


Рисунок 3. Кулачки радіальної подачі

На рисунку 3 показані кути відповідних ділянок для всіх типів кулачків: α_{BP} – кут кривої врізування; $\alpha_{K2} = 277,7^\circ$ – кут робочої кривої однопрохідного кулачка; $\alpha_{K2} = 138,3^\circ$ – кут робочих кривих двопрохідного кулачка; $\alpha_{K2} = 94,5^\circ$ – кут робочих кривих трипрохідного кулачка; R_1 - радіус кривої чистової обробки; R_2 - радіус кривої чорнового проходу у двопрохідного кулачка; $R_2 R_3$ - радіуси кривих першого та другого чорнових проходів у трипрохідного кулачка;

При однопрохідному циклі лічильник спрацьовує після повного обороту деталі і дає команду відключення верстата. Для роботи при трипрохідному циклі необхідно встановити три упори глибини врізання на спеціальному барабані управління: циклів буде стільки, скільки встановлено упорів. Після одного обороту столу із заготовкою переключиться подача. Чергове врізання відбуватиметься до натиску наступного кулачка, закріпленого на барабані, на відповідний колійний перемикач – він дасть команду на включення лічильника та відключення радіальної подачі. Лічильник відрахує ще один оборот столу, знову відбудеться врізання тощо.

Отже, при однопрохідному циклі стіл із заготовкою зробить один повний

оборот (і частина обороту на врізання); при двохпрохідному циклі – два повні обороти, при трипрохідному – три повні обороти.

Лічильник відліку повного обороту столу (рис. 4) включається після закінчення врізування інструменту; при цьому відключається штовхаючий електромагніт 3 і собачка 6 підводиться до храпового диска 1.

За один оберт приводного кулачка (на рис. 4 не показаний) важіль 5 через собачку 6 повернутий храповий диск 1 на $1/140$ обороту. Після двох оборотів диска 1 що відповідає одному обороту столу з заготовкою, фіксатор 8, заходячи в паз диска 7, дасть команду електромагніту 3 на відключення лічильника і продовження циклу. Собачка 2 служить для фіксації диска 1. За два обороти диска 1 диск 7 зробить один оборот, відлік цього обороту здійснюється фіксатором 8 та колійним перемикачем 9. Собачка 4 служить для відключення лічильника при швидкому обертанні столу.

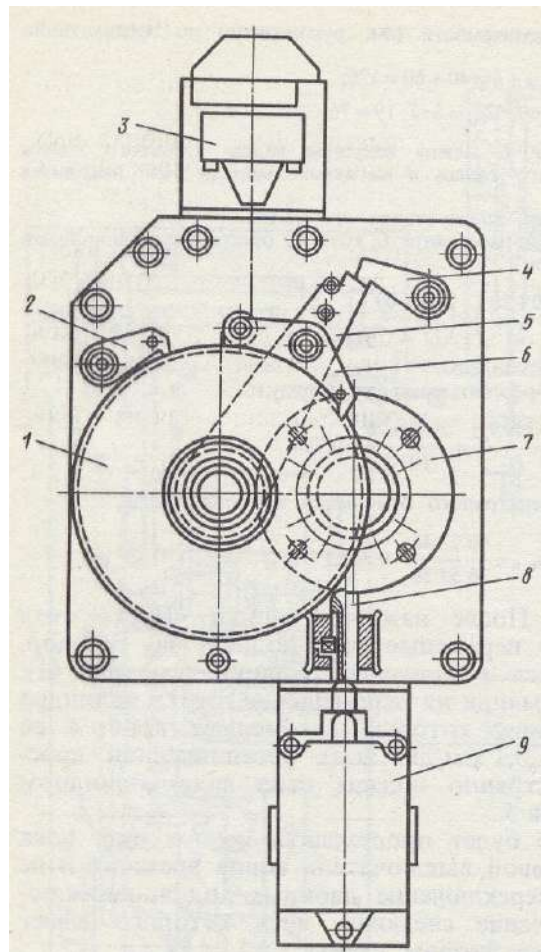


Рисунок 4 – Лічильник відліку оборотів столу

Швидке обертання столу (див. рис. 2) походить від електродвигуна М2 ($N = 0,8$ кВт, $n = 1350$ об/хв) через ремінну передачу з діаметрами шківів $D_5 = 90$ мм та $D_6 = 140$ мм, зубчасту пару $z = 38/56$ та ділильну пару $z = 1/190$. Прискорене

обертання столу необхідне для перевірки заготовки на биття.

Відведення довбала при холостому ході здійснюється від ексцентрика на валу IV через систему важелів. Шнек для відведення стружки із зони різання наводиться в рух від окремого електродвигуна $N = 0,4$ кВт.

Режими обробки при зубодовбанні.

Для раціональних режимів обробки при зубодовбанні необхідно вибрати оптимальні величини кругової подачі і швидкості різання, які залежать від параметрів оброблюваного зубчастого колеса, характеристики металорізального обладнання і необхідної якості зубчастого колеса, що нарізується.

Рекомендовані величини кругових подач для верстатів з різною потужністю головного приводу, рекомендовані швидкості різання, а також коефіцієнти поправки на режими різання для змінених умов роботи наведені в додатку 7.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ

- 3.1. Зубодовбальний верстат.
- 3.2. Набір змінних зубчастих коліс до верстата.
- 3.3. Довбало ($m = 1,0$ мм, $m = 1,5$ мм, $m = 2$ мм).
- 3.4. Оправлення для заготовки.
- 3.5. Заготовка.
- 3.6. Набір потрібного слюсарного інструменту.
- 3.7. Вимірювальний інструмент: індикатор зі штативом або з магнітною основою; штангенциркуль 0-125; штангенциркуль 0-150; штангензубомір; зубомірний мікрометр чи індикаторна скоба.
- 3.8. Таблиці визначення розмірів під штангензубомір.
- 3.9. Таблиці визначення довжини загальної нормалі.
- 3.10. Плакат "Кінематична схема верстата".

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Вивчити креслення деталі, що підлягає обробці. Вибрати вихідні дані, які необхідні для розрахунку налагодження верстата.
- 4.2. Отримати завдання від викладача, ознайомитись з кресленням деталі.
- 4.3. Ознайомитись із призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління верстата. Вивчити методику налаштування верстата.
- 4.4. Розрахувати параметри процесу різання, необхідні для налаштування зубодовбального верстата. Результати занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для налаштування верстата

Інструмент	Режими різання								
	$D_{заг}$, мм	b , мм	L , мм	t , мм	$S_{кр}$, мм/об	V , м/хв	$n_{дв}$, дв.х/хв	Гітара обкатки	Гітара гол.руху

4.4.1. Розрахувати довжину ходу довбала

$$L = b + 2h,$$

де h – величина перебігу довбала з одного боку заготовки, мм (для нешироких коліс рекомендується приймати значення до 5мм, додаток 7); b – ширина колеса, мм.

4.4.2. Визначити кругову подачу $S_{кр}$ та швидкість різання $V_{ср}$ (додаток 7).

4.4.3. Визначити частоту руху довбала за хвилину (число подвійних ходів) на підставі розрахованих режимів різання за формулою

$$n_{д} = \frac{500v_{ср}}{L},$$

де $V_{ср}$ - середня швидкість різання, м/хв (береться з нормативів, додаток 7).

Число подвійних ходів довбала в хвилину уточнюється за паспортними даними верстата (200; 315; 425; 600). Потім визначається фактична швидкість різання за формулою

$$v_{факт} = \frac{n_{факт}L}{500}.$$

4.5. Встановити рукоятки на коробці швидкостей, а також довжину ходу довбала з урахуванням шляху врізання та перебігу у відповідне положення.

4.6. Здійснити налагодження ланцюга обертання довбала (кругової подачі).

Потрібна для роботи кругова подача в залежності від характеру обробки, оброблюваного матеріалу модуля і потужності приводу вибирається з додатка 7.

Передатне відношення зубчастих коліс у коробці подач верстата визначають за формулою

$$i_{к.п} = \frac{298S_{кр}}{d},$$

де d – діаметр ділильного кола довбала, мм.

Після виконання необхідних розрахунків здійснюють установку рукояток у коробці подач у відповідне положення.

4.7. Здійснити налагодження ланцюга обертання заготовки.

Обертання довбала та заготовки пов'язані залежністю:

$$\frac{n_D}{n_{заг}} = \frac{z_{заг}}{z_D},$$

де n_D – частота руху довбала, дв. хід/хв; $n_{заг}$ – частота обертання заготовки, об/хв; z_D і $z_{заг}$ – відповідно число зубів довбала та заготовки.

Налагодження обертання заготовки здійснюють, встановлюючи змінні зубчасті колеса в гітару поділу та обкату.

Число зубів змінних зубчастих коліс визначають за формулою

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{2 z_{заг}}{z_{дол}},$$

При розрахунках необхідно враховувати такі умови зчеплення змінних зубчастих коліс для даного верстата: $a + b = 120$, $c = K \cdot 2z_D$,

де a , b , c , d – числа зубів змінних зубчастих коліс; $K = 1,2$ (див. посібник з експлуатації верстата).

4.8. Налагодження на глибину врізання довбала в заготовку (рух радіальної подачі) розглянуто вище.

4.9. Встановити довбало і заготовку, як показано на рисунку 5.

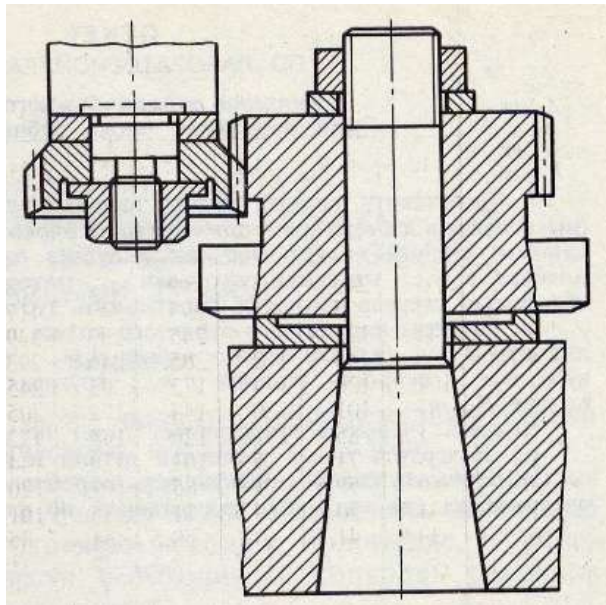


Рисунок 5 - Схема установки довбала та заготовки на верстаті

Довбало щільно насаджується на шпиндель верстата різальними кромками вниз і затягується гайкою.

Оправлення, на якому кріплять заготовку, вставляють у конічне гніздо шпинделя столу. Правильність установки перевіряють індикатором на радіальне биття та паралельність руху довбала щодо осі оправки. Биття оправки не повинно перевищувати 0,01 мм на відстані 200 мм від поверхні столу та 0,008 мм

біля його поверхні. Допускається биття зовнішнього діаметра заготовки 0,01... 0,05 мм (залежно від модуля, діаметра і необхідної точності колеса, що нарізується).

4.10. Включити верстат та обробити деталь.

4.11. Здійснити контрольні вимірювання (якщо необхідно за завданням) параметрів нарізаного зубчастого колеса.

Оброблене зубчасте колесо контролюється штангензубоміром (рис. 6).

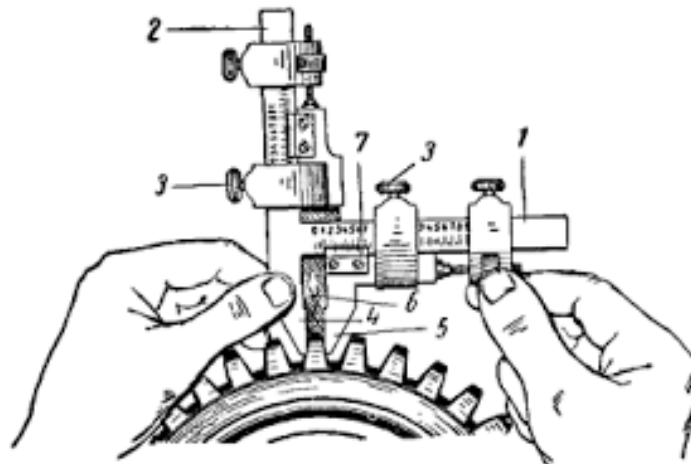


Рисунок 6 – Штангензубомір:

1 - горизонтальна штанга; 2 - вертикальна штанга; 3 - рамка зі шкалою Ноніуса; 4 - губка вертикальної штанги; 5 - губка горизонтальної рамки (вимірювальна губка товщини); 6 - висотна лінійка; 7 - шкала Ноніуса горизонтальної губки

Штангензубомір складається з двох штанг (1) і (2), з'єднаних нерухомо та розташованих взаємно перпендикулярно. На вертикальній штанзі (2) з вимірювальною губкою (4) встановлена рухома рамка (3) зі шкалою Ноніуса з ціною розподілу 0,02 мм, яка може стопоритися гвинтом, та висотною лінійкою (6). Рамка переміщається по вертикальній штанзі за допомогою гайки та мікрогвинта як на звичайному штангенциркулі. На горизонтальній штанзі (1) встановлена рухома рамка (3) із вимірювальною губкою товщини (5) та шкалою Ноніуса (7). Горизонтальна рамка переміщається по штанзі мікрогвинтом з гайкою і стопориться гвинтом.

Вимірюється товщина зуба по постійній хорді S_{nx} . Товщина зуба вимірюється по хорді, що розташована на відстані h_{nx} від кола виступів (рис.7).

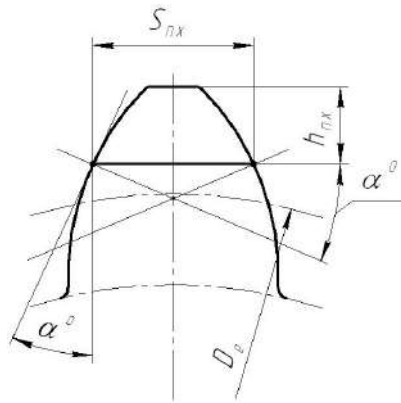


Рисунок 7 – Схема вимірювання товщини зуба по постійній хорді

4.11.1. За формулами визначаємо висоту h_{nx} , на якій вимірюватимемо товщину S_{nx} (з точністю 0,02).

$$S_{nx} = 1,387 m, \text{ мм}$$

$$h_{nx} = 0,748 m, \text{ мм}$$

де m – модуль колеса, що нарізується, в мм

4.11.2. Встановлюємо розрахункову висоту на вертикальній штанзі (2) за допомогою мікрогвинта та гайки: вручну встановлюємо по нульовому штриху шкали Ноніуса цілі мм та 0,5мм, закріплюємо рамку гвинтом. Далі за шкалою Ноніуса) встановлюємо соті частки мм, переміщуючи рамку верхньої штанги. Досягши необхідного розрахункового значення стопоримо рамку гвинтом.

4.11.3. Штангензубомір встановлюємо на зуб так, щоб висотна лінійка (6) стосувалася кола виступів зуба, а вимірювальні губки (4), (5) – бічної поверхні зуба.

4.11.4. Стопоримо рамку мікрогвинта переміщення горизонтальної рамки.

4.11.5. Обертаючи мікрогайку гвинта подачі, посуваємо рамку (3) з вимірювальною губкою (5) до щільного зіткнення з бічної поверхні зуба, що оцінюється за появою зазору між висотною лінійкою та окружністю виступів зуба.

4.11.6. Зворотним обертанням мікрогайки повертаємо висотну лінійку до зіткнення з колом виступів зуба, тобто. зазор (просвіт) має зникнути.

4.11.7. Стопоримо рамку горизонтальної штанги (3).

4.11.8. Читаємо розмір товщини зуба: проти нульової риски шкали Ноніуса рамки горизонтальної штанги читаємо цілі значення в міліметрах і 0,5 мм, а за шкалою Ноніуса читаємо соті частки міліметра за збігом риски шкали Ноніуса та риски на горизонтальній штанзі.

4.11.9. Результати вимірювання S_{nx} порівнюються з розрахунковими значеннями.

4.12. Оформити звіт щодо виконання лабораторної роботи.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про заготовку: матеріал, габаритні розміри.
- 5.4. Параметри зубчастого колеса, що обробляється.
- 5.5. Вихідні дані налаштування верстата (таблиця 1).
- 5.6. Накреслити схему встановлення заготовки та інструменту на верстаті.
- 5.7. Аналіз відповідності точності оброблених поверхонь вимогам креслення (якщо виконувався).
- 5.9. Висновки щодо роботи.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які методи формування зубчастих поверхонь застосовують у машинобудуванні?
2. Який процес імітується на зубодовбальному верстаті?
3. Для чого необхідний ланцюг поділу та обкату на зубодовбальному верстаті?
4. Органи управління зубодовбальним верстатом та їх розташування.
5. Порядок налагодження верстата для обробки циліндричних зубчастих коліс.
6. Які дані про об'єкт обробки необхідні для налагодження верстата?
7. Які режими різання необхідно визначити при обробці зубчастого колеса на верстаті?
8. Що таке гітара змінних коліс і навіщо вона застосовується?
9. Що таке «подвійний хід довбала» і від чого він залежить?
10. Які типи коліс можна обробляти на зубодовбальному верстаті?
11. У чому перевага зубодовбального верстата порівняно із зубофрезерним?
12. Що таке «кулачок радіальної подачі», навіщо він потрібний?
13. З якою метою виконується «відскок» столу із заготовкою при зворотному ході довбала?

Лабораторна робота № 19. **ОСНОВИ 3D-ДРУКУ АБО «АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО»**

1.МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомить студентів з технологічними можливостями та основами налагодження обладнання для 3D друку в процесі отримання деталей адитивним способом.

2.ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

3D-друк або «адитивне виробництво» – процес створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі. 3D-друк заснована на концепції побудови об'єкта шарами, що послідовно наносяться та відображають контури моделі.

Фактично, 3D-друк є повною протилежністю традиційних методів механічної обробки коли формування вигляду виробу відбувається з допомогою видалення зайвого матеріалу (так зване «субтрактивне виробництво»).

3D-принтерами називають верстати з програмним керуванням, що виконують побудову деталі адитивним способом.

Хоча технологія 3D-друку з'явилася ще в 80-х роках минулого століття, широке комерційне поширення 3D-принтери набули лише на початку 2010-х. Перший дієздатний 3D-принтер був створений Чарльзом Халлом, одним із засновників корпорації 3D Systems. Термін "стереолітографія" був визначений Чарльзом Халлом в патенті від 1984 року, як "система генерування тривимірних об'єктів за рахунок пошарового формування".

