

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ»
ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
133 «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Затверджено на засіданні кафедри
обладнання хімічних виробництв.
Протокол № 12 від 27.06. 2018 р.

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Укл.: В.В. Ведь, В.О. Яріз. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 72 с.

Укладачі: В.В. Ведь, старший викладач
В.О. Яріз, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Б.В. Виноградов, д-р. техн. наук

Методичні вказівки
Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни
«Технологічні основи машинобудування»
за освітнім рівнем «Бакалавр»
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: ВЕДЬ Віктор Вікторович
ЯРІЗ Вадим Олексійович

Авторська редакція
Комп'ютерна верстка Т.М. Кіжло

Підписано до друку 27.06.19. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 3,27. Обл.-вид. арк. 3,35. Тираж 100 прим. Зам. № 310.
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	5
Практичне заняття №1.	
ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І ТИПУ ВИРОБНИЦТВА	6
1.1. Основні визначення.....	6
1.2. Формулювання операцій і переходів, визначення типу виробництва.....	7
1.2.1. Формулювання структури операції	11
1.2.2. Визначення типу виробництва.....	12
1.2.3. Форми організації технологічних процесів	12
1.3. Порядок виконання роботи.....	14
1.4. Зміст звіту	15
1.5. Контрольні питання	16
Практичне заняття №2.	
РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙ ОБРОБКИ ОТВОРІВ	16
2.1. Загальні відомості	16
2.2. Розрахунок режимів різання	17
2.2.1. Свердління отворів	17
2.2.2. Зенкерування і розвертання	23
2.2.3. Основний технологічний час	24
2.3. Порядок виконання роботи.....	24
2.4. Зміст звіту	26
2.5. Контрольні питання	26
Практичне заняття №3.	
РОЗРОБКА І РОЗРАХУНОК ТОКАРНОЇ ОПЕРАЦІЇ	26
3.1. Загальні відомості	26
3.2. Вибір і призначення режимів різання	29
3.3. Порядок виконання роботи.....	34
3.4. Зміст звіту	34
3.5. Контрольні питання	34
Практичне заняття №4.	
РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ	35
4.1. Загальні положення	35
4.2. Розрахунок точності технологічного переходу	36
4.3. Порядок виконання роботи.....	39
4.4. Зміст звіту	41
4.5. Контрольні питання	42
Практичне заняття №5.	
ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРИПУСКІВ	42
5.1. Загальні положення	42
5.2. Визначення припусків і елементів припусків.....	44
5.3. Порядок виконання роботи.....	48
5.4. Зміст звіту	48
5.5. Контрольні питання	48

Практичне заняття №6.

РОЗРОБКА МАРШРУТУ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ І КАРТИ ЕСКІЗІВ.....	49
6.1. Загальні положення	49
6.1.1. Визначення маршрутів обробки окремих поверхонь (МОП)	50
6.1.2. Складання маршруту обробки деталі (МОД)	52
6.2. Розробка маршрутної технології	53
6.2.1. Вибір маршруту і методів обробки поверхонь (МОП).....	54
6.3. Порядок виконання лабораторної роботи	57
6.4. Зміст звіту	57
6.5. Контрольні питання	57

Практичне заняття №7.

РОЗРОБКА ТП, МК І ОК, ВИБІР ЗТО ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНИЦІ, ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ЙОГО ОРГАНІЗАЦІЇ.....	58
---	----

Практичне заняття №8.

ВИВЧЕННЯ МЕТОДУ ПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ДЛЯ БЕСПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ	63
8.1. Короткі теоретичні відомості	63
8.2. Приклад виконання розрахунку	67
8.2.1. Спосіб допусків одного квалітету	67
8.3. Порядок виконання роботи.....	70
8.4. Зміст звіту	71
8.5. Контрольні питання	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	72

ВСТУП

Дисципліна «Технологічні основи машинобудування» вивчається студентами старших курсів інженерних спеціальностей. Викладання даної дисципліни здійснюється після опанування студентами таких загальноосвітніх фундаментальних дисциплін як «Нарисна геометрія і інженерна графіка», «Вища математика», «Фізика», «Опір матеріалів», «Теоретична механіка», «Деталі машин». Під час вивчення цих та інших курсів студенти вивчали те, яким чином якісно проектувати машини та апарати хімічної промисловості та ін. Умовно можна сказати, що шукалась відповідь на питання «Що виготовляти?». В даному же курсі ставиться питання «Як виготовляти?».

Технологія машинобудування розглядає такі питання, як проектування технологічного процесу в цілому, підбір верстатів, різального інструменту, пристосувань, розрахунок режимів різання, нормативних затрат часу і т. ін.

На практичних заняттях буде розглянуто процес проектування технологічного процесу, від аналізу конструкторської документації до написання маршруту обробки и розробки окремих операцій.

Практичне заняття №1.

ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Мета заняття: 1) ознайомитись зі структурою технологічного процесу (ТП), технологічної операції (ТО), типами виробництв, формами їх організації; 2) набути практичні навички з вибору методів обробки поверхонь, формулювання структури переходів і операцій.

Комплекс державних стандартів, які складають єдину систему технологічної документації (ЄСТД), встановлює правила і положення про порядок розробки, оформлення, комплектації і обігу технологічної документації, що розробляється всіма машинобудівними організаціями і підприємствами країни.

1.1. Основні визначення

Технологічний процес (ТП) - частина виробничого процесу, яка містить в собі послідовні дії спрямовані на змінення і подальше визначення стану предмета виробництва, це послідовне змінення форми, розмірів, властивостей матеріалу з метою виготовлення виробу, який відповідає заданим технічним вимогам. Зазвичай ТП сам має свою ієрархічну структуру, складові частини якої відрізняються видами і методами виконання і здійснюється на відповідних робочих місцях.