Під час друку принтер зчитує 3D-друкований файл (зазвичай у форматі STL), що містить дані тривимірної моделі, і наносить послідовні шари рідкого, порошкоподібного, паперового або листового матеріалу, вибудовуючи тривимірну модель із серії поперечних перерізів. Ці шари, що відповідають віртуальним поперечним перерізам САD-моделі, з'єднуються або сплаваються разом для створення об'єкта заданої форми. Основною перевагою даного методу є можливість створення геометричних форм практично необмеженої складності.

«Роздільна здатність» принтера передбачає товщину шарів (вісь Z), що наносяться, і точність позиціонування друкованої головки в горизонтальній площині (по осях X і Y). Роздільна здатність вимірюється в DPI (кількість точок на дюйм) або мікрометрах (застарілим терміном є мікрон). Типова товщина шару становить 100мкм (250 DPI), хоча деякі пристрої здатні друкувати шарами зав-

товшки від 16мкм (1600 DPI). Роздільна здатність по осях X і Y схоже з показниками звичайних двовимірних лазерних принтерів. Типовий розмір часток становить близько 50-100мкм (від 510 до 250 DPI) у діаметрі.

Хоча роздільна здатність принтерів цілком достатня для більшості проєктів, друк об'єктів з трохи перевищеними вимірюваннями і подальшою механічною субтрактивною обробкою високоточними інструментами дозволяє створювати моделі підвищеної точності.

Розробка 3D-моделей: 3D-моделі створюються методом ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування. 3D-сканування – це автоматичний збір та аналіз даних реального об'єкта, а саме форми, кольору та інших характеристик, з подальшим перетворенням на цифрову тривимірну модель.

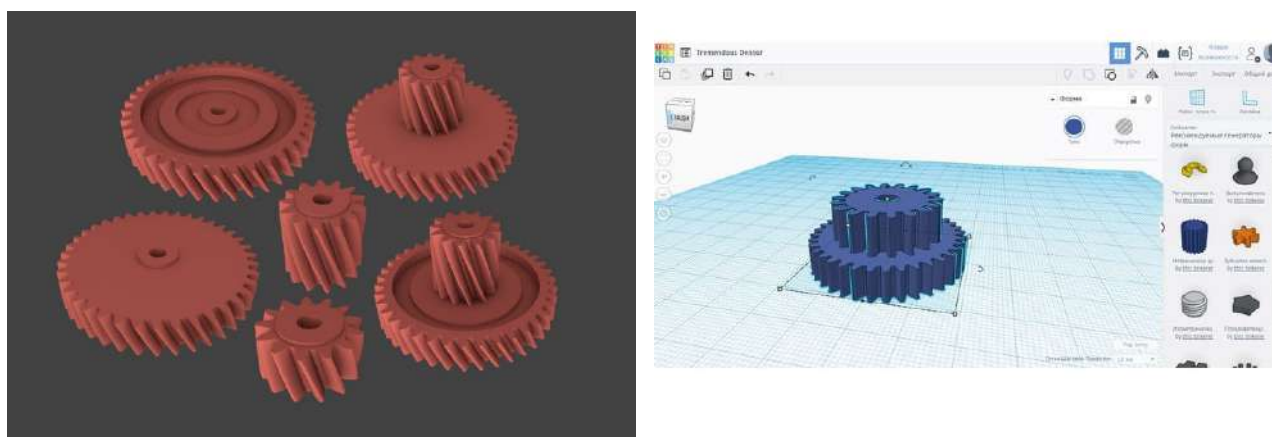


Рисунок 1 - Цифрові моделі для 3D - друкованих об'єктів

Побудова моделі з використанням сучасних технологій займає від кількох годин до кількох днів залежно від методу, що використовується, а також розміру і складності моделі.

В даний час доступний широкий вибір методів адитивного виробництва. Основні відмінності полягають у методі нанесення шарів та використуваних витратних матеріалах. Деякі методи ґрунтуються на плавці або розм'якшенні матеріалів для створення шарів: сюди входить вибіркоче лазерне спікання (SLS), вибіркоче лазерна плавка (SLM), пряме лазерне спікання металів (DMLS), друк методом пошарового наплавлення (FDM або FFF). Іншим напрямом стало виробництво твердих моделей за рахунок полімеризації рідких матеріалів, відоме як стереолітографія (SLA).

У випадку ламінування листових матеріалів (LOM), тонкі шари матеріалу піддаються різанню до необхідного контуру, з подальшим з'єднанням в єдине

ціле. Як матеріали для LOM можуть використовуватися папір, полімери та метали. Кожен із перерахованих методів має свої переваги та недоліки, у зв'язку з чим деякі компанії пропонують вибір витратного матеріалу для побудови моделі – полімеру або порошку. Принтери, що працюють за технологією LOM, часто використовують звичайний офісний папір для міцних прототипів. Ключовими моментами при виборі відповідного пристрою є швидкість друку, ціна 3D-принтера, собівартість прототипів, що друкуються, а також вартість і асортимент сумісних витратних матеріалів (табл.1).

Принтери, що виготовляють повноцінні металеві моделі, мають досить високу вартість, проте можливе використання менш дорогих пристроїв для виробництва ливарних форм з подальшим виливом металевих деталей.

Таблиця 1 - Основні методи адитивного виробництва

Метод	Технологія	Використовувані матеріали
Екструзійний	Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM або FFF)	Термопластики (такі як полілактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS) та ін.)
Дротовий	Виробництво довільних форм електронно-променевою плавкою (EBF?)	Практично будь-які металеві сплави
<u>Порошковий</u>	Пряме лазерне спікання металів (DMLS)	Практично будь-які металеві сплави
	Електронно-променева плавка (EBM)	Титанові сплави
	Вибіркова лазерна плавка (SLM)	Титанові сплави, кобальт-хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній
	Вибіркове теплове спікання (SHS)	Порошкові термопластики
	Вибіркове лазерне спікання (SLS)	Термопластики, металеві порошки, керамічні порошки
Струменевий	Струменевий тривимірний друк (3DP)	Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші
Ламінування	Виготовлення об'єктів методом ламінування (LOM)	Папір, металева фольга, пластикова плівка
Полімеризація	Стереолітографія (SLA)	Фотополімери
	Цифрова світлодіодна проекція (DLP)	Фотополімери

Екструзійний друк. Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM/FFF) було розроблено С. Скоттом Трампом наприкінці 1980-х і набуло

комерційного поширення у 1990 силами компанії Stratasys, серед засновників якої числиться сам Трамп. У зв'язку із закінченням терміну дії патенту існує велика спільнота розробників 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом, а також комерційних організацій, які використовують цю технологію.

Процес друку методом пошарового наплавлення передбачає створення шарів за рахунок екструзії матеріалу, який швидко застигає, у вигляді мікрокрапель або тонких струменів.

Як правило, витратний матеріал (наприклад, термопластик) постачається у вигляді катушок, з яких матеріал надходить в друкарську головку, яка має назву «екструдер». Екструдер нагріває матеріал до температури плавлення з наступним вичавлюванням розплавленої маси через сопло. Сам екструдер рухається покроковими двигунами або сервомоторами, що забезпечують позиціонування друкарської головки в трьох площинах. Переміщення екструдера контролюється виробничим програмним забезпеченням (CAM), прив'язаним до мікроконтролера.

В якості витратних матеріалів використовуються всілякі полімери, включаючи акрилонітрилбутадієнстирол (ABS), полікарбонат (PC), полілактид (PLA), поліетилен високого тиску (HDPE), суміші полікарбонату та ABS-пластику, поліфеніленсульфон (PPSU) та інші. Як правило, полімер поставляється у формі наповнювача, виготовленого із чистого пластику. У співтоваристві ентузіастів 3D-друку існує кілька проєктів, спрямованих на переробку використаного пластику на матеріали для 3D-друку. Проєкти засновані на виробленні витратних матеріалів за допомогою шредерів та переплавних пристроїв.

Технологія FDM/FFF має певні обмеження щодо складності створюваних геометричних форм. Наприклад, створення навісних конструкцій (таких, як сталактити) неможливе саме собою, через відсутність необхідної підтримки деталі. Це обмеження компенсується створенням тимчасових опорних конструкцій після завершення друку.

Порошковий друк. Одним із методів адитивного виробництва є вибіркоче спікання порошкових матеріалів. Шари моделі викреслюються (спікаються) у тонкому шарі порошкоподібного матеріалу, після чого робоча платформа опускається, і наноситься новий шар порошку. Процес повторюється до отримання цільної моделі. Невитрачений матеріал залишається в робочій камері і служить для підтримки шарів, що нависають, не вимагаючи створення спеціальних опор.

Найбільш поширеними за цією технологією є методи, засновані на спіканні за допомогою лазерів: вибіркоче лазерне спікання (SLS) для роботи з металами

та полімерами (наприклад, поліамідом (PA), поліамідом, армованим скловолоконом (PA-GF), скловолоконом (GF), поліефірефіркетонном (PEEK), полістиролом (PS), алюмідом, поліамідом, армованим вуглеволоконном (Carbonmide, еластомерами) і пряме лазерне спікання металів (DMLS).

Метод вибіркового лазерного спікання (SLS) був розроблений і запатентований Карлом Декардом та Джозефом Біманом з Техаського університету в Остіні в середині 1980-х під егідою Агентства з перспективних оборонних науково-дослідних розробок США (DARPA). Такий спосіб був запатентований Р.Ф. Хаусхолдером 1979 року, але не отримав комерційного поширення.

Вибіркова лазерна плавка (SLM) відрізняється тим, що не спікає, а фактично розплавляє порошок в місцях зіткнення з потужним лазерним променем, дозволяючи створювати матеріали високої щільності, які аналогічні в плані механічних характеристик до виробів, виготовлених традиційними методами.

Електронно-променева плавка (EBM) є подібним способом адитивного виробництва металевих деталей (наприклад, з титанових сплавів), але з використанням електронних пучків замість лазерів. EBM ґрунтується на плавці металевих порошоків шар за шаром у вакуумній камері. На відміну від спікання при температурах нижче порогів плавлення, моделі, виготовлені електронно-променевою плавкою, відрізняються монолітністю з відповідно високою міцністю.

Метод струмінєвого 3D-друку. В даному випадку на тонкі шари порошку (гіпсу або пластику) наноситься сполучний матеріал відповідно до контурів послідовних шарів цифрової моделі. Процес повторюється до одержання готової моделі. Технологія забезпечує широкий діапазон застосування, включаючи створення кольорових моделей, навісних конструкцій, використання еластомерів. Конструкція моделей може бути посилена за рахунок подальшого просочення воском або полімерами.

Ламінування. Деякі принтери використовують як матеріал для побудови моделей папір, тим самим знижуючи вартість друку. Подібні пристрої пережили пік популярності у 1990-х. Технологія полягає у викроюванні шарів моделі з паперу за допомогою вуглекислотного лазера з одночасним ламінуванням контурів для формування готового виробу.

У 2005 році компанія Mcor Technologies, Ltd розробила варіант технології, що використовує звичайний офісний папір, лезо з карбїду вольфраму замість лазера та вибіркєве нанесення клею.

Також існують варіанти пристроїв, що здійснюють ламінування тонкими металевими та пластиковими листами.

Фотополімеризація. Технологія стереолітографії була запатентована Чарльзом Халлом у 1986 році. Фотополімеризація в основному використовується в стереолітографії (SLA) для створення твердих об'єктів із рідких матеріалів. Цей метод значно відрізняється від попередніх спроб, починаючи зі скульптурних портретів Франсуа Віллема (1830-1905) та закінчуючи фотополімеризацією за методом Мацубари (1974).

Метод цифрової проєкції (DLP) використовує рідкі фотополімерні смоли, що твердіють під впливом ультрафіолетового світла, яке випромінюється цифровими проєкторами у робочій камері із захисним покриттям. Після затвердіння матеріалу робоча платформа занурюється на глибину, рівну товщині одного шару, рідкий полімер знову опромінюється. Процедура повторюється до завершення будівництва моделі.

Струменеві принтери розпорошують тонкі шари (16-30мкм) фотополімеру на робочу платформу до отримання цільної моделі. Кожен шар опромінюється ультрафіолетовим пучком до затвердіння. В результаті виходить модель, яка готова до негайного використання. Гелеподібний опорний матеріал, що використовується для підтримки компонентів геометрично-складних моделей, видаляється після виготовлення моделі вручну та промиванням. Технологія допускає використання еластомерів.

Надточна деталізація моделей може бути досягнута за допомогою багатифотонної полімеризації. Цей метод зводиться до креслення контурів тривимірного об'єкта лазерним пучком, який сфокусовано. Завдяки нелінійному фотозбудженню матеріал застигає лише у точках фокусування лазерного пучка. Даний метод дозволяє з легкістю домагатися роздільної здатності понад 100мкм, а також вибудовувати складні структури з частинами, що рухаються і взаємодіють.

Проекційна стереолітографія. Даний метод передбачає поділ цифрової тривимірної моделі на горизонтальні шари з перетворенням кожного шару на двовимірну проєкцію, аналогічну фотошаблонам. Двовимірні зображення проєктуються на послідовні шари фотополімерної смоли, що твердіють відповідно до проєктованих контурів.

У деяких системах проєктори розташовані знизу, сприяючи вирівнюванню поверхні фотополімерного матеріалу при вертикальному русі моделі (в даному випадку робоча платформа з нанесеними шарами пересувається вгору, а не занурюється в матеріал) і скорочення виробничого циклу до хвилин замість годин.

Технологія дозволяє створювати моделі із шарами з декількох матеріалів із різною швидкістю застигання.

Термопластики для екструзійного методу поширового наплавлення (FDM чи FFF).

PLA - пластик (полілактід) – є полімером молочної кислоти і створюється з натуральних природних матеріалів: крохмалю, цукрової тростини, целюлози, кукурудзи. PLA пластик рекомендований для друку високоточних виробів з мінімальною термоусадкою.

Головна особливість PLA – він безпечний, не несе загрози здоров'ю, саме тому його можна використовувати для виробництва дитячих товарів, одноразового посуду, побутових виробів тощо.

Дуже часто в інтернеті можна знайти інформацію про те, що PLA біологічно розкладається. За нашим досвідом та останніми даними з інтернату реальний термін життя надрукованих деталей із PLA більше 10-15 років без втрати властивостей поза приміщеннями. У нас на кафедрі є надруковані деталі, які чудово почуваються з 2013 року, без найменшого натяку на зміну механічних властивостей. Тому, не бійтеся використовувати PLA пластик у довгострокових проєктах!

ABS-пластик (Акрилонітрилбутадієнстирол) вже давно зарекомендував себе на ринку, як надійний і безпечний матеріал для друку на 3D-принтері. Ця сировина використовується у багатьох галузях промисловості. З інженерної версії виготовляють різні автомобільні деталі для оздоблення салону, корпусів електроприладів, предметів інтер'єру, посуду і так далі.

Модифікована версія для друку відрізняється більш високою міцністю. Не має різкого запаху, не плавиться за високих температур, тому вважається максимально безпечним для застосування в побутових умовах. Підвищена еластичність дозволить створювати вироби з габаритами понад 10 см та з рівномірною поверхнею без видимої шорсткості. Фінальна обробка займає мінімальну кількість часу за рахунок тривалого процесу розчинення сировини у спеціальній рідині.

Технічні характеристики ABS-пластику:

- можна пофарбувати у будь-який колір;
- зносостійкий та ударостійкий;
- має високу еластичність;
- має «іммунітет» до технічної олії, луги та різних миючих речовин;
- здатний витримати температуру нагрівання до 103⁰ С.

Ще однією перевагою матеріалу є його вартість, яка у кілька разів нижча, ніж у аналогів.

Великий температурний діапазон (від -40⁰ С до +80⁰ С) дозволяє працювати

з пластиком у звичайних побутових умовах без застосування захисних аксесуарів.

Термопластик ABS знайшов широке застосування у різних сферах діяльності. Як було сказано вище, він неймовірно міцний, особливо якщо порівнювати з найближчим конкурентом – PLA. Він менш еластичний, тому підходить для професійного застосування. А глясовий фінальний блиск робить готові вироби привабливішими на вигляд. До того ж, конструкцію можна легко доопрацювати вручну, і при цьому не деформувавши її. На стадії полімеризації можлива добавка додаткових елементів, якщо цього вимагає реалізація проєкту. Макету можна надати будь-який колір, якщо ви працювали з безбарвною речовиною.

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

3.1. 3D-принтер моделі SNAPMAKER (рис.2).

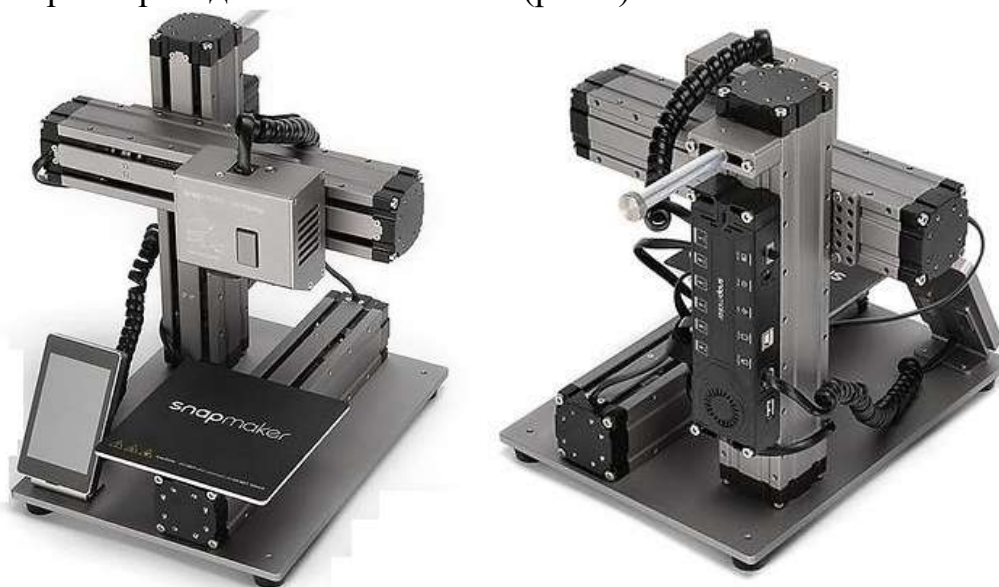


Рисунок 2 - 3D-принтер моделі SNAPMAKER

Таблиця 2 - Технічні характеристики 3D-принтера моделі SNAPMAKER

Габарити	335 x 289 x 272 мм
Обсяг друку	125 x 125 x 125 мм
Швидкість переміщення друкувальної головки	До 100 мм/с
Роздільна здатність шару	50 – 300 мкм
Макс. температура платформи з підігрівом	80°C
Макс. температура екструдера	250°C
Підтримувані матеріали	1,75 мм PLA, ABS

3.2. Набір інструментів (повірочна картка контролю зазору між соплом екструдера та робочим столом 3D-принтера, пінцет, лопатка для зняття готового виробу).

3.3. Карта пам'яті стандарту MicroSD

3.4. Філамент (пластиковоа нитка) діаметром 1,75 мм.



Рисунок 3 - Філамент (пластиковоа нитка)

4.ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з існуючими технологіями адитивного виробництва у машинобудуванні. Їх перевагами та недоліками.

4.2. Ознайомитись з конструкцією та призначенням основних вузлів, механізмів та органів управління 3D-принтера моделі SNAPMAKER.

4.3. Вивчити методику підготовки до роботи 3D-принтера моделі SNAPMAKER та його налаштування.

4.4. Увімкніть живлення на контролері 3D-принтера.

4.5. Виконати заміну/заправку філаменту та калібрування зазору між соплом екструдера та робочим столом (платформа з підігрівом) 3D-принтера.

Для цього:

1) На сенсорному екрані перейдіть до **Controls > Change Filament > Confirm** (рис.4).



Рисунок 4 – Сенсорний екран: перехід до панелі Confirm

2) Зачекайте, поки форсунка не нагріється до 200°C. Натисніть **Next** (рис.5).



Рисунок 5 – Сенсорний екран при включенні принтера

3) Натисніть кнопку на передній панелі модуля 3D-друку, тим часом попередній філамент спочатку необхідно направити в отвір і потім швидко витягнути його. Відпустіть кнопку після витягування нитки (рис.6).

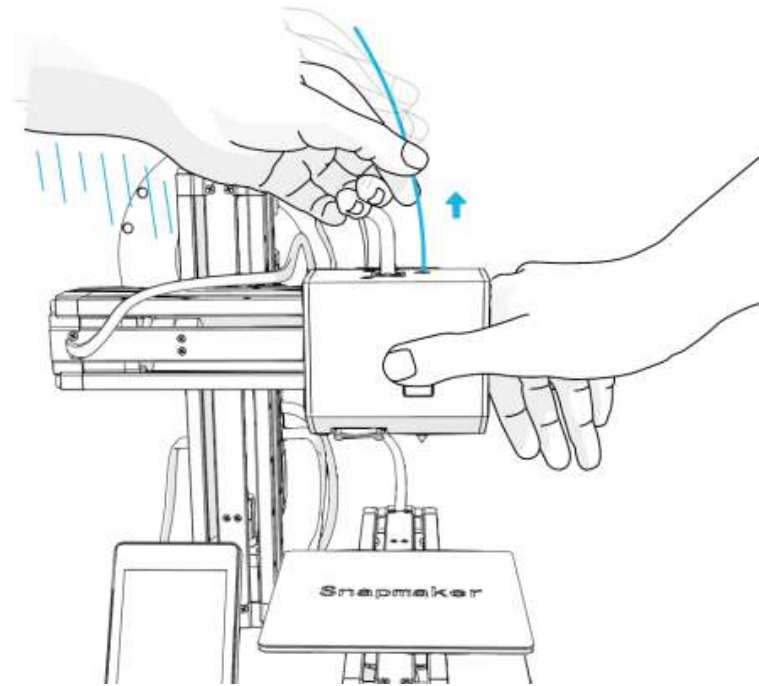


Рисунок 6 – Видалення використаного філаменту

4) Повісьте нову котушку з філаментом на утримувач. Для більш гладкого друку кінець філаменту повинен бути розміщений, як показано на рисунку 7.

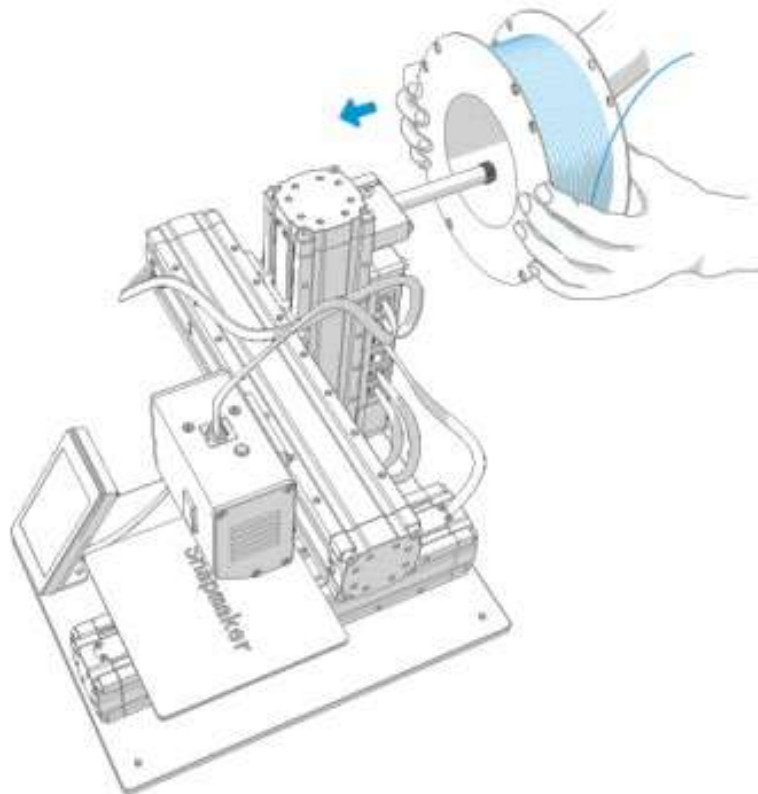


Рисунок 7 – Положення нової котушки з філаментом

5) Зробіть скіс на кінці філаменту під кутом 45° і випряміть його, як показано на рисунку 8. Натисніть кнопку на передній панелі модуля 3D-друку та вставте новий філамент в отвір зверху.

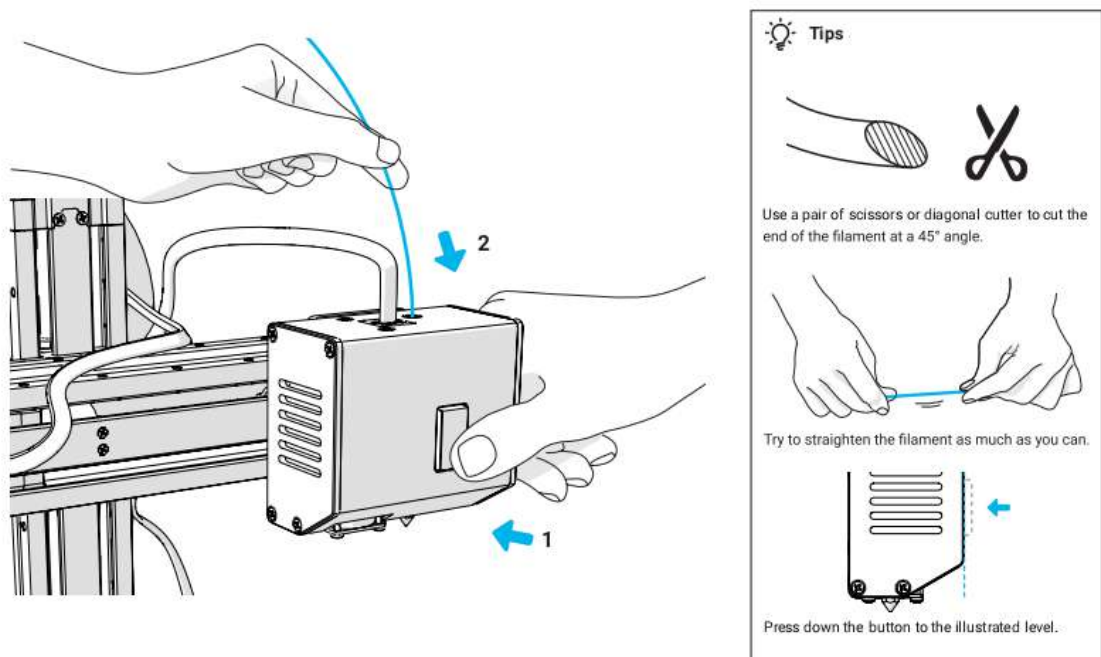


Рисунок 8 – Початок встановлення нового філаменту

6) Продовжуйте вставляти філамент, поки із сопла не з'явиться нова нитка, після цього кнопку можна відпустити (рис.9).

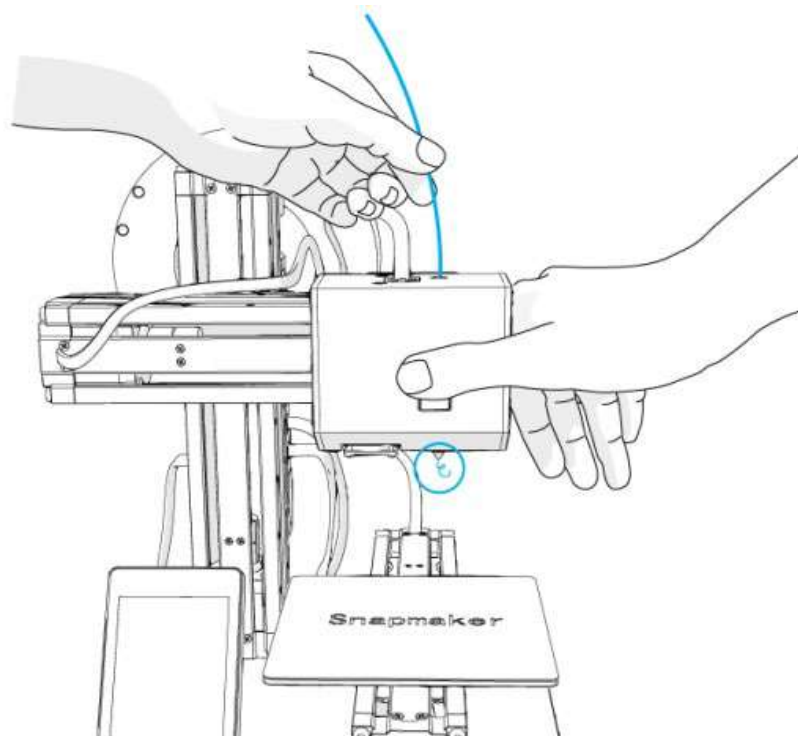


Рисунок 9 – Закінчення встановлення нового філаменту

7) Натисніть **Loaded/Unloaded** на сенсорному екрані (рис.10).

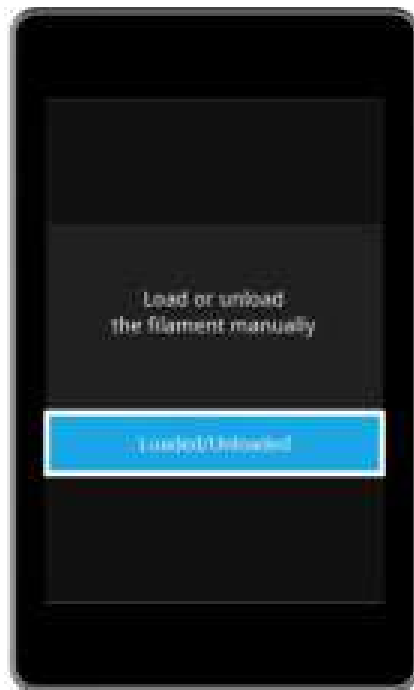


Рисунок 10 – Програмне закінчення встановлення нового філаменту

8) Використовуйте пінцет, що додається, для очищення видавленої із сопла нитки (рис.11).

Увага ! Не робіть це пальцями рук, сопло розжарене до 200° C!

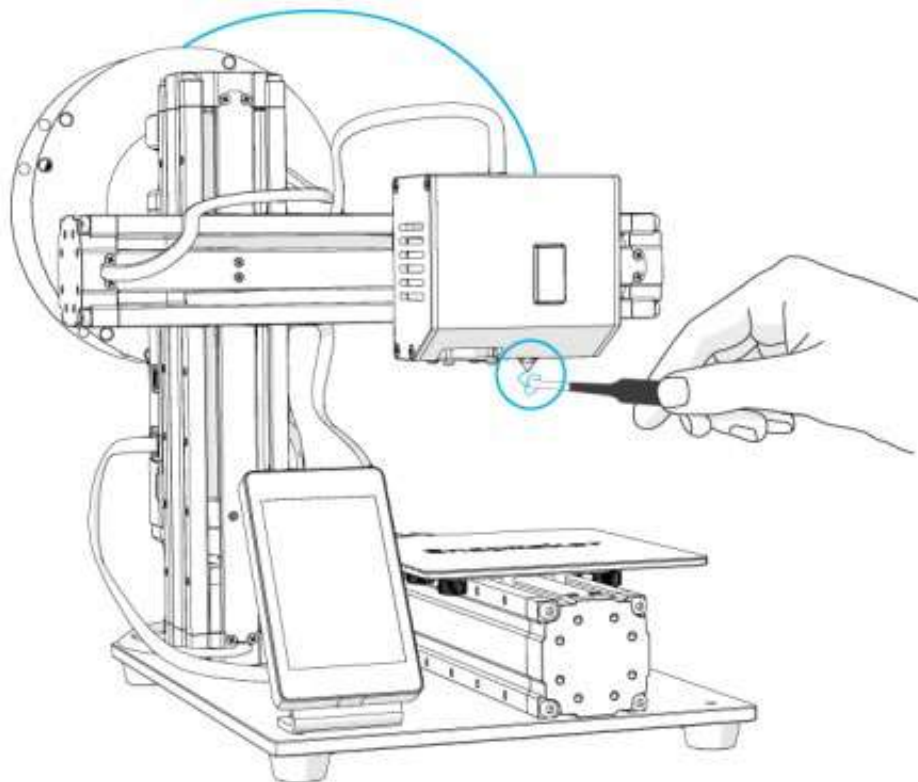


Рисунок 11 – Очищення сопла 3D-принтера

9) Проводимо калібрування робочого столу (платформа з підігрівом). У цьому розділі необхідно переконатися, що платформа з підігрівом та вісь X вирівняні (рис.12).

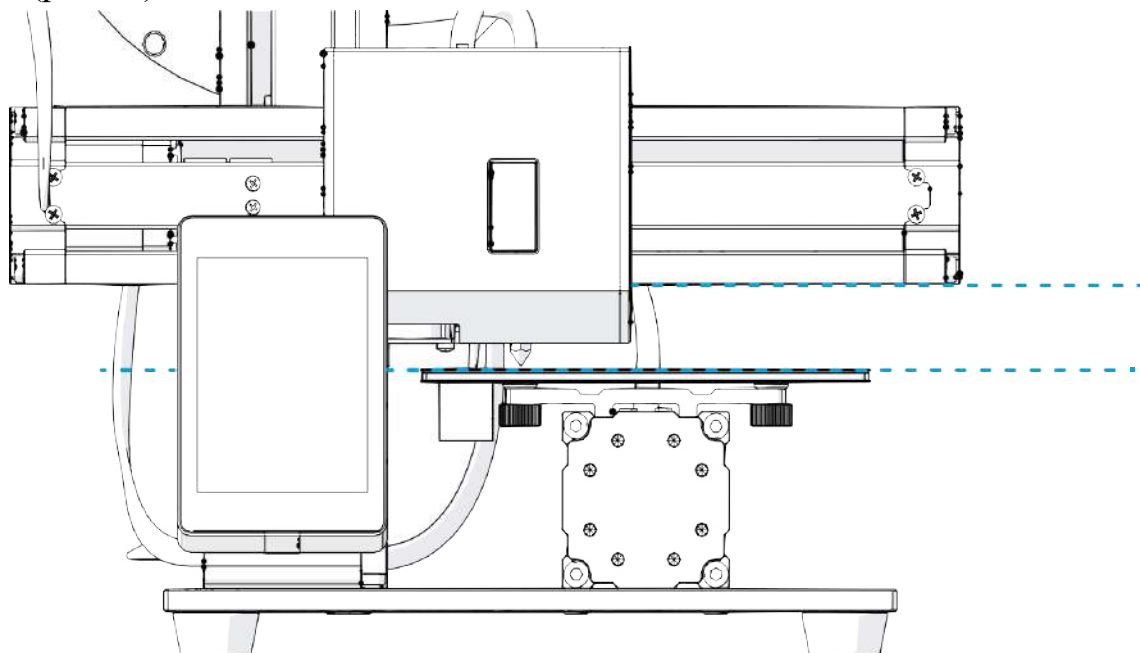


Рисунок 12 – Необхідне положення робочого столу

Щоб вирівняти платформу з підігрівом, вирівняйте чотири кути по порядку (рис.13). Ці кути відповідають номерам на сенсорному екрані, як показано на наступному етапі (рис.14).

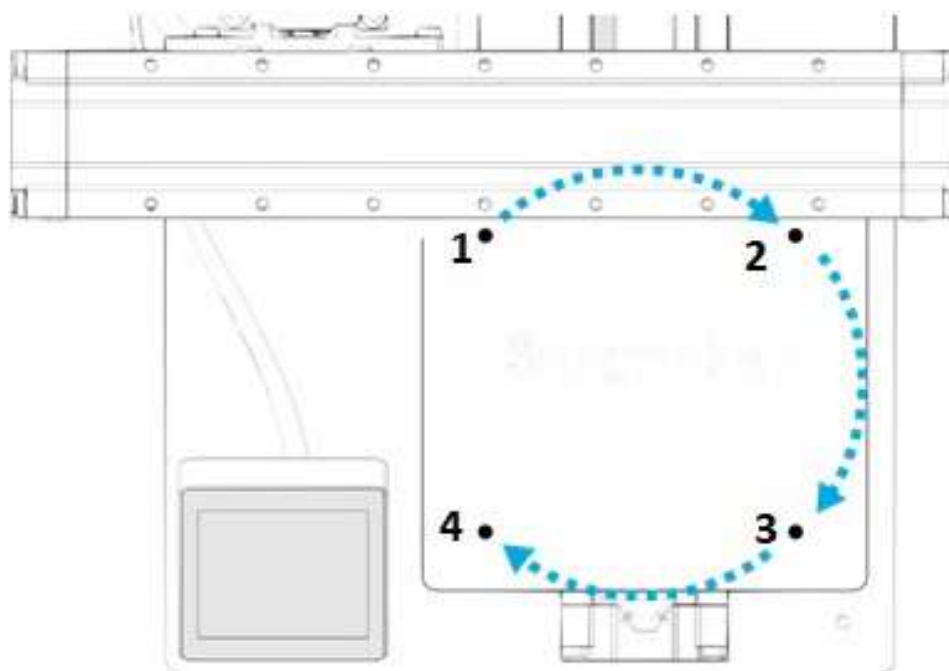


Рисунок 13 – Послідовність калібрування положення робочого столу

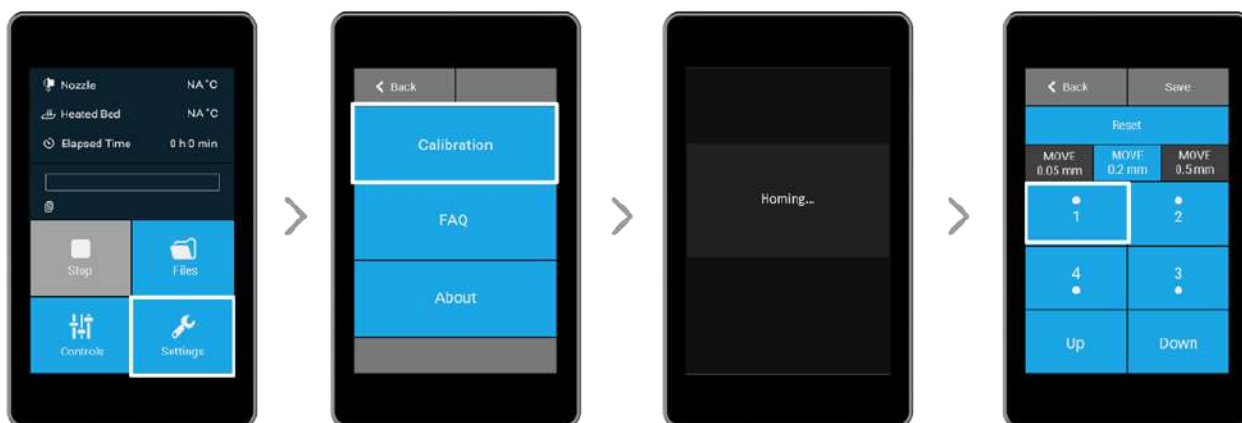


Рисунок 14 – Послідовність калібрування положення робочого столу

На сенсорному екрані Виберіть **Settings > Calibration**. Після того, як ви натиснете **Calibration**, може пройти кілька секунд.