ТП у більшості машинобудівних виробництв являє собою маршрут, який складається з окремих операцій. Етапи або маршрут ТП - це упоряджена послідовність перетворень предмета праці в продукт праці, техніко-організаційно – це конкретний варіант раціональної послідовності технологічних операцій, необхідних для забезпечення якісних характеристик виробів і ефективності виробництва.

Технологічна операція (ТО) – це основна організаційно обособлена і закінчена частина маршруту ТП з усіма допоміжними і супутніми елементами технологічного процесу, яка реалізується на одному робочому місці і охоплює усі послідовні дії виконавця і устаткування при обробці чи виготовленні виробу. Визначення складу та послідовності виконання операцій входить в завдання розробки технологічного процесу. Операція є основною складовою частиною ТП. За допомогою операцій визначають трудомісткість процесів, матеріально-технічне забезпечення, кількість виконавців, їх кваліфікацію, здійснюють календарне планування виробництва. Назву ТО зазвичай формулюють в залежності від типу обладнання на якій вона виконується, наприклад токарна, фрезерна, термічна.

Окрім технологічних відрізняють допоміжні операції – транспортування, вимірювання і контроль якості, мийка та інші.

Установ – закінчена частина ТО, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки або складальної одиниці, оскільки при виконанні операції вона може закріплюватися, перезакріплюватися, змінювати своє

положення.

Наприклад, обточування вала з одного боку при закріпленні в патроні - I-й установ, обточування його після повороту для обробки з другого кінця - II-й установ.

При кожному повороті і закріпленні деталі - новий установ. Установлена і закріплена заготовка може змінювати своє положення на верстаті за допомогою пристроїв для переміщень чи поворотів.

Позиція - кожне окреме фіксоване положення заготовки (складальної одиниці) відносно верстата чи інструмента при незмінній її закріпленні.

Операції зазвичай розділяються на переходи – технологічні і допоміжні.

Технологічний перехід – завершена частина ТО, що характеризується сталістю робочого інструменту, режиму і поверхонь виробу при обробці. Так, при обробці ступінчастого вала на токарному верстаті обробка кожної ступені являє собою окремі переходи.

Допоміжний перехід – завершена частина ТО, яка складається з дій виконавця і устаткування що не змінюють стан поверхонь виробу, але необхідні для виконання технологічного переходу (установка інструменту, закріплення заготовки, зняття готової деталі).

Робочий хід – завершена частина технологічного переходу, яка полягає в одноразовому переміщенні інструменту і супроводжується зміною форми, розмірів, властивостей матеріалу чи якості поверхні виробу.

Допоміжний хід – не зумовлює названих змін, але є необхідним для виконання робочого ходу.

Прийом – закінчені дії робітника при виконанні ТО, як правило, допоміжного характеру – пуск верстата, переключення швидкості, подачі, закріплення інструменту та ін. Прийоми і елементи прийомів (взяти, завернути, покласти і др.) використовуються в технічному нормуванні.

1.2. Формулювання операцій і переходів, визначення типу виробництва

ГОСТ 3.1104-71 «Загальні вимоги до технологічних документів», що входить в ЕСТД, встановив два види запису найменування операції – повне і скорочене.

Повне найменування операції містить найменування метода обробки виражене іменником і найменування оброблюваної поверхні. Допускається вказівка характеру обробки (чорнова, чистова і т. д.), наприклад «Обточування зовнішнього конуса чорнове».

Скорочене найменування операцій, що при складанні маршрутної карти технологічного процесу, виражається ім'ям прикметника, похідним від виду устаткування, або іменником, відповідним найменуванню виду обробки, наприклад «токарна», «металізація» і так далі.

Зміст операції (переходів) включає: найменування методу обробки, виражене дієсловом в наказовому нахилі (обточити, свердлити і т.д.), найменування оброблюваної поверхні або номер її (по ескізу), який указується

в дужках або кружку, розміри і граничні величини поверхні, якщо ці розміри з допусками не вказані на ескізі. Допускається вказування характеру обробки (начорно, під шліфування, начисто і т. д.).

При одночасній обробці декількох поверхонь в тексті змісту операції перераховуються всі оброблювані поверхні, наприклад «Обточити поверхню (1) і свердлити отвір (2) одночасно». Указується також кількість одночасно оброблюваних поверхонь або деталей, наприклад «Свердлити 5 отворів (1)»; «Фрезерувати 5 деталей одночасно».

Формулювання переходу проводиться за допомогою класифікатора переходів. В таблиці 1 приведені приклади запису технологічних переходів при обробці різанням

Приклад №1. Сформулювати найменування переходу по виготовленню різьби загального призначення з мілким шагом грубого класу точності, зображеного на операційному ескізі (рис.1).

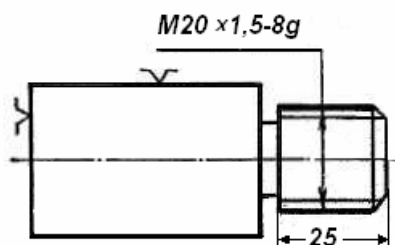


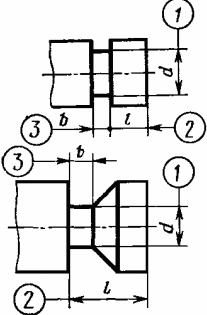
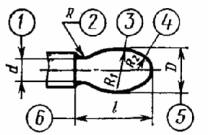
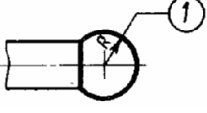
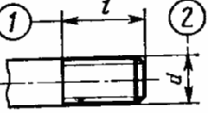
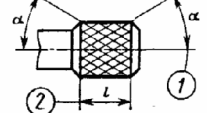
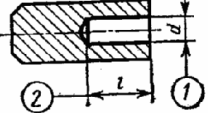
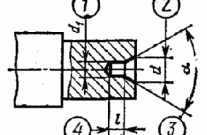
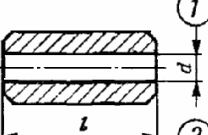
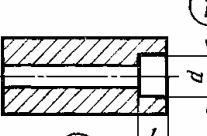
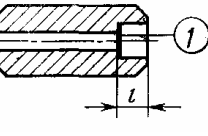
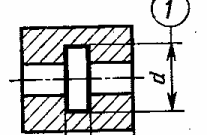
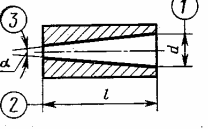
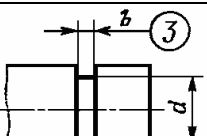
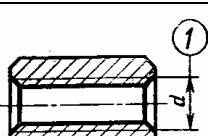
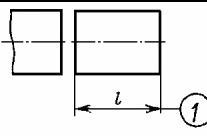
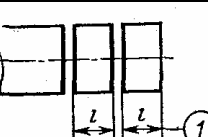
Рис. 1.1. Ескіз переходу

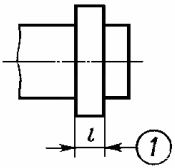
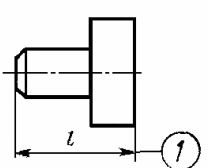
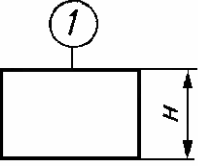
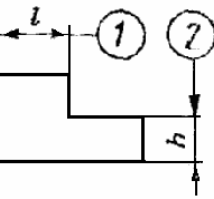
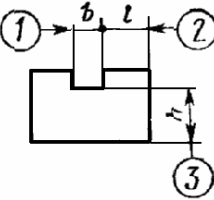
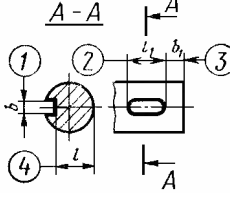
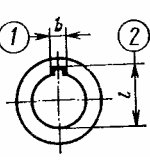
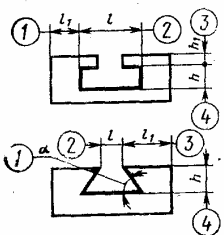
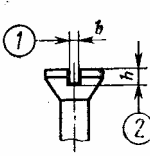
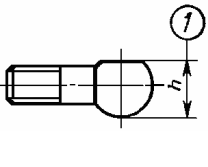
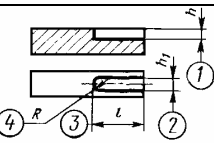
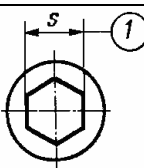
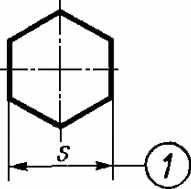
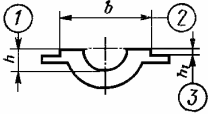
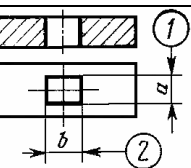
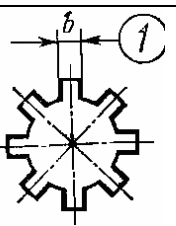
Нарізання зовнішньої різьби може бути виконано на токарних або фрезерних верстатах на підготовленій для нарізання поверхні. Виходячи з вимог точності перехід доцільно виконати на різьбофрезернім верстаті.

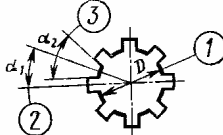
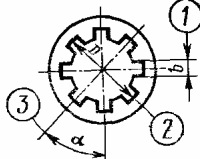
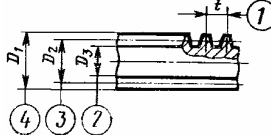
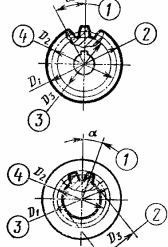
Перехід формулюється так: Фрезерувати різьбу M20x1,5 начисто.

Таблиця 1.1 – Приклади запису змісту переходів обробки різанням

№	Ескіз	Запис переходу	№	Ескіз	Запис переходу
1	2	3	4	5	6
1		Точити (шліфувати, полірувати і т.д.) поверхню, витримуючи розміри 1 і 2	2		Точити (шліфувати, полірувати і т.д.) фаску, витримуючи розмір 1
3		Точити (шліфувати, притерти і т.д.) виточку, витримуючи розміри 1-4	4		Точити (шліфувати, притерти, полірувати і т.д.) конус, витримуючи розміри 1 і 2

№	Ескіз	Запис переходу	№	Ескіз	Запис переходу
1	2	3	4	5	6
5		Точити (шліфувати, полірувати і т.д.) канавку, витримуючи розміри 1-3	6		Точити (шліфувати, полірувати і т.д.) криволінійну поверхню, витримуючи розмір 1-6
7		Точити (шліфувати, полірувати і т.д.) сферу, витримуючи розмір 1	8		Нарізати (фрезерувати, накатати, і т.д. різьбу), витримуючи розмір 1
9		Накатати рифлення, витримуючи розміри 1 і 2	10		Свердлити (зенкерувати, і т.д.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2
11		Центрувати торець, витримуючи розміри 1-4	12		Свердлити (розвернути і т.д.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2
13		Розточити (шліфувати і т.д.) отвір, витримуючи розміри 1 і 2	14		Підрізати (шліфувати, і т.д.) дно отвору, витримуючи розмір 1
15		Розточити канавку, витримуючи розміри 1-3	16		Розточити (розвернути, шліфувати і т.п.) конічний отвір, витримуючи розміри 1-3
17		Врізатися в поверхню (надрізати), витримуючи розміри 1-3	18		Нарізати (фрезерувати, накатати, шліфувати і т.д. різьбу), витримуючи розмір 1
19		Відрізати деталь витримуючи розмір 1	20		Відрізати дві заготовки, витримуючи розмір 1