Торкніться **1** і модуль 3D-друку переміститься в перший кут.

Покладіть аркуш папери між підігрівається платформою та соплом (рис.15).

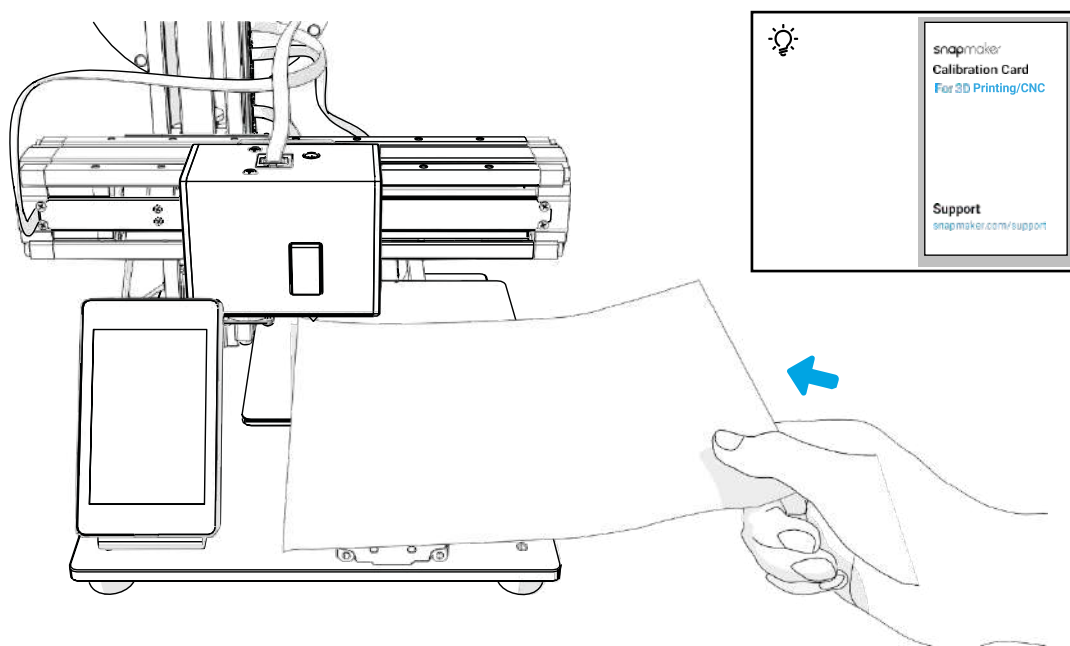


Рисунок 15 – Початок калібрування положення робочого столу у першому куті

Відрегулюйте відстань між підігрівною платформою та соплом за допомогою кнопок **Up** та **Down**. Продовжуйте регулювання, поки папір не почне відчувати невеликий опір з боку сопла (рис.16). Використовуйте кнопки **Move 0.05mm /0.2mm /0.5mm**, щоб визначити, наскільки далеко переміщується сопло щоразу, коли ви натискаєте кнопки **Up** та **Down**.



Рисунок 16 – Закінчення калібрування положення робочого столу у першому куті

Щоб вирівняти другий кут, торкніться **2** і відрегулюйте відстань між підігрівом. платформою та соплом за допомогою кнопок **Up** та **Down**.

Використовуйте той же спосіб, щоб вирівняти третій і четвертий кути.

Увага! Не забудьте витягнути папір, коли закінчите вирівнювання!

Коли всі кути будуть вирівняні, натисніть **Save** (рис.17).

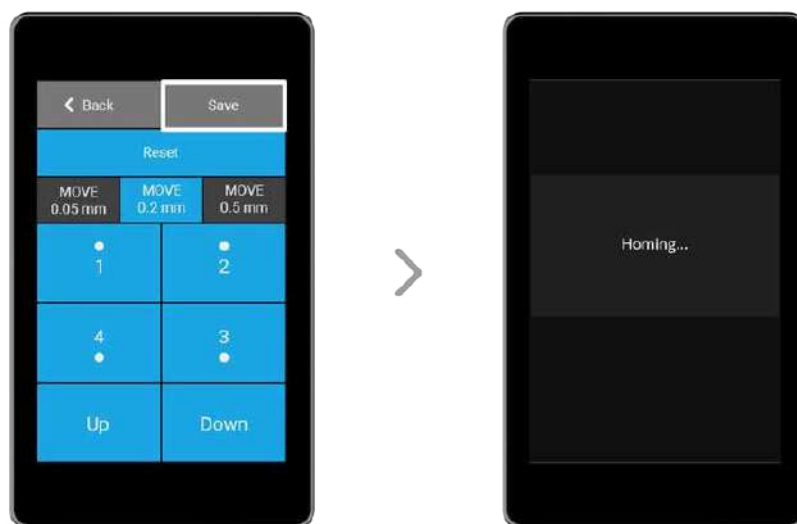


Рисунок 17 – Збереження налаштувань калібрування положення робочого столу

Виставивши Z-offset у кожній із 4 точок, ми підготували Snapmaker до FDM-друку.

Увага! Якщо друк згодом не прилипає до нагрівального столу, рекомендується пройти цей розділ ще раз.

5.3МІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про заготовку: матеріал.
- 5.4. Результати підготовки до роботи 3D-принтера та його налаштування.
- 5.5. Висновки щодо роботи.

6.КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке 3D - друк або адитивне виробництво?
2. Що таке 3D - принтер?
3. Що розуміється під роздільною здатністю 3D - принтера? Опишіть систему координатних осей XYZ для 3D - принтера.
4. Які 3D моделі виробів використовуються при 3D -друку?
5. Які основні методи адитивного виробництва ви знаєте?
6. У чому особливість екструзійного друку виробів?
7. Які термопластики використовують для екструзійного методу пошарового наплавлення? Їх переваги та недоліки.
8. Перерахуйте основні вузли, механізми та органи керування 3D-принтером моделі SNAPMAKER.
9. Як виконується заправка філаменту та калібрування зазору між соплом екструдера та робочим столом 3D-принтера?

Лабораторна робота №20. ЕКСТРУЗІЙНИЙ ДРУК ВИРОБІВ НА 3D-ПРИНТЕРІ

1. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи: ознайомить студентів з технологічними можливостями екструзійного методу пошарового наплавлення у процесі отримання деталей адитивним способом.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Екструзійний 3D-друк. Найрозвиненіший і популярніший напрямок, що пояснюється парою основних причин — відносною дешевизною та величезним вибором витратних матеріалів. Сюди входять кілька варіацій.

FDM/FFF/FGF 3D-друк. Цей напрямок найбільш відомий і поширений, особливо серед ентузіастів. Суть у пошаровому вирощуванні виробів шляхом нанесення полімерного розплаву через сопло (рис.1). Такі 3D-принтери недорогі та доступні як любителям, так і невеликим приватним підприємствам.

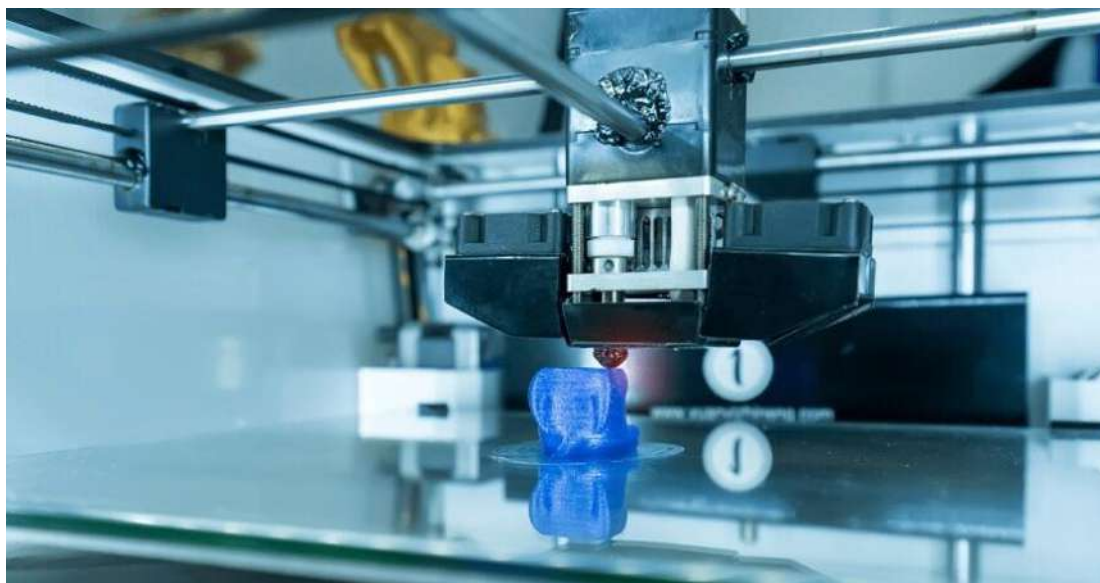


Рисунок 1 – Пошаровий 3D-друк

FDM - це моделювання методом пошарового наплавлення (рис.2) полімерних ниток або «філаментів» (Fused Deposition Modeling).

FFF - абсолютно те саме.

Чому дві назви? Тому що термін Fused Filament Fabrication придуманий конкурентами в обхід патенту корпорації Stratasys. Патент минув у 2009 році, так що в наші дні позначення FDM та FFF використовуються на рівних.

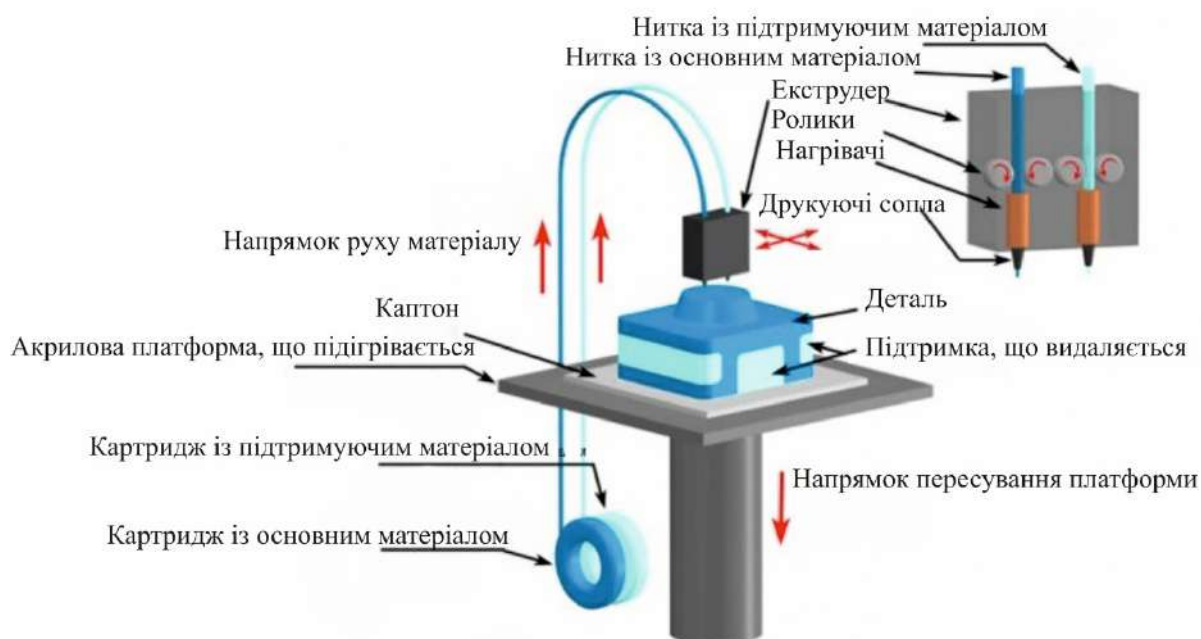


Рисунок 2 – Схема роботи 3D-принтерів типу FDM

FGF або Fused Granulate Fabrication - споріднена технологія з тією різницею, що тут замість філаментів використовуються полімерні грануляти (рис.3). Необхідно це для радикального підвищення продуктивності в тих випадках, коли йдеться про 3D-друк великогабаритних деталей, що вимірюються метрами. У промисловості такі системи можуть застосовуватися в адитивному виробництві готових виробів, але все частіше використовуються для виготовлення формувального оснащення.



Рисунок 3 – Склонаповнений композит TERMAX GF-40 компанії Filamentarno

Друкувати можна не лише «чистими» полімерами, а й різноманітними композитами. Деякі їх декоративні, тобто з наповнювачами з гіпсу, деревини тощо. Один з цікавих напрямків - FDM 3D-друк полімерами з високим вмістом металевих наповнювачів: тоді 3D-друковані заготовки відпалюються і спікаються, а на виході виходять суцільнометалеві вироби.

Найперспективніший варіант - композити з армуючими наповнювачами, наприклад, скла або вуглеволокна. Такі матеріали мають підвищену міцність і зносостійкість, до того ж армуючі волокна дещо знижують усадку.

Знаючи весь процес 3D друку можна краще зрозуміти, як кожне програмне забезпечення (ПЗ) бере участь у підготовці та друкуванні тривимірних деталей.

Для друку 3D моделей використовуються різні програми:

- ПЗ для тривимірного моделювання/дизайну/САПР;
- ПЗ для редагування, перегляду та відновлення файлів STL;
- Програми-слайсери ;
- Хост 3D принтер.

Перед тим, як розпочати роботу, необхідно створити 3D модель. Для цього можна використовувати різні програми для моделювання.

Fusion 360 – це професійна CAD програма для 3D моделювання. На відміну від інших програм, це програмне забезпечення дозволяє охопити весь процес планування, тестування та тривимірного дизайну.

Програма має потужні інструменти для вирішення задач промислового дизайну. Fusion 360 дозволяє моделювати конструкцію об'єктів, що проєктуються, а також навантаження, з якими вони зіткнуться після введення в експлуатацію.

Можливість спільної роботи над проєктом, хмарний обмін файлами та імпорт/експорт різних типів файлів у САПР робить використання програми комфортним.

Fusion 360 безкоштовний для студентів, стартапів та аматорів. При цьому аматорські проєкти не повинні бути комерційними, дохід стартапу не повинен перевищувати 100000 доларів на рік, а студентська ліцензія програми обмежена трьома роками.

Після створення 3D моделі її необхідно перетворити на формат, що підходить для друку. Для настільних 3D принтерів це формат **STL**. Деякі створені або завантажені файли мають дефекти, які призводять до збоїв під час друку. Саме для редагування файлів STL є спеціальне програмне забезпечення, яке допомагає перевіряти та підготувати модель до відтворення на принтері.

Програма-слайсер допомагає перетворити STL файл на зрозумілий для

принтера G-код (gcode файл). G-код - це мова програмування, яку машина розуміє та є серією команд, що повідомляють машині, які дії виконувати - куди рухатися, яку швидкість використовувати, які температури встановлювати і багато іншого. Функціонал таких програм дозволяє розбити 3D модель на тисячі плоских шарів 2D, які будуть послідовно відтворюватися на принтері.

Хост 3D принтера забезпечує зв'язок між комп'ютером та принтером. Він дозволяє отримувати інформацію для друку, а також змінювати параметри роботи пристрою у режимі реального часу через ПК. Дуже часто **Слайсер** та **Хост 3D** об'єднані в одне програмне забезпечення для 3D друку, яке постачається виробником принтера.

Бренд Snapmaker нещодавно прийшов на вітчизняний ринок і має стійкий інтерес у користувачів до пристроїв цього виробника. Він стає чудовою підмогою у справі підготовки кадрів, обладнання класів в освітніх закладах, універсальною робочою машинкою на столі любителя, або як страховий резерв у студіях 3D друку та виробничих послуг.

Snapmaker – бренд, що з'явився завдяки краудфандингу (*краудфандинг – це спосіб залучити кошти для росту і розвитку проєкту, ініціативи, підприємства або програми за рахунок внесків від великої кількості сторонніх осіб, які можуть бути не пов'язані ані з самим проєктом, ані з професійним бізнес-інвестуванням*). Перший раунд збору коштів на розробку та виробництво власного 3D принтера компанія провела у 2017 році. Збір коштів вдался, і покупці були задоволені і раді новому, цікавому устрою над ринком. Але колектив не зупинився на досягнутому і вже 2019 року запустив другий збір коштів на оновлену версію початкового пристрою – Snapmaker 2.0. Нова модель отримала оновлені корпусні елементи, прошивку та багато інших вузлів та частин. Майже кожна деталь була піддана тим чи іншим змінам. Пристрій, що вийшов, доступно у декількох варіантах - маленькому A150, середньорозмірному A250 і великому A350 (рис.4).