№	Ескіз	Запис переходу	№	Ескіз	Запис переходу
1	2	3	4	5	6
21		Підрізати (шліфувати, полірувати і т.д.) торець буртика, витримуючи розмір 1	22		Підрізати (шліфувати, полірувати і т.д.) торець, витримуючи розмір 1
23		Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.д.) поверхню, витримуючи розмір 1	24		Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.д.) уступ, витримуючи розміри 1 і 2
25		Фрезерувати (стругати, шліфувати, і т.д.) паз, витримуючи розміри 1-3	26		Фрезерувати шпонковий паз, витримуючи розміри 1-4
27		Довбати (протягнути) шпонковий паз, витримуючи розміри 1 і 2	28		Фрезерувати (протягнути) паз, витримуючи розміри 1-4
29		Фрезерувати (протягнути) шліць, витримуючи розміри 1 і 2	30		Фрезерувати (стругати, і т.д.) лиску, витримуючи розмір 1
31		Фрезерувати паз, витримуючи розміри 1-4	32		Довбати (протягнути) шестигранник 1
33		Фрезерувати (стругати, і т.д.) шестигранник, витримуючи розмір 1	34		Фрезерувати (стругати, шліфувати і т.д.) поверхні, витримуючи розміри 1-3
35		Прошити (довбати, протягнути) отвір паз, витримуючи розміри 1 і 2	36		Фрезерувати (шліфувати і т.д.) бокові поверхні, шліців витримуючи розмір 1

№	Ескіз	Запис переходу	№	Ескіз	Запис переходу
1	2	3	4	5	6
37		Фрезерувати (шліфувати і т.д.) поверхні впадин, витримуючи розміри 1-3	38		Прошити (довбати, протягнути) шліці, витримуючи розміри 1-3
39		Нарізати (фрезерувати, шліфувати і т.д.) черв'як, витримуючи розміри 1-4	40		Фрезерувати (довбати, стругати, протягнути, закруглити, шевінгувати, і т.д.) зуб'я, витримуючи розміри 1-4

1.2.1. Формулювання структури операції

Перехід – частина маршруту обробки поверхні (МОП). Сукупність переходів при обробці деталі на верстаті складає структуру конкретної операції, послідовність яких складає маршрут обробки деталі – МОД.

Приклад №2. Установити структуру операції згідно ескізу (рис.1.3), що виконується на вертикально-свердлувальному верстаті, сформулювати найменування всіх її елементів.

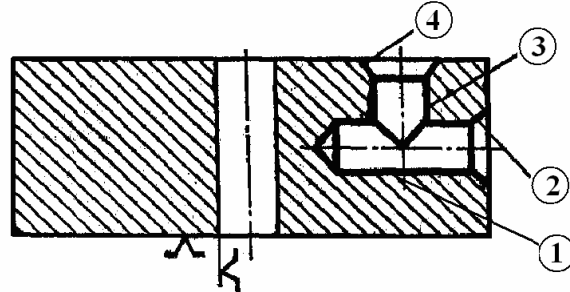


Рис. 1.3. Операційний ескіз обробки двох пересічних отворів з фасками

Операція має два установи, дві позиції і 4 переходи. Її запис такий:

Вертикально-свердлувальна – свердлення двох пересічних отворів і зенкерування фасок.

Установ А – встановити на столі і закріпити.

Позиція 1 – вертикальне положення .

Перехід 1 – свердлити отвір 1.

Перехід 2 – зенкувати поверхню 2.

Зняти заготовку.

Установ Б – встановити заготовку на столі і закріпити.

Позиція 2 – горизонтальне положення .

Перехід 3 – свердлити отвір 3.

Перехід 4 – зенкувати поверхню 4.

Зняти заготовку.

1.2.2. Визначення типу виробництва

Перед проектуванням технологічного процесу необхідно визначити тип виробництва і форму його організації (спочатку орієнтовно).

В залежності від розмірів виробничої програми, рівня спеціалізації робочих місць, характеру виробів, технічних і економічних умов виробництва умовно розділяють на три типи - одиничне (індивідуальне), серійне і масове. Серійне виробництво часто розділяють на мало середньо та крупносерійне.

На початковій стадії проектування для визначення типу виробництва можна скористатися даними таблиці 1.3 з обов'язковою перевіркою прийнятих рішень після розрахунку числа технологічних операцій і визначення кількості одиниць технологічного устаткування.

Таблиця 1.2 – Тип виробництва залежно від програми випуску і габаритів деталей

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	Одиничне	Дрібно серійне	Середньо серійне, 10 ³	Крупно серійне, 10 ³	Масове, 10 ³
Річна програма випуску однойменних деталей, шт.					
<1,0	<10	10-2000	1,5-100	75-200	>200
1,0-2,5		10-1000	1-50	50-100	>100
2,5-5,0		10-500	0,5-35	35-75	>75
5,0-10		10-300	0,3-25	25-50	>50
>10		10-200	0,2-10	10-25	>25

1.2.3. Форми організації технологічних процесів

Розрізняють дві форми організації ТП – групову і потокову.

Групова форма – це групування виробів, технологічного спорядження навколо однієї або кількох технологічних операцій та спеціалізація робочих місць. Основа такої форми – групування виробів за конструктивно–технологічними ознаками, технологічне обладнання в цеху розташовують за його типами, а заготовки обробляють на різних ділянках цеху.

Потокова форма – це спеціалізація кожного робочого місця щодо виконання конкретної операції, узгодження та ритмічне виконання кожної операції ТП на основі такту випуску. Ця форма передбачає розміщення робочих місць у послідовності, яка відповідає маршруту ТП, вона являється більш продуктивною і ефективною. Робота безперервним потоком основана на чіткій ритмічності і синхронізації операцій. Такт випуску являється основною розрахунковою величиною, на основі якої здійснюється розчленування ТП на окремі операції з точно визначеним штучним часом. Такт випуску τ – це інтервал часу, через який періодично здійснюється випуск одиниці продукції:

$$\tau = 60F_p/N, \quad (1.1)$$

де F_p – номінальний річний фонд робочого часу, $F_p = 4030$ год/рік при роботі у дві зміни (2070 і 6210 – відповідно в одну и в три зміни),
 N – програма випуску.

Потокова форма являється найбільш досконалою формою організації масового виробництва. Доцільність застосування потокової форми при організації серійного виробництва встановлюють на основі зіставлення середнього штучного часу $T_{шт}$ обробки для кількох основних операцій з розрахунковим тактом випуску τ , тобто за числом робочих місць P_m , що випадають на одну операцію:

$$P_m = T / \tau. \quad (1.2)$$

При $P_m > 0,6$ вибирають потокову форму, в противному разі – групову. Потокова форма залежно від номенклатури виробів може бути одно-, – або багато номенклатурною лінією.

Тип виробництва визначається рівнем спеціалізації робочих місць, номенклатурою виробів, формою їх переміщення по робочим місцям.

Рівень спеціалізації робочих місць характеризують коефіцієнтом закріплення операцій, тобто кількістю операцій O , що виконуються на одному робочім місці протягом деякого визначеного часу (ГОСТ 3.1121-84):

$$K_{30} = O / P_m, \quad (1.3)$$

де K_{30} – одна з основних характеристик типу виробництва, якщо за робочим місцем незалежно від завантаження закріплено тільки одну операцію

$K_{30} = 1$ – то виробництво масове, при

$1 < K_{30} < 10$ – крупносерійне,

$10 < K_{30} < 20$ – середньо серійне,

$20 < K_{30} < 40$ – дрібносерійне.

При $K_{30} > 40$ виробництво одиничне.

Наприклад, якщо на дільниці 15 робочих місць і на них протягом місяця на 6 місцях виконувалось по одній операції, на трьох – по дві, на чотирьох – по три і на двох – по 4 операції, то:

$$K_{30} = \frac{6 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{15} = 2,1 \text{ – виробництво крупносерійне.}$$

При проектуванні ТП на конкретну деталь тип виробництва можна оцінити по коефіцієнту серійності, який для кожного з типів виробництв має своє значення:

$$K_c = \tau / T_{шт}. \quad (1.4)$$

Значення $K_c = 1$ характерно для масового виробництва.

При $K_c = 2-10$ – виробництво крупносерійне, обробку деталей ведуть серіями (партіями);

при $K_c = 10-20$ – середньо серійне;

при $K_c > 20$ – виробництво дрібносерійне.

В серійнім виробництві часто проектують комплексні поточні лінії: заготівельна дільниця, механічна обробка, термічна обробка, правка, нанесення покриттів, складання тощо. Використовується переналагоджуване обладнання і оснащення. У цьому випадку такт випуску:

$$\tau = \frac{60F}{N_1 + N_2 + \dots N_n} K_{\text{п}}, \quad (1.5)$$

де N_i – обсяги виробництва різнойменних виробів,
 $K_{\text{п}} = 0,95$ – коефіцієнт переналагодження.

Приклад №3. Визначити тип виробництва для виготовлення сталевій деталі масою 15 кг при заданій річній програмі випуску $N = 4500$ шт. Оцінити значення характерних показників для організації виробництва.

Рішення: Деталь віднесемо до категорії середніх деталей, тип виробництва приймемо крупносерійним. Деталі випускаються партіями (машини – серіями). Число днів, на яке необхідно мати запас деталей на складах t_3 для крупних деталей зазвичай складає 2-3, а для мілких деталей – 5-10 днів.

Розмір партії і періодичність запуску деталей у виробництво складуть:

$$n_{\text{д}} = N t_3 / F_{\text{р}} = 4500 \cdot 2,5 / 260 = 43,3,$$

приймаємо $n_{\text{д}} = 45$ шт.

При прийнятому запасі t_3 деталей на складі на 2,5 дня запуск партій у виробництво може проводитися періодично, наприклад, 2 рази на тиждень (при п'ятиденці), а такт випуску виробу (який планується), окрім іншого, буде залежати і від числа робочих змін.

1.3. Порядок виконання роботи

Робота складається з рішення трьох задач по темі заняття.

Задача №1. Сформулювати найменування операції і переходу по представленому ескізу (рис. 1.2), вибрати устаткування і інструмент. Результати записати в таблицю 1.3.

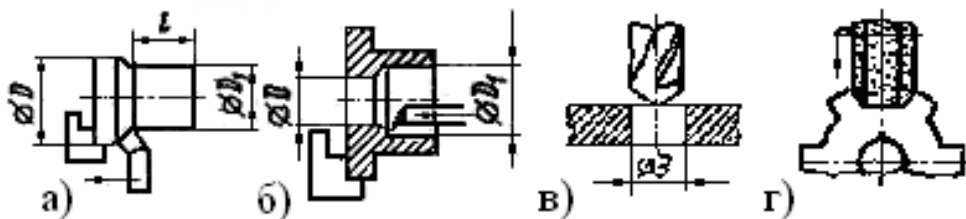


Рис. 1.2. Операції (переходи) механічної обробки деталей

Таблиця 1.3 – Найменування операцій, переходів, устаткування і інструменту

Ескіз	Операція	Перехід	Верстат	Ріжучий інструмент
а				
б				
в				
г				

Наприклад: а) операція – токарна, фрезерна, стругальна, свердлильна тощо;

– перехід – фрезерувати, обточити, шліфувати поверхню...;

– верстат: розточувальний, токарний, фрезерний, зубошліфувальний тощо;

– ріжучий інструмент – свердло, різець, фреза, шліфувальний круг тощо.