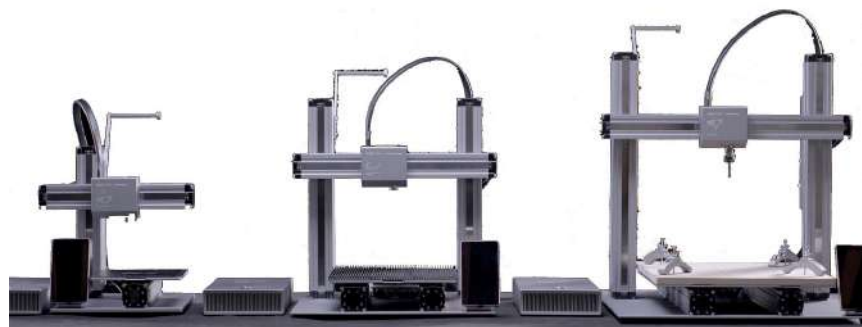


Рисунок 4 – Принтери серії Snapmaker 2.0

Програмне забезпечення: Snapmaker3D для друку FDM.

Перед початком 3D-друку вам необхідно згенерувати файл G-коду з файлу 3D-моделі, для цього:

- 1) Скопіюйте на комп'ютер підготовлений файл STL 3D-моделі виробу.
- 2) Завантажте програму Snapmaker3D і у вікні програми натисніть **Open**.

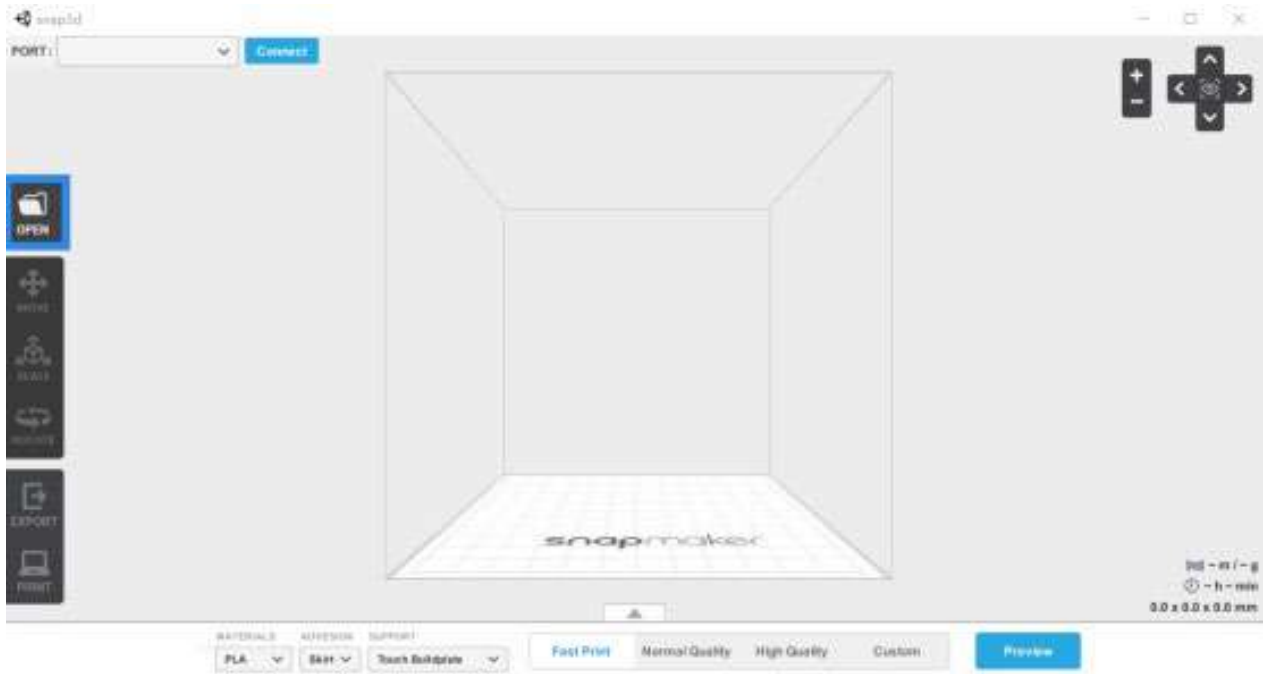


Рисунок 5 – Вікно програми Snapmaker3D

- 3) Виберіть файл 3D-моделі (файл.stl), який потрібно надрукувати.
- 4) За необхідності модель можна переміщати, масштабувати або обертати за допомогою **Move / Scale / Rotate**.

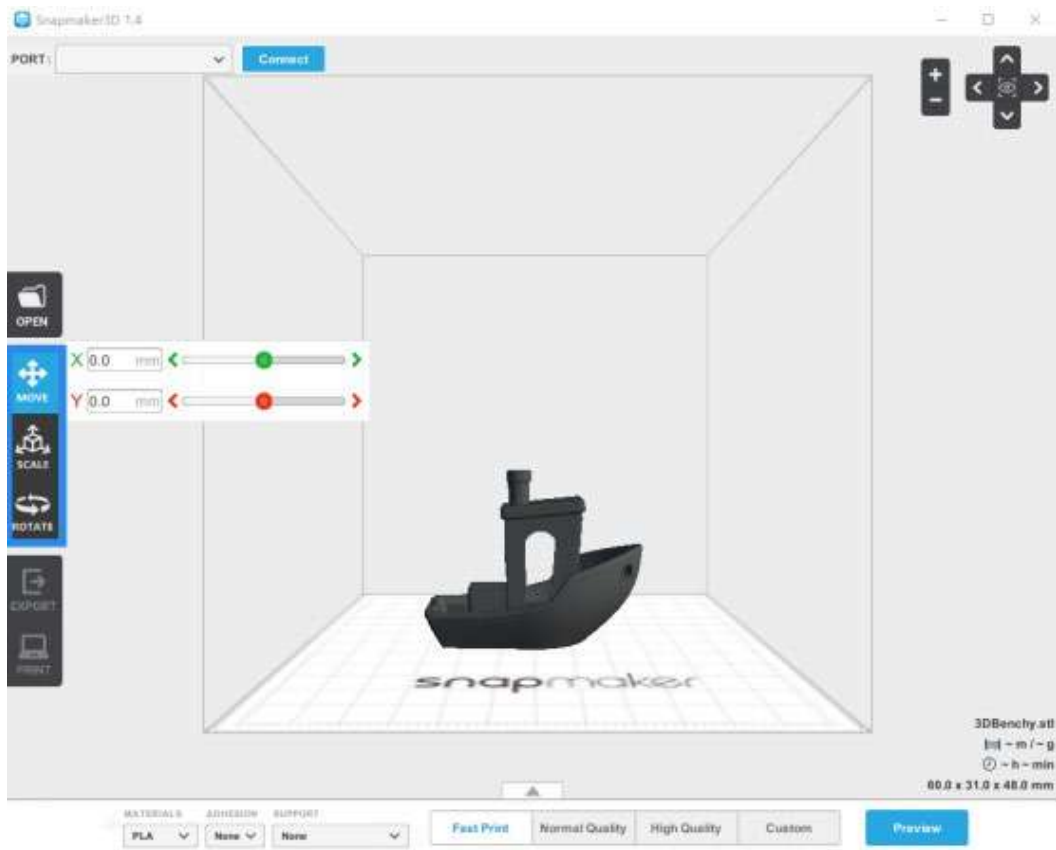


Рисунок 6 – Дії над моделлю у програмі Snapmaker3D

5) Виберіть **Material** яким ви бажаєте надрукувати виріб, PLA або ABS.



Рисунок 7 – Вікно вибору матеріалу у програмі Snapmaker3D

6) Виберіть тип адгезії **Adhesion** для заснування моделі, яка забезпечить надійне з'єднання її з робочим столом (рис.8).



Рисунок 8 – Вікно вибору типу адгезії у програмі Snapmaker3D

Основні типи адгезії:

Skirt: друк кола навколо моделі, але не пов'язаний із моделлю. Це гарантує, що нитка розжарюється до початку друку (рис.9).

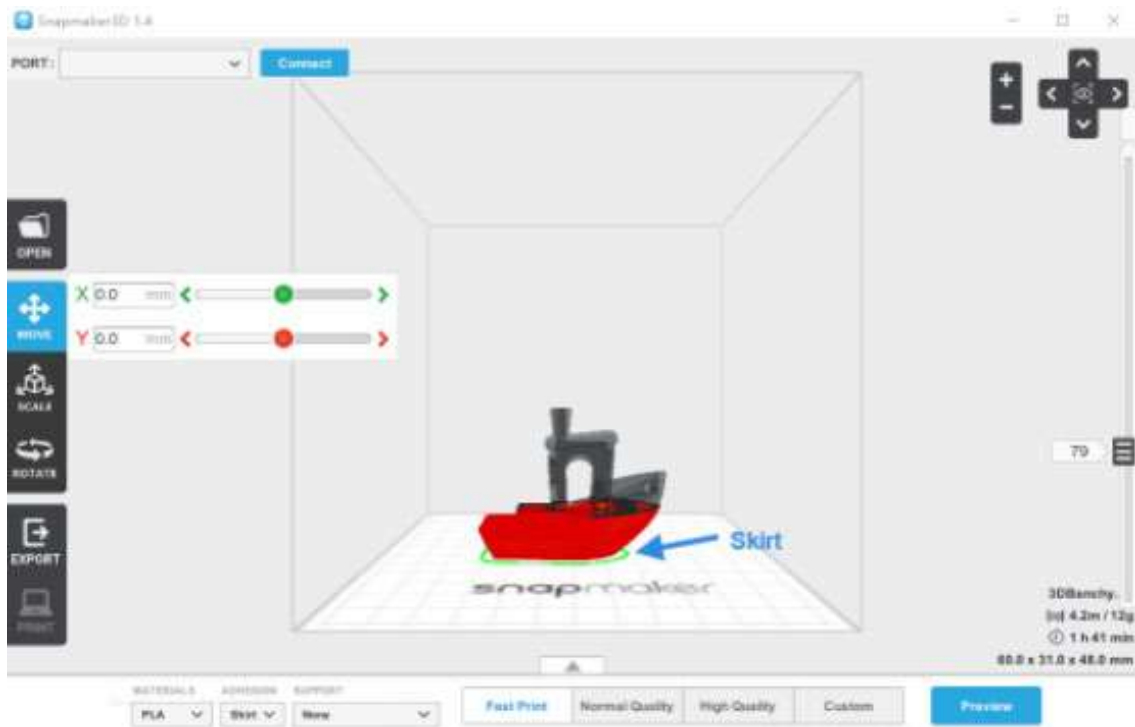


Рисунок 9 – Тип адгезії Skirt у програмі Snapmaker3D

Brim: друкує один шар під нижньою частиною вашої моделі, щоб переконатися, що висока модель прилипає до платформи з підігрівом (рис.10).

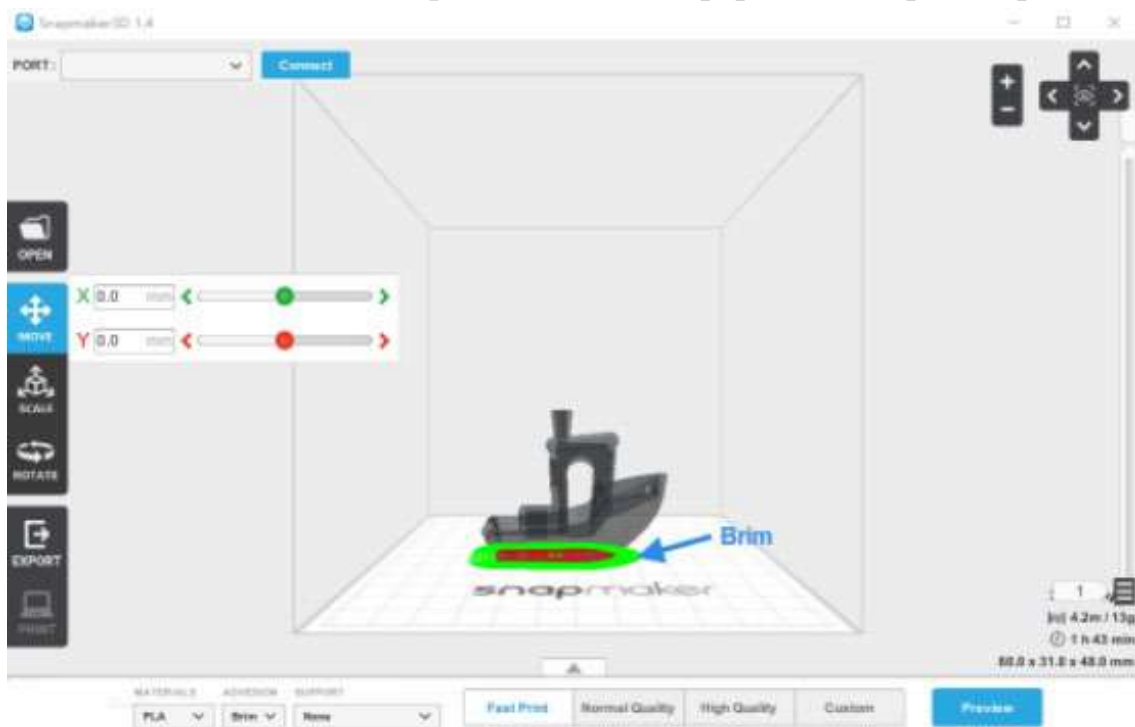


Рисунок 10 –Тип адгезії Brim у програмі Snapmaker3D

Raft: друкує товсту підкладку під нижньою частиною вашої моделі, щоб запобігти деформації і переконатися, що модель прилипає до платформи з підігрівом.

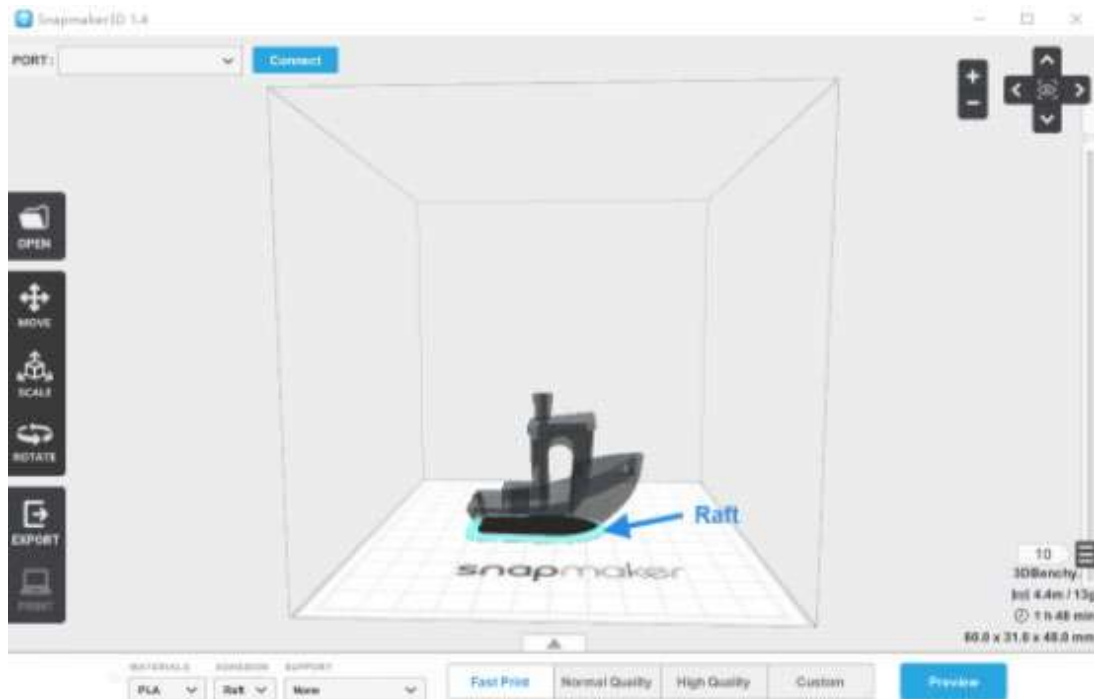


Рисунок 11 –Тип адгезії Raft у програмі Snapmaker3D

None: виберіть цей параметр, якщо ви впевнені, що друк може прилипати до платформи з підігрівом.

7) Виберіть тип підтримки **Support** на основі моделі, що використовується (рис.12). Використовуйте цю функцію, якщо у вашій моделі є серйозні виступи, що нависають:



Рисунок 12 – Вікно вибору типу підтримки у програмі Snapmaker3D

Де основні типи підтримки:

Touching Buildplate: структура підтримки буде надрукована тільки на платформі з підігрівом для підтримки виступів, що нависають (рис.13).

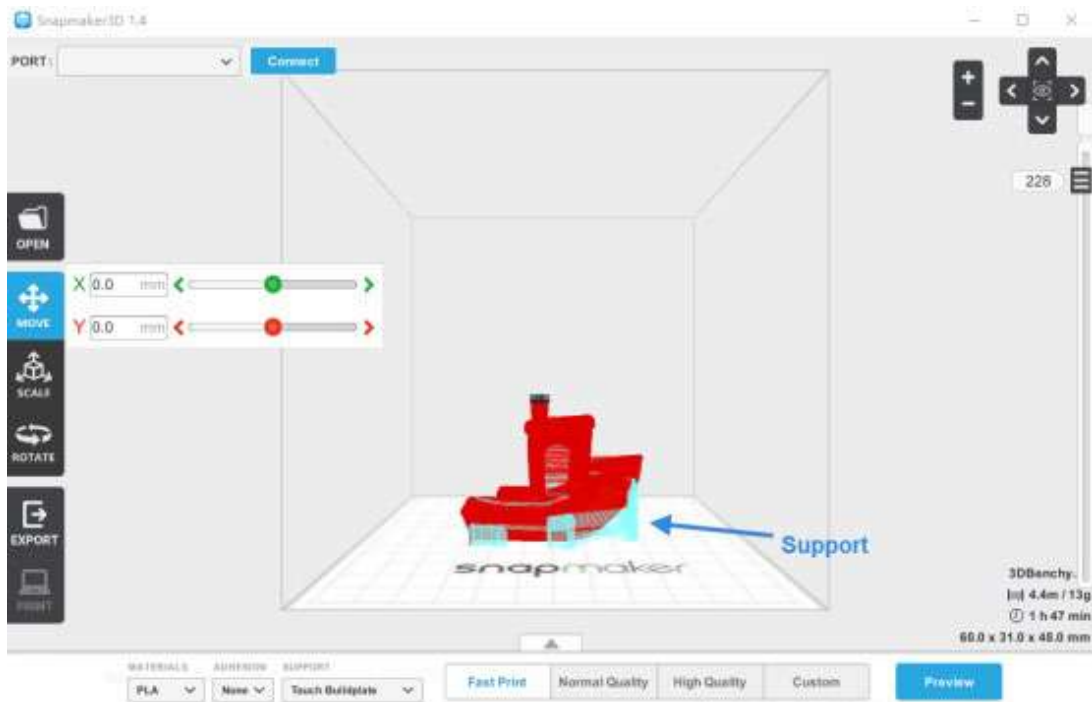


Рисунок 13 –Тип підтримки Touching Buildplate у програмі Snapmaker3D

Everywhere: структура підтримки буде надрукована на платформі з підгіривом та моделі для підтримки всіх виступів (рис.14).