Задача №2. Встановити структуру операції (рис. 1.3) і сформулювати найменування її елементів (визначити і означити оброблювані поверхні), вибрати ЗТО – засоби технічного оснащення.

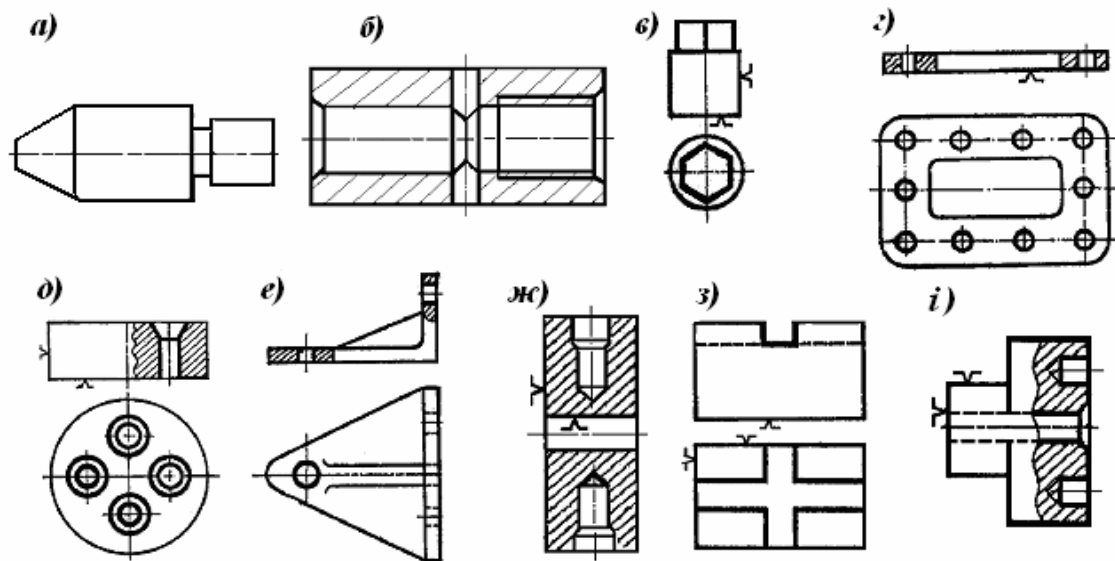


Рис. 1.3. Ескізи операцій

Задача №3. Визначити тип виробництва для виготовлення сталеві деталі при заданій річній програмі випуску N і оцінити значення характерних показників для організації виробництва.

Варіант	Маса деталі	Програма	Варіант	Маса деталі	Програма
1	150	800	9	3	40000
2	12	15000	10	15	6500
3	40	250	11	2,5	3500
4	100	1200	12	1,85	900
5	2,2	150	13	10,5	4750
6	10	1200	14	9,9	18500
7	1,5	50000	15	3,3	5000
8	7	7000	16	2,75	550

1.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

– основні визначення зі структури технологічного процесу;

– види і правила запису найменування операцій і переходів;

– формулювання структури операції з урахуванням установів, позицій і переходів;

– визначення типу виробництва і форми його організації.

1.5. Контрольні питання

1. Які складові частини машинобудівного виробу ви можете назвати?
2. Чим відрізняється технологічний процес від виробничого процесу?
3. Що входить до складу технологічного оснащення?
4. Які ви знаєте пристрої для метало різальних верстатів?
5. За яким принципом формується технологічна операція?
6. В чому різниця між технологічним переходом, робочим ходом і допоміжним переходом?
7. В чому різниця між програмою випуску виробів і об'ємом випуску?
8. Чим відрізняється такт випуску від ритму випуску?
9. Які бувають типи виробництва і в чому їх відмінність?
10. В чому ви бачите різницю між формами і методами організації виробничих процесів?

Практичне заняття №2.

РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

Мета заняття: 1) вивчити технологічні можливості обробки отворів осьовим інструментом; 2) отримати навички розрахунку режимів різання і трудових витрат.

2.1. Загальні відомості

Невід'ємною частиною машинобудівного виробництва є механічна обробка деталей. Найбільш розповсюдженими операціями механічної обробки являються свердлильна і токарна операції. Структура технологічних операцій і послідовність переходів, а також режими обробки визначаються механічними властивостями матеріалу деталі, вимогами до параметрів якості деталі – шорсткості, точності, просторових відхилень а також наявними засобами технологічного оснащення.

Характерні значення квалітетів допусків і шорсткості поверхонь при обробці отворів наведені в табл. 2.1.

Отвори бувають глухі, наскрізні, нормальні і глибокі, тобто в яких довжина перевищує діаметр в 3-5 разів і більше. Основні операції при осьовій обробці отворів: свердління, розсвердлювання, зенкерування, розвертання, протягування.

При обробці отворів головний рух різання (v) і рух подачі (S) здійснюється ріжучим інструментом. Порядок обробки отворів визначається вимогами до точності розмірів і шорсткості поверхонь.

2.2. Розрахунок режимів різання

Мета розрахунку режимів різання – забезпечити обробку різанням в оптимальних умовах, що дозволяють отримати необхідну якість деталі при високій продуктивності і мінімальній вартості. Режими різання розраховують, як правило, для кількох основних технологічних операцій. Для основних переходів визначають елементи режиму різання, сили різання і основний технологічний час T_0 .