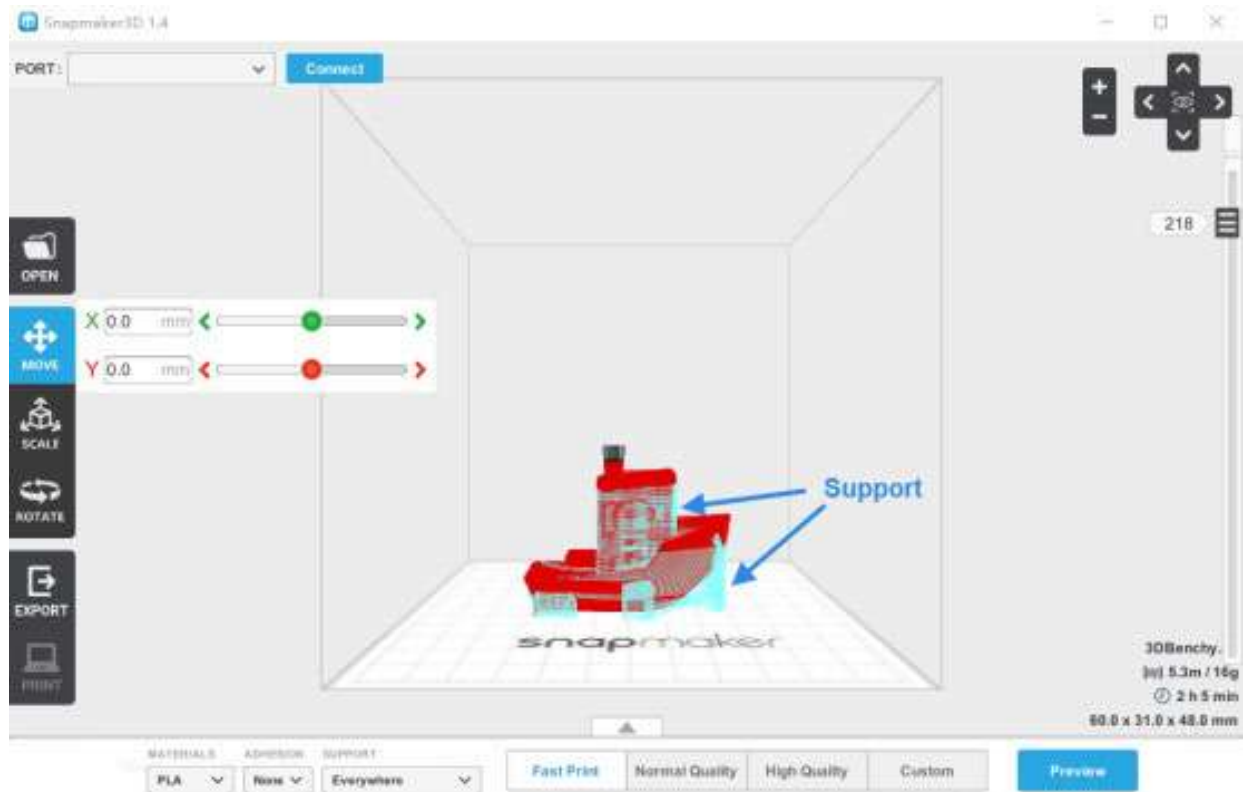


Рисунок 14 –Тип підтримки Everywhere у програмі Snapmaker3D

None: виберіть цей параметр, якщо у вашій моделі немає виступів, що на-висаються.

8) Виберіть режим друку **Fast Print**, **Normal Quality**, **High Quality** або **Custom** (рис.15). Швидкий друк, нормальна якість, висока якість – це режими попереднього друку, і вам не потрібно налаштовувати додаткові параметри. Якщо ви оберете «Корієнтний», настройте параметри відповідно до пояснень у програмному забезпеченні. Як правило, чим краща якість друку, тим більше часу для неї потрібно.



Рисунок 15 – Вікно вибору режиму друку у програмі Snapmaker3D

9) При натисканні **Preview** буде створено G-код. Після цього буде оцінена довжина та вага нитки філаменту, яка необхідна для друку, передбачуваний час друку та розмір, які будуть відображатимуться у правому нижньому кутку вікна програмного забезпечення (рис.16).

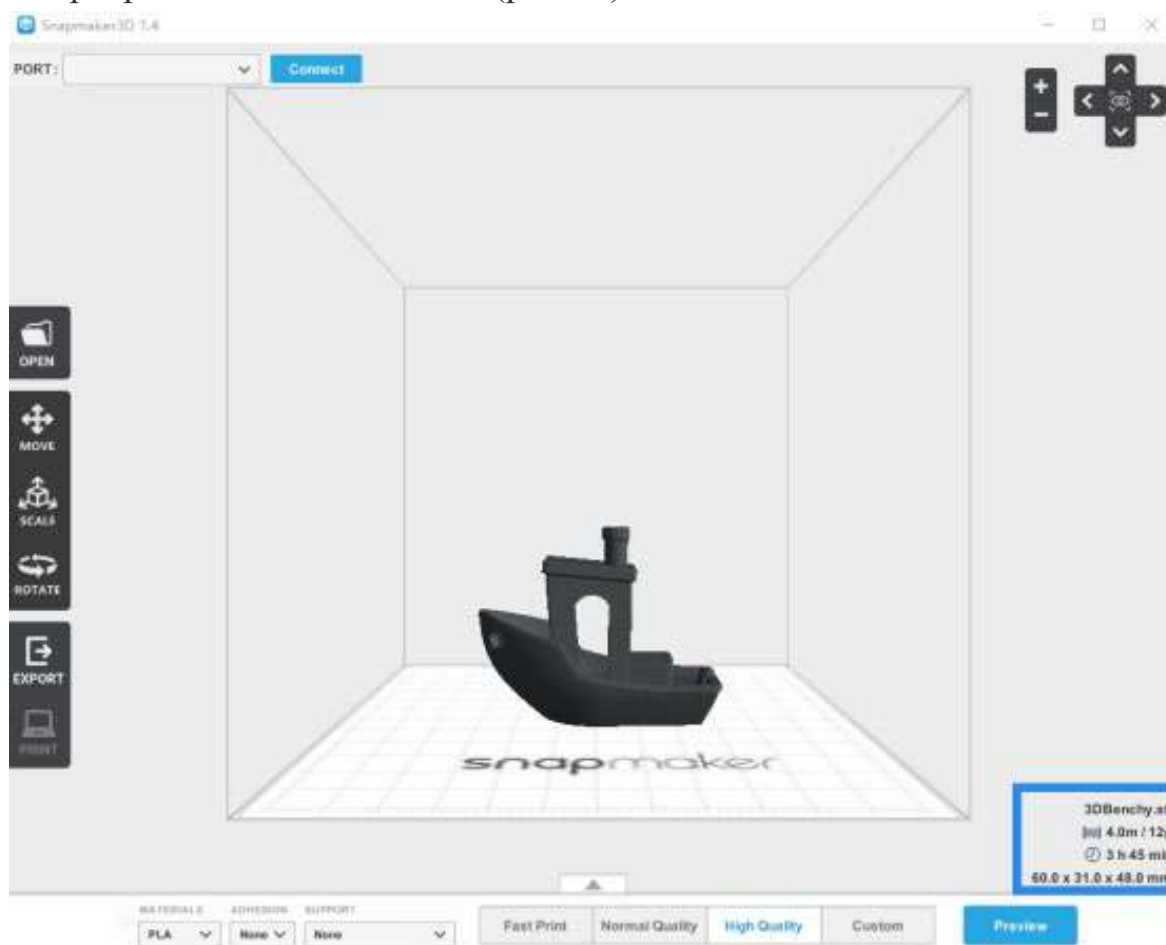


Рисунок 16 – Вікно з параметрами друку у програмі Snapmaker3D

Порада. Повзунок праворуч дозволяє бачити, як кожен шар формується під час друку (рис.17).

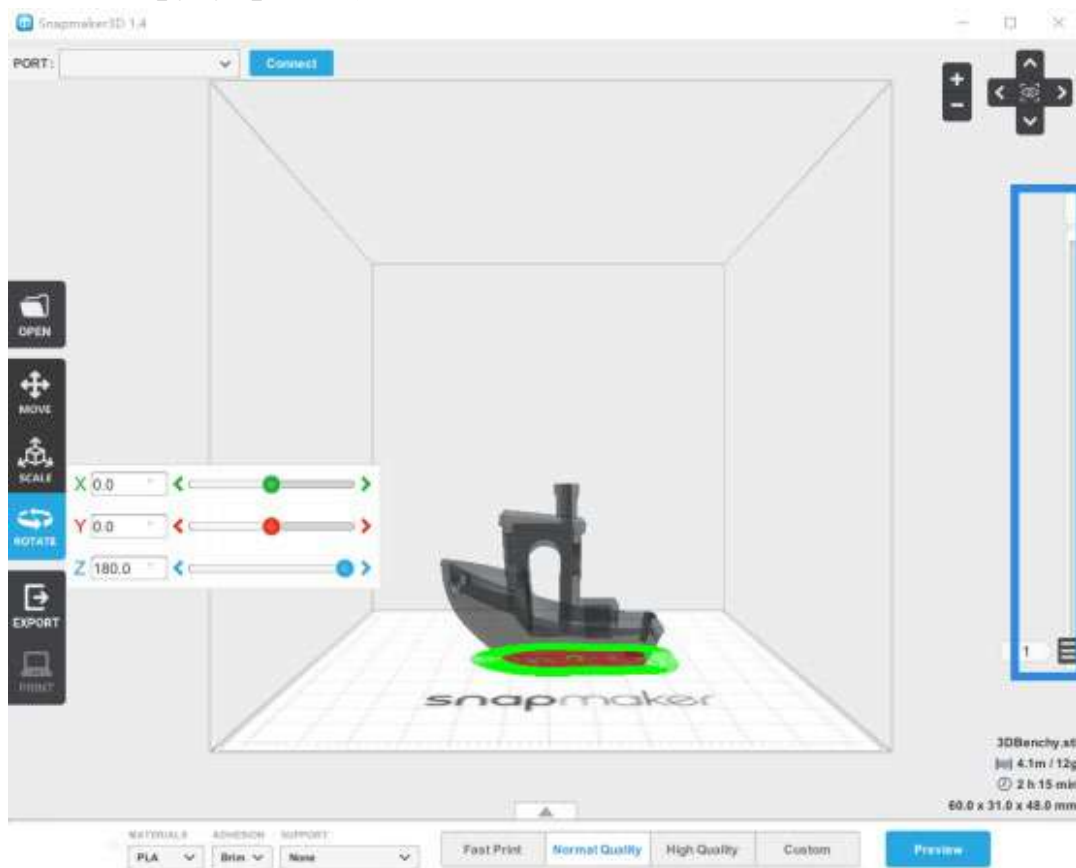


Рисунок 17 – Вікно з параметрами пошарового друку у програмі Snapmaker3D

10) Натисніть **Export**, щоб зберегти G-код (рис.18).

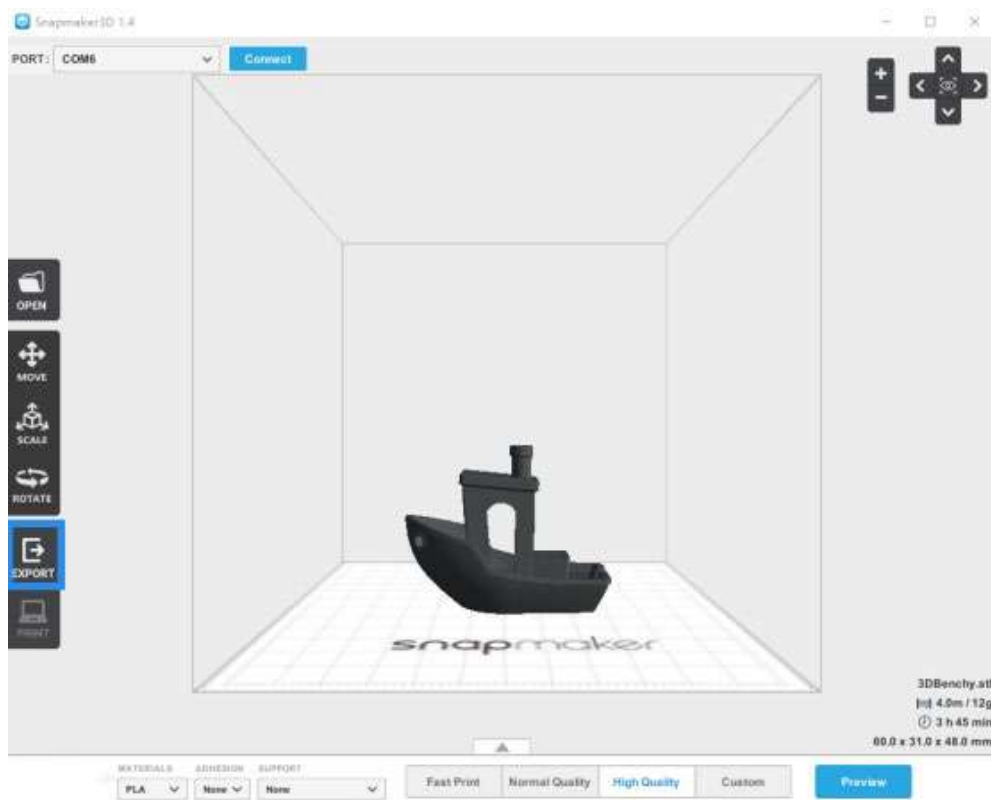


Рисунок 18 – Збереження результату роботи у програмі Snapmaker3D

11) Скопіюйте G-код на картку microSD, що додається, за допомогою пристрою читання карт (рис.19).



Рисунок 19 – Перенесення G-код на картку microSD

12) Вставте картку microSD у гніздо на контролері (рис.20).



Рисунок 20 – Перенесення інформації на контролер 3D-принтеру моделі SNAPMAKER

13) На сенсорному екрані перейдіть до розділу **Files**. знайдіть та виберіть файл G-коду. Потім натисніть **Start** щоб розпочати друк (рис.21).



Рисунок 21 – Початок друку на 3D-принтері моделі SNAPMAKER

3. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ, ІНСТРУМЕНТ, МАТЕРІАЛИ

3.1. 3D-принтер моделі SNAPMAKER (рис.22).



Рисунок 22 - 3D-принтер моделі SNAPMAKER

3.2. Набір інструментів (повірочна картка контролю зазору між соплом екструдера та робочим столом 3D-принтера, пінцет, лопатка для зняття готового виробу).

3.3. Карта пам'яті стандарту MicroSD.

3.4. Філамент (пластикові нитка) діаметром 1,75 мм.

3.5. Комп'ютер із встановленою програмою Snapmaker3D.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з технологіями екструзійного 3D-друку.

4.2. Вивчити методику підготовки керуючої програми для 3D-принтера та його налаштування для друку виробу.

4.3. Отримати від керівника індивідуальне завдання у вигляді креслення деталі або файл з 3-D моделлю деталі.

4.4. Виконати створення керуючої програми (G-коду) для 3D-принтера, записати її на карту microSD, яку потім вставити в гніздо на контролері принтера.

4.5. Запустити процес друку.

4.6. Після завершення зняти готову деталь з робочого столу (платформа з підігрівом). При видаленні надрукованого використовувати лопатку для зняття готового виробу, яка додається, щоб видалити його з робочого столу. Якщо його важко видалити, акуратно вставте кінчик лопатки в місце дець між деталлю і платформою з підігрівом, далі вставляйте лопатку глибше та обертайте її, щоб зменшити область, що прилипла, і відірвати деталь (рис.23).

Увага! Будьте обережні, сопло та нагрітий шар після друку ще можуть бути гарячими, і пам'ятайте, що лопатка для зняття готового виробу гостра.

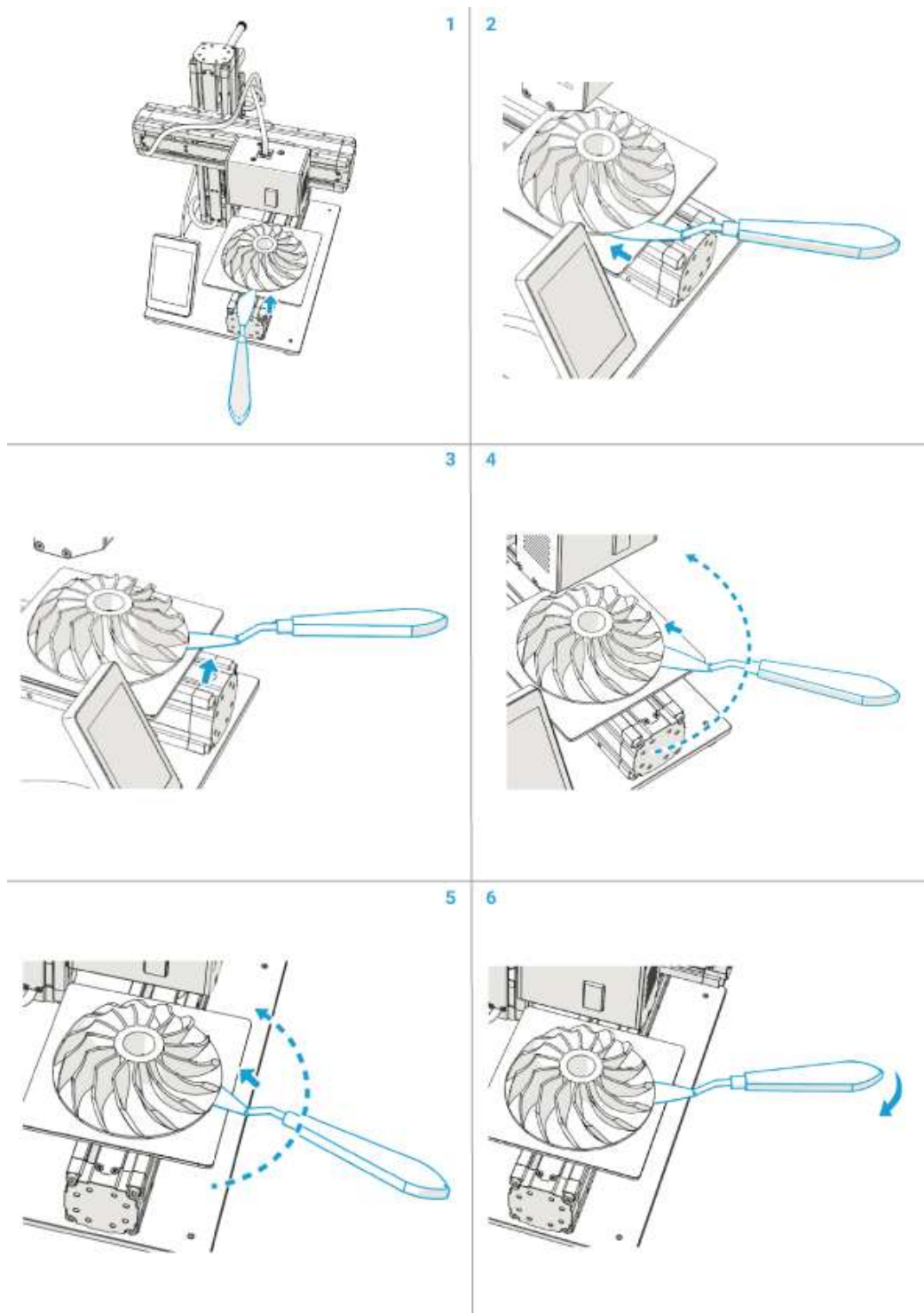


Рисунок 23 – Послідовність зняття готової деталі після друку

5.3 МІСТ ЗВІТУ

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета роботи.
- 5.3. Дані про деталі: STL файл 3D-моделі та матеріал виробу.
- 5.4. Результати підготовки керуючої програми для 3D-принтера та його налаштування для друку виробу. Фото надруковані деталі.
- 5.5. Висновки щодо роботи.

6.КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке FDM/FFF/FGF 3D-друк?
2. Які програми друку 3D моделей використовуються?
3. Що таке програма - слайсер?
4. Які маніпуляції з 3D-моделлю виробу можна проводити в програмі Snapmaker3D?
5. Які типи підтримок моделі можливі у програмі Snapmaker3D?
6. Які режими друку можливі у програмі Snapmaker3D?
7. Як визначити час друку виробу, довжину та вагу нитки філаменту. необхідної для друку?
8. Яких запобіжних заходів при роботі з 3D-принтером необхідно дотримуватися.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковенко І.Е. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів напрямку 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко - Харків: "Діса плюс", 2022. - 424 с.
2. Частка В.М. Основи теорії різання матеріалів: консп. лекцій / В. Н. Частка, О. В. Частка. – Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2016. – 160 с. - на рус. яз.
3. Довідник технолога-машинобудівника. / Дальський А.М., Косілова А.Г., Мещерякова Р.К., Суслов А.Г. та ін 5-е видання, перероб. і доповн. - М.: Машинобудування, 2003. Т.1 - 910 с., Т.2 - 943 с. на рус. яз.
4. Режими різання металів. Довідник / За ред. Барановського Ю.В. - М.: Машинобудування, 1982 - 408с. на рус. яз.
5. Технологія машинобудування. Практикум: навч. посібник. / А.А. Пермяков, Ю.В. Тимофєєв та ін. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2013. - 246 с. на рус. яз.
6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні / П.О.Руденко. - К.: Вища шк., 2003. - 420с.
7. Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалавра на кафедрі «Технологія машинобудування та металорізальні станки» зі спеціальності «Прикладна механіка» для студентів усіх форм навчання [Електронний ресурс] / уклад. І.Е. Яковенко, О.М. Ушаков, М.С. Іванова, С.Є. Сліпченко – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 50 с.
8. Яковенко І.Е. Гнучкі виробничі системи: навчальний посібник для студентів напрямку 131 - Прикладна механіка / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, О. М. Шовковий – 2-ге вид. перероблене та доповнене. – Харків: «Діса плюс», 2021. – 284 с.
9. Пермяков О.А. Основи наукових досліджень. Моделювання процесів обробки металів різанням: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка /О. А. Пермяков, І. Е. Яковенко, Ю.В. Петраков, О.І. Драчов – Харків: «Діса плюс», 2021. – 145 с.
10. Технологія // Універсальний словник-енциклопедія. // Керівник проекту: О. Коваль; ред. рада: М. Попович, І. Дзюба, Н. Корнієнко, Н. Мазепа, Н. Яковенко - 4-те вид. перероб. і доп. - Львів: Тека, 2006. – 1432с.
11. Технологія машинобудування: навчальний посібник. Частина 1 / В. Копей, З. Одосій, О. Онисько та інш. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. - 217с.

ДОДАТОК 1
НОРМИ ДОПОМІЖНОГО ЧАСУ, НА ОБСЛУГОВУВАННЯ
ОБЛАДНАННЯ ТА ОСОБИСТІ ПОТРІБИ РОБОЧИХ.

Таблиця Д 1.1 – Допоміжний час на встановлення та зняття деталі. Установка в патроні, що самоцентрує заготовку.

Спосіб встановлення деталі		Вага деталі в кг до		
		0,25	1,00	3,00
		Час у хв.		
У патроні з кріпленням ключем	Без вивірки	0,17	0,25	0,35
	З вивіркою на биття крейдою	0,40	0,50	0,65
	З вивіркою на биття індикатором	0,80	1,00	1,30
У патроні з центром задньої бабки при підведенні пінолі	Обертання маховика		0,35	0,43
	Пневматичним пристроєм або відвідною рукояткою		0,32	0,38
	Зірочкою		0,37	0,47

Зміст роботи. Встановити деталь вручну, закріпити деталь, включити верстат, вимкнути верстат, відкріпити деталь, зняти деталь вручну, очистити пристрій від стружки

Таблиця Д 1.2 – Допоміжний час на встановлення та зняття деталі. Установка в лещатах або столі верстата.

Спосіб установки деталі		Стан настановної поверхні	Характер вивірки	Кількість деталей	Вага деталі в кг до		
					0,25	1,00	3,00
					Час у хв		
У лещатах з гвинтовим затискачем		Оброблена або необроблена з прокату	Без вивірки	1	0,23	0,27	0,29
				2	0,29	0,35	0,40
				3	0,35	0,43	0,50
				4	0,41	0,50	0,60
У лещатах з ексцентриковим затискачем		Оброблена або необроблена з прокату	Без вивірки	1	0,15	0,19	0,21
				2	0,21	0,27	0,32
				3	0,27	0,35	0,43
				4	0,33	0,43	0,55
На столі	Без кріплення	Оброблена чи необроблена		1	0,08	0,09	0,11
	З кріпленням			Без вивірки	1	0,36	0,40
На столі з кріпленням двома болтами та планками		Оброблена чи необроблена	Без вивірки	1		0,60	0,65
				2		1,05	1,2
				3		1,5	1,7
				4		2,00	2,2

Зміст роботи. Встановити деталь вручну, закріпити деталь, увімкнути верстат, увімкнути верстат, відкріпити деталь, зняти деталь вручну, очистити пристрій від стружки.

Таблиця Д 1.3 – Допоміжний час на встановлення та зняття деталі. Установка у спеціальних пристосуваннях.

1. Встановити та зняти деталь вручну					
Основні елементи пристосування	Настановна площа	Тип пристосування	Вага деталі в кг до		
			0,25	1,00	3,0
			Час у хв		
1	2	3	4	5	6
Площина, призма	горизонтальна	Відкритий	0,08	0,09	0,11
		Закритий (типу кондуктора)	0,09	0,10	0,12
	вертикальна	Відкритий	0,09	0,10	0,12
		Закритий (типу кондуктора)	0,10	0,11	0,13
Палець, отвір	горизонтальна	Відкритий	0,09	0,11	0,2
		Закритий (типу кондуктора)	0,10	0,12	0,3
	вертикальна	Відкритий	0,10	0,12	0,13
		Закритий (типу кондуктора)	0,11	0,13	0,14
2. Очистити пристрій від стружки					
Найменування прийомів			Розмір поверхні, що очищається, мм		
			100× 100	200× 300	300× 400
			Час у хв		
Очищення пристрою від стружки	стисненим повітрям		0,05	0,07	0,08
	щіткою		0,07	0,08	0,09
	кантуванням пристосування		0,04	0,05	
3. Закріпити і розкріпити деталь					
Спосіб кріплення	Кількість затискачів	Вага деталі в кг до			
		0,25	1,00	8,00	
		Час у хв			
Гвинтовим або гайковим затискачем	1	0,14	0,15	0,20	
	2	0,22	0,24	0,32	
	3	0,30	0,33	0,44	
	4	0,38	0,42	0,56	

Примітки :

1. При перевстановленні деталі час за таблицею застосовувати з коефіцієнтом 0,8.

2. Якщо при роботі на свердлильних верстатах за умовами техніки безпеки допускається встановлення та зняття деталі без вимкнення обертання шпинделя верстата (при роботах без кріплення деталі), то час зменшується на 0,03 хв.

Таблиця Д 1.4 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах. Час переходу.

Характер обробки. Спосіб встановлення інструменту		Точність виміру за квалітетом	Вимірюваний розмір в мм до	Обробка на операції				
				Одним інструментом		Декількома інструментами		
				Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною верстата, мм				
				300	400	300	400	
				Час у хв				
Поздовжнє точіння, розточування	Різцем, встановленим на розмір		25	0,08	0,11			
			100	0,09	0,12			
			Св.100	0,10	0,13			
	З установкою різця по лімбу		25	0,13	0,17	0,16	0,21	
			100	0,14	0,19	0,17	0,23	
			Св.100	0,16	0,21	0,19	0,25	
	З проміром		25	0,27	0,30	0,30	0,34	
			100	0,33	0,38	0,36	0,42	
			300	0,40	0,45	0,43	0,49	
	З вилученням пробних стружок	11..12		25	0,24	0,29	0,27	0,47
				100	0,35	0,43	0,38	0,75
				300	0,49	0,60	0,50	1,00
9			25	0,38	0,43	0,41	0,70	
			100	0,60	0,70	0,65	0,95	
			300	0,80	0,95	0,85	1,25	
8			25	0,55	0,60	0,65	0,70	
			100	0,75	0,90	0,80	0,95	
			300	1,05	1,20	1,10	1,25	
Поперечне точіння	З установкою різця по лімбу або упору			0,17	0,23	0,20	0,27	
			100	0,31	0,35	0,34	0,39	
			300	0,43	0,49	0,46	0,55	
Зі взяттям пробних стружок	≤0,3мм		100	0,27	0,33	0,30	0,37	
			300	0,50	0,60	0,55	0,65	

Зміст робіт. Підвести інструмент до деталі під час взяття пробних стружок, відвести інструмент у вихідне положення.

Таблиця Д 1.5 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах. Час на прийоми, пов'язані з переходом, які не увійшли до комплексу.

Найменування прийомів	Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною верстата в мм до		
	300	400	
	Час у хв		
Змінити кількість обертів шпинделя	0,07	0,08	
Змінити величину та напрям подачі	0,06	0,07	
Змінити різець поворотом різцевої головки	0,07	0,07	
Закріпити або відкріпити каретку супорта	0,03	0,04	
Підвести задню бабку на початку і відвести після закінчення проходу із закріпленням та відкріпленням	Рукою	0,13	0,20
	Болтом	0,30	0,32
Перемістити каретку супорта в поздовжньому напрямку на довжину св.200 до 300мм	0,03	0,03	
Перемістити супорт у поперечному напрямку на довжину св.100 до 150мм	0,02	0,03	

Таблиця Д 1.6 - Час обслуговування робочого місця. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах.

Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною верстата в мм до	
300	400
Відсоток від оперативного часу	
3,5	4,0

Таблиця Д 1.7 – Підготовчо-заклучний час на партію деталей. Обробка на токарно-гвинторізних верстатах.

Найменування прийомів	Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною верстата в мм до		
	300	400	
	Час у хв		
Налагодити верстат, інструмент, пристосування при встановленні деталі в універсальному пристосуванні (патрон, центр, оправка) при числі різальних інструментів у налагодженні			
Розточування кулачків самоцентруючого патрона	сирих	5	5
	загартованих	7	7
Отримання інструменту та пристосування до початку роботи та здавання їх після закінчення обробки партії деталей	7...10		

Таблиця Д 1.8 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на вертикально-свердлильних верстатах. Час переходу.

Характер обробки		Найбільший умовний діаметр свердління у сталі, мм	
		12	25
		Час, хв	
Свердління по розмітці	механічна	0,07	0,10
	ручна	0,05	0,07
Свердління по кондуктору, розсвердлювання, зенкерування, розгортання	механічна	0,06	0,08
	ручна	0,04	0,05

Зміст робіт. Підвести інструмент до деталі, включити подачу, виміряти деталь під час взяття пробних стружок, відвести інструмент у вихідне положення.

Таблиця Д 1.9 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на вертикально-свердлильних верстатах. Час на прийоми, пов'язані з переходом, які не увійшли до комплексу.

Найменування прийомів		Час за хв
Включити та вимкнути обертання шпинделя	Кнопкою	0,02
	Важелем	0,08
Змінити кількість обертів шпинделя або величину подачі		0,08
Встановити та зняти інструмент	У кулачковому патроні	0,17
	У конусі шпинделя	2
	при конусі Морзе № 3	0,15
Поставити та зняти кондукторну втулку при внутрішньому діаметрі втулки до 20 мм.		0,07
Змастити інструмент, деталь		0,05
Перемістити деталь або деталь з пристосуванням при вазі елементів, що переміщуються в кг до	5	0,015
	15	0,02
Кантувати пристрій при вазі пристрою в кг до	5	0,04
	15	0,06

Таблиця Д 1.10 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на вертикально-свердлильних верстатах. Час на висновки свердла при свердлінні видалення стружки.

Матеріал, що обробляється	Діаметр свердла в мм до	Довжина свердління у діаметрах свердла		
		3d	4d	6d
		Час у хв		
Стали вуглецеві в'язкі, сталі Жароміцні	1..2,9	0,03	0,06	0,12
	10		0,05	0,07
Стали конструкційні, латунь, алюміній	1..2,9	0,03	0,05	0,10
	10		0,04	0,06
Чавун, бронза	3...10		0,03	0,05

Таблиця Д 1.11 – Час обслуговування робочого місця. Обробка на вертикально-свердлильних верстатах.

Найбільший умовний діаметр свердління сталі для верстатів в мм до	
12	25
Відсоток від оперативного часу	
3,5	4,0

Таблиця Д 1.12 – Підготовчо-заключний час робітника на партію деталей. Обробка на вертикально-свердлильних верстатах.

Найменування дії робітника		Найбільший умовний діаметр свердління сталі для верстатів у мм до	
		12	25
		Час у хв	
Налагоджує верстат, інструмент, пристосування при встановленні деталі в універсальному пристосуванні (тиски, болти з планками) при числі різальних інструментів в налагодженні	3	10	11
	6	11	13
Налагоджує верстат, інструмент, пристосування при встановленні деталі в кондукторі при числі різальних інструментів в налагодженні	3	11	13
	6	12	15
Отримання інструменту та пристосування до початку та здавання їх після закінчення обробки партії деталей		5...7	

Таблиця Д 1.13 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на вертикально-фрезерних верстатах. Час переходу.

	Характер обробки. Спосіб встановлення інструменту.	Довжина столу верстата в мм до		
		750	1250	
		Час у хв		
Фрезерування площин та пазів	Фрезою, встановленою на розмір	0,14	0,18	
	Із встановленням фрези	По лімбу	0,24	0,30
		За розміткою	0,47	0,60
		За шаблоном пристосування	0,31	0,38

Зміст роботи. Підвести інструмент до деталі, увімкнути подачу, виміряти; деталь під час взяття пробних стружок, відвести інструмент у вихідне положення.

Таблиця Д 1.14 – Допоміжний час, що з переходом. Обробка на вертикально-фрезерних верстатах. Час на прийоми, пов'язані з переходом, які не увійшли до комплексу.

Найменування прийомів	Довжина столу верстата у мм до	
	750	1250
	Час у хв	
Змінити кількість обертів шпинделя		
Змінити величину чи напрям подачі	0,06	0,07
Повернути ділильну головку на одну позицію	0,04	0,04
Перемістити стіл у поздовжньому напрямку на довжину св.200 до 300 мм	0,04	0,04

Таблиця Д 1.15 – Час обслуговування робочого місця. Обробка на вертикально-фрезерних верстатах.

Довжина столу верстата у мм до	
750	1250
Відсоток від оперативного часу	
3,0	3,5

Таблиця Д 1.16 – Підготовчо-заключний час на партію деталей. Обробка на вертикально-фрезерних верстатах.

Найменування дії		Довжина столу верстата у мм до	
		750	1250
		Час у хв	
Налагоджує верстат, інструмент, пристосування при встановленні деталі в універсальне пристосування (патрон, патрон з центром, лещата, болти з планками) при числі різальних інструментів у налагодженні	1...2	10	11
	св.2	14	16
		16	19
Налагоджує верстат, інструмент, пристосування при встановленні деталі в універсальне пристосування з ділильною головкою (патрон, патрон з центром, лещата, болти з планками) при числі різальних інструментів у налагодженні	1...2	16	17
	св.2	20	22
		22	25
Налаштування ділильної головки		3,5	4,5
Отримання інструменту та пристосування до початку та здавання їх після закінчення обробки партії деталей		5...7	

Таблиця Д 1.17 – Допоміжний час на контрольні виміри після закінчення обробки поверхні.

Вимірювальний інструмент	Точність виміру	Вимірюваний розмір у мм до	Довжина вимірювальної поверхні у мм до		
			50	100	300
			Час у хв		
Лінійка масштабна		100	0,07		
		300	0,08		
Кутник		100	0,12		
		300	0,20		
Кутомір універсальний	Св.5	100	0,23		
Калібр-пробка гладка двостороння	ІТ 11-12	25	0,06	0,07	0,09
	ІТ 8-9	25	0,10	0,11	0,14
	ІТ 6-7	25	0,18	0,20	0,24
Мікрометр	0,01мм	50	0,19	0,20	0,24
		100	0,22	0,23	0,28
		200	0,27	0,28	0,33
Штангенциркуль	0,01	50	0,10	0,13	0,16
		100	0,13	0,16	0,19
	0,02мм	50	0,20	0,24	0,28
		100	0,23	0,27	0,32

Зміст робіт. Взяти вимірювальний інструмент, виміряти, подивитися результати вимірювання, покласти інструмент.

Таблиця Д 1.18 – Періодичність контрольних вимірів деталі на операцію.