Таблиця 2.1 – Економічна точність і шорсткість осьової обробки (шрифтом виділені переважні значення параметрів шорсткості)

Вид обробки	Ra, мкм	h, мкм	IT	Технологічні допуски (мкм) на розмір при номінальних діаметрах отворів (від і до), мкм						
				3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120
Свердління і розсвердлювання	25	70	13			270	330	390	460	
	12,5	50	12			180	210	250	300	
	6,3	30	11	75	90	110	130	160	190	
	3,2	20	10	48	58	70	84	100	120	
Зенкування:										
чорнове	12,5	40	13			270	330	390	460	540
чистове після чорнового і після свердління	10	30	12			180	210	250	300	350
	6,3	25	11			180	130	160	190	220
	3,2	20	10			70	84	100	120	140
	1,6	15	9			43	52	62	74	87
Розвертання:										
нормальне	6,3	25	11	75	90	110	130	160	190	220
	3,2	15	10	48	58	70	84	100	120	140
точне	3,2	15	9	30	36	43	52	62	74	87
	1,6	10	8	18	22	27	33	39	46	57
тонке і доводочне	0,64	10	7	8	9	11	13	16	19	22
	0,32	5	6	8	9	11	13	16	19	22
Протягування:										
чорнове	6,3	25	11					160	190	220
	3,2	10	10					100	120	140
чистове після чорнового і доводочне	1,6	10	9			43	52	62	74	87
	0,8	5	8			27	33	39	46	57
	0,4	3	7			18	21	25	30	35

2.2.1. Свердління отворів

Процес свердління характеризується діаметром і глибиною свердління, точністю і шорсткістю обробки, які залежать від режиму різання – швидкості, подачі і глибини різання. Необхідно відмітити, що точність виготовлення отворів зі збільшенням їхніх розмірів зменшується. Отвори діаметром більше 25-30 мм свердлять за 2 проходи, спочатку свердлом меншого діаметру, а потім – більшого.

Глибина різання при свердлінні дорівнює половині діаметра свердла – $t = 0,5d$, при розсвердлюванні, зенкеруванні глибина різання складає половину різниці кінцевого D_k і початкового розмірів D отвору деталі – $t = 0,5(D_k - D)$.

При свердленні і розсвердлюванні найчастіше застосовують спіральні свердла, які випускаються діаметром від 0,25 мм до 80 мм. Матеріалом для виготовлення свердел служать швидкорізальні сталі P18; P9; P6M5 і ін. Також свердла оснащують пластинами із твердого сплаву BK8; BK6M; BK10M і ін.

Спіральне свердло має п'ять лез: два головних, два допоміжних (стрічки) і лезо перемички (рис. 2.1).

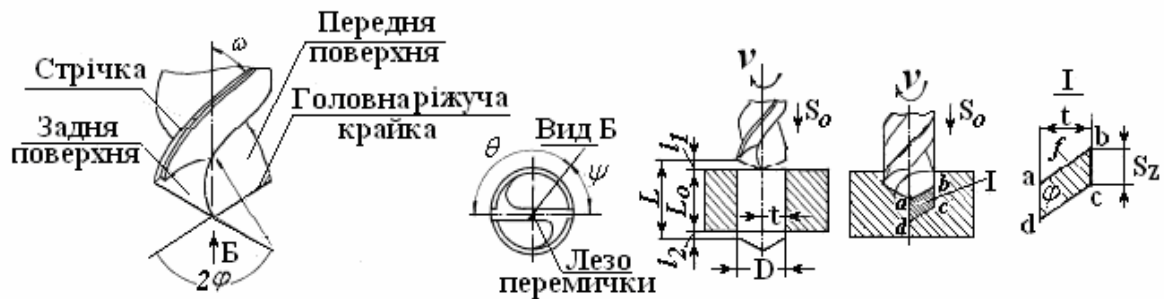


Рис. 2.1. Елементи режиму різання при свердлінні: d – діаметр свердла; t – глибина різання; S_0 – подача, мм/об; $S_z = S/2$; f – площа зрізу; L – приведена довжина різання; L_0 – глибина свердління; l_1 – шлях візання; l_2 – перебіг свердла

На стійкість свердел великий вплив має геометрія їхньої ріжучої частини і найбільше значення має кут при вершині свердла 2ϕ та якість заточки. Так, при свердленні чавуну і сталі кут 2ϕ при вершині свердла зазвичай $116-120^\circ$. Стійкість свердел при ретельній симетричній заточці в 2 і більше разів вище стійкості свердел асиметричної заточки, якщо різниця довжин крайок навіть близько 0,1 мм, і значно виростає при використанні ЗОР – змащувально-охолоджуючих рідин.

Початковими даними для розрахунку режимів різання є:

- матеріал оброблюваної заготовки і його фізико-механічні властивості;
- діаметр і глибина оброблюваного отвору;
- вимоги до точності розмірів і розташування осі отвору, а також шорсткості поверхні.

Розрахунок режимів різання при свердленні проводять в наступній послідовності:

а) Визначають найбільшу подачу, що технологічно допускається.

При свердлінні залежно від поставленої задачі рекомендуються три групи подач:

I гр. подач – свердлення отворів у жорстких деталях без допусків або з допусками IT14 і більше з параметрами шорсткості $R_z > 40$ мкм;

II гр. – свердлення отворів у деталях середньої жорсткості і свердління з параметрами $R_z = 20-40$ мкм під наступну обробку зенкером і двома розгортками;

III гр. – свердлення отворів у деталях малої жорсткості або свердлення отворів з точністю $R_z = 20 \leq IT11$ під наступну обробку розвертками, або нарізування різьби.