Види оброблюваних поверхонь та характер обробки	Точність виміру	Вимірюваний розмір у мм до	Спосіб досягнення розмірів обробки		
			Забезпечується розмірами різального інструменту	Робота інструментом, встановленим у розмір	Робота з пробними стружками та по лімбу верстата
Циліндричні поверхні обробка точінням, розточуванням, свердлінням, розгортанням	ІТ 11-12	50	0,30	0,40	0,80
		200	0,40	0,50	0,90
	ІТ 8-9	50	0,40	0,50	1,0
		200	0,50	0,60	1,0
Площини - обробка фрезеруванням, струганням	0,1 мм	50		0,30	0,80
		200		0,40	0,90
	0,2 мм	50		0,20	0,70
		200		0,30	0,80
	0,5 мм	50		0,10	0,50
		200		0,20	0,60
	Св.0,5мм	50		0,10	0,40
		200		0,10	0,50

Таблиця Д 1.19 – Час на особисті потреби робітника.

Характер подачі	Вага деталі, кг до	Машинно-ручний час до оперативного, %	Оперативний час операції за хв до			
			0,1	0,2	0,5	1,0 і вище
			Час у % від оперативного часу			
Ручна	1	20	7	6	5	4
		40	7	6	6	5
		80	7	7	7	7
	5	20		7	6	5
		40		7	6	6
		80		7	7	8
	10	20			7	5
		40			7	6
		80			8	8
Механічна			4	4	4	4

Таблиця Д 1.20 - Величина врізання та перебігу інструменту при точінні.

Типи різців та характер обробки	Кут різця в плані у град	Глибина різання в мм до		
		1	2	3
		Сумарна величина врізання та перебігу в мм		
Різці прохідні, підрізні та розточувальні	45	2	3,5	6
	60	2	2,5	4
	75	2	2,5	3
	90	3...5		

Таблиця Д 1.21 – Величина врізання та перебігу інструменту при свердлінні.

Характер обробки		Діаметр інструменту в мм до				
		3	5	10	15	20
		Сумарна величина врізання та перебігу				
Свердління на прохід	3 одинарним заточенням	2,0	2,05	5,0	6,0	8,0
	3 подвійним заточуванням			6,0	8,0	10,0
Свердління в упор		1,5	2,0	4,0	6,0	7,0
Розсвердлювання при глибині різання в мм до		5			4,0	
		10				

ДОДАТОК 2
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

Таблиця Д 2.1 – Подача S , мм/об при точінні на токарних верстатах заготовок зі сталей з $\sigma < 900$ МПа різцями з твердого сплаву Т15К6.

Переріз державки різця, мм	Діаметр поверхні, що обробляється, мм	Глибина різання, t , мм	
		До 2	Від 2 до 5
20 x 16;	До 20	0,10-0,30	0,10-0,20
	Від 20 до 50	0,10-0,40	0,10-0,30
	Від 50 до 100	0,10-0,50	0,10-0,40

Таблиця Д 2.2 – Швидкості різання V , м/хв при чорновому обточуванні різцями з твердого сплаву Т15К6

Глибина різання, t , мм	Подача, S , мм/об				
	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30
0,5	75	69	64	64	60
1,0	70	63	60	58	57
1,5	67	60	58	53	-

ДОДАТОК 3

РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ КІНЦЕВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Таблиця Д 3.1 – Швидкості різання V , м/хв при свердлінні та зенкеруванні заготовок зі сталі свердлами зі швидкорізальної сталі Р6М5

Діаметр свердла, зенкера, мм	Подача, S , мм/об			
	0,2	0,3	0,4	0,5
До 5	16	15,3	13	13
5 - 10	19	17,5	15	15

Таблиця Д 3.2 – Глибина різання та подача при свердлінні та зенкеруванні

Діаметр отвору, мм	5	10	18	25
Глибина різання t , мм	0,2	1	1,4	1,6
Подача S , мм/об	0,2	0,35	0,4	0,5

Таблиця Д 3.3 – Режими різання під час розгортання

Квалітет точності	Н9	Н8	Н7		Н6	
Номер розгортки у комплекті	1	1	1	2	1	2
Глибина різання t , мм	0,2	0,15	0,1	0,05	0,1	0,05
Подача S , мм/об	0,6	0,6	0,8	0,4	0,8	0,4
Швидкість різання V , м/хв	9	8	8	5	6	5

ДОДАТОК 4
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ДЕЯКИМИ ФРЕЗАМИ
СТАЛЬНИХ ЗАГОТОВОК

Таблиця Д.4.1- Значення величини швидкості різання інструментом з швидко-різальної сталі при подачі в мм/зуб

Тип фрези	Матеріал фрези	$t(b)$, мм	S , мм/зуб						
			До 0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3
Дискова (прорізна)	Швидкорі-зальна сталь	1,5	60	55	52	47			
		3	50	44	42	38			
		6	40	37	35	32			
		12	33	30	29	26			
Кінцева	Швидкорі-зальна сталь	1				42	38	40	28
		1,5				40	36	34	26
		2				38	34	30	25

Таблиця Д 4.2 Значення величин подач фрези S_z , мм/зуб

Глибина різання t , мм	Подача фрези S_z , мм/зуб					
	Дискова зі швидкорізальної сталі для обробки пазів			Кінцева зі швидкорізальної сталі		
	Твердість оброблюваного матеріалу НВ					
	< 229	229 - 287	> 287	< 229	229 - 287	> 287
до 2				0,2 -0,3	0,15-0,25	0,12-0,2
2 -5	0,07-0,12	0,05-0,1	0,03-0,08	0,15-0,25	0,12-0,2	0,1-0,15
> 5				0,12-0,2	0,1-0,15	0,07-0,18

ДОДАТОК 5
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Таблиця Д 5.1 - Вибір шліфувального круга

Параметр шорсткості, Ra , мкм	Марка шліфувального круга		
	HRC<30	HRC30-50	HRC>50
1,6	14A40CM27K	14A40CM17K	14A40M37K
0,8	14A25CM16K	14A25CM26K	14A25CM17K
0,4	14A16C16K	14A16CM26K	14A20CM17K
0,2	14A16C16K	14A16CM26K	24A16CM16K

Таблиця Д 5.2 – Поперечна подача S_{np} , мм/хід

Параметр шорсткості, Ra , мкм	Ширина шліфувального круга, мм			
	20	30	40	50
1,6	2,5	3,2	6,0	9,0
0,8	1,8	2,5	4,0	6,0
0,4	1,2	1,8	2,5	4,0
0,2	0,8	1,2	1,7	2,5

Таблиця Д 5.3 – Подача на глибину S_n , мм/хід

Швидкість заготовки, S_д , м/хв, не більше	Поперечна подача, D_{sn} , мм/хід, не більше:				
	0,8	1,5	2,5	4,0	6,0
5	0,006	0,0055	0,005	0,0045	0,004
6,3	0,0055	0,005	0,0045	0,004	0,0035
8	0,005	0,0045	0,0045	0,004	0,0035
12,5	0,004	0,0035	0,003	0,0025	0,002
16	0,0035	0,003	0,0025	0,002	-
20	0,003	0,0025	0,002	-	-

ДОДАТОК 6
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ЗУБОНАРІЗАННІ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ
ФРЕЗАМИ

Таблиця Д 6.1 – Значення подачі $S_{0таб}$ у мм/об та швидкості різання $V_{таб}$ у м/хв при обробці зубчастого вінця черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі.

Характер обробки	Модуль, мм	Число заходів фрези	Число зубів деталі			Швидкість різання $V_{таб}$, м/хв
			<25	25-45	>50	
			Подача фрези $S_{0таб}$, мм/об			
			БС	БС	БС	
Попередня	5-6,5	1	2,2	2,8	3,2	55-65
		2	2,0	2,6	3,0	
		3	1,6	2,1	2,4	
Одноразова остаточна	2-5	1	1,6	2,1	2,4	60-65
		2	1,2	1,6	1,8	
Остаточна після попередньої.		1	2,0	2,6	3,0	65-75
		2	1,5	2,0	2,3	
Одноразова під шевінгування		1	2,0	2,6	3,0	60-70
		2	1,5	2,0	2,3	
		3	1,2	1,6	1,8	
Під шевінгування після попередньої		1	2,6	3,0	3,5	65-70
		2	2,0	2,6	3,0	
		3	1,6	2,1	2,4	

Примітка:

1. Значення реальної подачі розраховується за формулою

$$S_0 = S_{0таб} * K_s * \cos \beta,$$

де K_s - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу (табл. 2); β - кут нахилу зуба до осі косоzubого колеса.

2. Значення реальної швидкості різання розраховується за формулою

$$V = V_{таб} * K_1 * K_2$$

де K_1 - коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу (табл. Д 6.2); K_2 - коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту (табл. Д 6.3)

3. Якщо значення модуля менше 2мм, табличне значення подачі необхідно зменшити до 30-40%.

Таблиця Д 6.2 - Коефіцієнти K_1 і K_s для обробки черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі нормальної продуктивності

Коеф.	Матеріал, що обробляється			
	Сталь			Чавун
	35, 45	40Х	30ХГТ	
K_1	1,1	1,0	0,9	1,2
K_s	1,2	1,0	0,9	1,4

Таблиця Д 6.3 - Коефіцієнти K_2 для різних періодів машинної стійкості черв'ячних фрез

Матеріал інструменту	K_2 при стійкості T_m у хвилинах машинної роботи			
	600	400	240	160
Швидкорізальна сталь	0,7	0,8	1,0	1,2

ДОДАТОК 7
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ЗУБОДОВБАННІ

Таблиця Д 7.1 – Кругова подача довбала в залежності від потужності верстата та параметрів обробки

Характер обробки	Матеріал, що обробляється	Модуль t , мм, до	Потужність приводу верстата N , кВт		
			1,0...1,5	1,6...2,5	2,6...5,0
Кругова подача довбяка $S_{кр}$, мм/дв.хід					
Чорнове нарізування під наступне зубодовбання	Сталь	4	0,35... 0,4	0,40... 0,45	-
		6	0,15... 0,2	0,30... 0,40	0,40... 0,50
	Чавун	4	0,40... 0,5	0,45... 0,50	-
		6	0,16... 0,22	0,30... 0,45	0,40... 0,50
Чистове нарізування по суцільному металу	Сталь	2 – 3	-	0,25... 0,30	-
	Чавун		-	0,30... 0,35	-
Чистове нарізування за попередньо обробленим зубом	Сталь	4 – 8	-	0,22... 0,25	-
	Чавун		-	0,35	-

Примітка:

1. Величини подач у таблицях вказані під час обробки за однопрохідний робочий цикл.
2. При чорновій обробці та двопрохідному робочому циклі табличні значення подач слід збільшувати на 20% (помножити на коефіцієнт 1,2). Величини радіальних подач (при врізанні) визначаються за формулою $S_{рад} = (0,1... 0,3) S_{кр}$. Великі значення подач слід застосовувати при обробці коліс із числом зубів понад 25, менші – із числом зубів до 25.

Таблиця Д 7.2 – Швидкість різання та потужність різання при зубодовбанні

Характер обробки	Кругова подача $S_{кр}$, мм/дв.хід	Модуль зуба, що нарізається t , мм, до			
		2		4	
		Швидкість різання V , м/хв		Потужність N , кВт	
Чорнове та чистове нарізування по суцільному металу	0,10	40,5	32,5	0,2	0,7
	0,13	35,5	28,5	0,3	0,8
	0,16	32	26	0,3	0,8
	0,20	28,5	23	0,3	0,9
	0,26	25	20,5	0,4	1,1
	0,32	22,5	18,2	0,4	1,2
	0,42	19,8	16	0,4	1,4
	0,52	17,7	14,3	0,5	1,5
Чистове нарізування за попередньо нарізаним зубом	0,16	43,5		-	
	0,20	39		-	
	0,26	34,2		-	
	0,32	30,7		-	

Таблиця Д 7.3 – Поправочні коефіцієнти на режими обробки залежно від механічної характеристики матеріалу обробки

Марка	Твердість НВ	Коефіцієнти		
		на подачу K_{mS}	на швидкість K_{mV}	на потужність K_{mN}
35	156... 187	1,0	1,1	1,0
	170...207		1,0	
45	До 241	0,9	0,8	
	170...229		0,9	
Чавун	156...207	1,0	1,0	

Таблиця Д 7.4 – Поправочні коефіцієнти на режими обробки залежно від кута нахилу зубів

Кут нахилу зубів β , град	Коефіцієнти $K_{\beta V} = K_{\beta N}$		Кут нахилу зубів β , град	Коефіцієнти $K_{\beta V} = K_{\beta N}$	
	Сталь	Чавун		Сталь	Чавун
0	1,0	1,0	30	0,85	0,9
15	0,9	0,95	45	0,7	0,7

Таблиця Д 7.5 – Поправочні коефіцієнти на режими обробки в залежності від кількості зубів, що нарізуються.

Кількість зубів колеса	Коефіцієнт K_{zN}		Кількість зубів колеса	Коефіцієнт K_{zN}	
	Сталь	Чавун		Сталь	Чавун
12	0,95	0,94	80	1,2	1,15
20	1,0	1,0		1,2	1,15
40	1,1	1,1		1,2	1,2

Таблиця Д 7.6 – Величина перебігу довбала залежно від ширини зубчастого вінця оброблюваного колеса

Ширина вінця зубчастого колеса, мм, до	19	51	72	85	122	165
Перебіг довбала в обидві сторони вінця l_1 , мм	5	8	12	15	20	25

Таблиця Д 7.7 – Частота руху довбала залежно від швидкості різання та довжини ходу

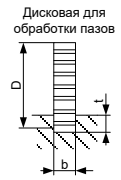
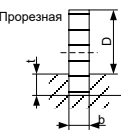
Довжина ходу L , мм	Швидкість різання V , м/хв									
	10	11,9	14,2	17	20,3	24,2	29	34,5	41,5	50
	Частота руху довбала n , дв.ход/хв									
24	205	245	293	249	417	498	595	710	-	-
29	172	205	245	293	349	417	498	595	710	-
35	144	172	205	245	293	349	417	498	595	710
41	120	144	172	205	245	293	349	417	498	595
49	101	120	144	172	205	245	293	349	417	498
59	85	101	120	144	172	205	245	293	349	417
70	71	85	101	120	144	172	205	245	293	349
84	59,5	71	85	101	120	144	172	205	245	293
100	50	59,5	71	85	101	120	144	172	05	245
119	41,7	50	59,5	71	85	101	120	144	172	05
142	34,9	41,7	50	59,5	71	85	101	120	144	172
170	29,3	34,9	41,7	50	59,5	71	85	101	120	144
203	24,5	29,3	34,9	41,7	50	59,5	71	85	101	120
242	-	24,5	29,3	34,9	41,7	50	59,5	71	85	101
290	-	-	24,5	29,3	34,9	41,7	50	59,5	71	85

ДОДАТОК 8
РЕЖИМИ РІЗАННЯ ПРИ ЗУБОФРЕЗУВАННІ МОДУЛЬНИМИ
ФРЕЗАМИ

Таблиця Д 8.1 – Подача S_z на один зуб дискової фрези.

Глибина різання t , мм	Подача S_z на один зуб дискової фрези для обробки								
	площин				пазів				
	швидкорізальна сталь		твердий сплав		швидкорізальна сталь		твердий сплав		
	Твердість НВ								
	<229	229 - 287	<229	229 - 287	<229	229- 287	<229	229 -287	
До									
2	0.15-0.2 5	0.12 – 0.2	0.1– 0.12	0.08..0.1	0.07 – 0.12	0.05 – 0.1	0.07 – 0.1	0.06 – 0.08	
3	0.12 – 0.2	0.1 – 0.15	0.08– 0.1	0.06..0.1					
5	0.1 – 0.15	0.08–0.12	0.0 7- 0.1	0.06.0.08					
Твердість матеріалу заготовки <229 НВ >229 НВ		S_z при ширині фрезерування прорізною фрезою зі швидкорізальної сталі, мм							
		до 2		2...3		3...6			
		0.02...0.035		0.035...0.045		0.04...0.055			
		0.01...0.025		0.025...0.03		0.03...0.04			

Таблиця Д 8.2 – Швидкість різання при обробці дисковими фрезами.

Тип фрези	Матеріал інструменту	t , мм	$V_{табл}$, м/хв					
			при подачі S_z , мм/зуб					
			до 0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2
	БР	До 3	80	70	65	55	48	42
		5	67	60	55	46	48	35
		10	56	50	46	40	34	30
		20	45	40	37	32	27	24
	ТС	До 3	530	490	460	380	330	
		5	460	430	400	330	290	
		10	370	340	320	270	230	
		20	300	280	260	220	180	
		До 1,5	60	55	52	47		
		3	50	44	42	38		
		6	40	37	35	32		
		12	33	30	29	26		

Таблиця Д 8.3 - Коефіцієнт K_2 впливу матеріалу колеса на швидкість різання.

Матеріал інструменту	Марка сталі							
	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50				15X, 20, 30X, 35X, 38X, 40X			
	НВ							
	156	156 - 207	170 - 229	207 - 269	137 - 179	156 - 207	170-217 -	207 - 255
Швидкорізальна сталь	1.35	1.0	0.9	0.7	1.0	0.85	0.8	0.65
Твердий сплав	1.35	1.0	0.9	0.75	1.1	0.95	0.9	0.75

Таблиця Д 8.4 - Коефіцієнт K_3 впливу стійкості інструменту на швидкість різання.

Тип фрези	Матеріал інструменту	K_3 при стійкості T_p , хв					
		До 30	60	100	150	200	40
Торцева, дискова Циліндрична, радіусна	Швидкорізальна сталь	1,5	1,15	1,0	0,9	0,8	0,7
		1,6	1,2	1,0	0,85	0,75	
Торцева та дискова	T15K6		1,2	1,0	0,85	0,75	0,6
	T5K10		0,8	0,65	0,6	0,5	0,4

ДОДАТОК 9

ШВИДКІСТЬ РІЗАННЯ ПРИ НАРІЗАННІ ЗОВНІШНЬОГО РІЗБЛЕННЯ НА ПРОХІД РІЗЬБОВИМИ РІЗЦЯМИ

Таблиця Д 9.1 - Режими різання (швидкість різання при нарізанні зовнішнього різблення на прохід різьбовими різцями з швидкорізальної сталі).

Метричне різблення										
Крок різблення P_r , мм		1,5	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Швидкість різання, м/хв	при чорнових проходах	42	36	31	30	27	25	24	22	22
	при чистових проходах	72	64	56	50	48	44	42	41	38

Навчальне видання

ЯКОВЕНКО Ігор Едуардович
ПЕРМЯКОВ Олександр Анатолійович

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ.

Лабораторний практикум
для студентів спеціальностей
131 «Прикладна механіка»
133 «Галузеве машинобудування»

Роботу до видання рекомендував проф. Степанов М.С.
Відповідальний за випуск Іванова М.С.

В авторської редакції

Підп. до друку 29.03.24.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 12,8.

Видавничий центр НТУ «ХП»
Свідоцтво про державну реєстрацію серія ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