Спочатку по таблицям нормативів (табл. 2.2) вибирають табличне значення подачі на оборот S_T і далі визначають технологічно можливу подачу на оборот свердла S_o , враховуючи поправочні коефіцієнти (табл. 2.3):

$$S_o = S_T K_{sl} K_{si} K_{sd} K_{sj} K_{sm}, \quad (2.1)$$

де K_{sl} – коефіцієнт, що враховує поправку подачі на глибину свердління;

K_{si} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

K_{sd} – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного отвору;

K_{sj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

K_{sm} – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу;

Таблиця 2.2 – Допустима подача S_T при свердлінні свердлами зі швидкорізальних сталей

Діаметр свердла d, мм	S_T (мм/об) залежно від групи подач			Діаметр свердла d, мм	S_T (мм/об) залежно від групи подач		
	I	II	III		I	II	III
3,0	0,06	0,04	0,03	8,0	0,20	0,15	0,10
4,0	0,08	0,07	0,05	10,0	0,25	0,18	0,12
5,0	0,12	0,10	0,07	12,0	0,28	0,20	0,14
6,0	0,16	0,12	0,08	16,0	0,34	0,25	0,17

Таблиця 2.3 – Поправочні коефіцієнти на подачу при свердлінні

Глибина свердлення K_{sl}	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d
	1,0	0,85	0,7	0,6	0,5
Жорсткість технологічної системи K_{sj}	Висока		Середня		Низька
	1,0		0,75		0,5
Матеріал інструмента K_{si}	Швидкорізальна сталь			Твердий сплав	
	1,0			0,6	
Тип отвору K_{sd}	Наскрізний			Глухий	
	1,0			0,5	
Механічні властивості матеріалу K_{sd}	$\sigma_B \leq 800$ МПа			1,0	
	$\sigma_B \geq 800$ МПа			0,75	

Далі підраховують подачу, що допускається міцністю свердла S_{mc} , мм/об:

$$S_{mc} = C_s \cdot d^{0,6}, \quad (2.2)$$

де C_s – константа, що визначається згідно даних таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення постійної C_s для свердел швидкорізальної сталі

Матеріал, що обробляється	σ_B , МПа	C_s	Матеріал, що обробляється	HB	C_s
Конструкційна сталь	до 900	0,064	Чавун Кольорові метали	до 170	0,125
	900-1100	0,050		більш 170	0,075
	більше 1100	0,038		–	0,125

Для свердел, оснащених твердим сплавом ВК, рекомендується $C_s = 0,1$ при обробці чавуну із $HB < 200$ і $C_s = 0,07$ для чавуну із $HB > 200$.

Із найдених подач S_o і S_{mc} вибирають меншу, котра і буде найбільшою технологічно допустимою подачею S . Уточнену величину подачі коректують по паспорту верстата і меншу з них приймають як фактичну $S = S_\phi$.

б) Визначають швидкість різання (табличну) v_T , м/хв, що допускається властивостями ріжучого інструменту, виходячи з нормативних даних, наведених в табл. 2.5, розрахованих на обробку конструкційної сталі зі значенням $\sigma_B \leq 750$ МПа інструментом із сталі Р9К5 й роботі з використанням охолодження (ЗОР).

Таблиця 2.5 – Швидкість різання v_T свердлами зі швидкорізальних сталей

Діаметр d свердла, мм	Подача S, мм	Швидкість v_T (м/хв.)	Діаметр d свердла, мм	Подача на S, мм	Швидкість v_T (м/хв.)
4	0,05-0,08	44-38	10	0,12-0,25	28-24
6	0,08-0,16	38-32	12	0,14-0,28	24-20
8	0,10-0,20	32-28	20	0,20-0,40	22-18

Далі визначають допустиму швидкість v_d , враховуючи поправочні коефіцієнти, наведені в табл. 2.6 і 2.7:

$$v_d = v_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vi} \cdot K_{vd} \cdot K_{vl} \cdot K_{vo}, \quad (2.3)$$

де K_{vm} – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу;

K_{vi} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

K_{vd} – коефіцієнт, що враховує тип отвору;

K_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки (використання „ЗОР”)

K_{vl} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління.

Конструкційні матеріали відповідно з їх основними властивостями що до механічної обробки можна розбити на 2 групи (табл. 2.7).

Відомо, що при свердленні в деталь поступає 50-60% тепла, в інструмент – близько 30% і ще більше при обробці матеріалів з низькою теплопровідністю. Тому слід пам'ятати, що швидкість різання залежить не тільки від розміру та типу свердла і матеріалу його ріжучої частини, а також і від інтенсивності охолодження і типу ЗОР.

Таблиця 2.6 – Поправочні коефіцієнти на швидкість різання

Матеріал інструмента K _{vi}	P10K5Φ5	P9K5, P12Φ3		P6M5K5	P6M5
	1,15	1,0		0,96	0,91
Тип отвору K _{vd}	Глухий			Наскрізний	
	1,0			0,9	
Умови обробки K _{vo}	З використанням „ЗОР”			Без „ЗОР”	
	1,0			0,8	
Глибина свердлення, мм K _{vl}	3d	5d	7d	10d	>10d
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5

Таблиця 2.7 – Класифікація металів за оброблюваністю різанням і значення K_{vm}

Марка матеріалу	σ_B , МПа	HB, МПа	K_{vm}
1 Вуглецеві сталі			
Якісні 10,15,20,20Л, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55,60	590-690 690-750 759-850 850-980 980-1080	169-200 200-223 223-248 248-288 288-317	1,1 1,0 0,8 0,68 0,56
Конструкційні якісні і інструментальні (C>0,6%) 65, 70 У7,УХ,У9,У9А У10, У10Г, У12, У13	590-690 690-750 759-850 850-980 980-1080	169-200 200-223 223-248 248-288 288-317	0,8 0,67 0,52 0,41 0,34
2 Леговані сталі			
Хромисті 15Х, 15ХА, 20Х 35Х, 38ХА, 40Х 45Х, 50Х, ШХ15	395-492 492-590 590-690 690-787 787-886 886-980 980-1080	116-146 146-174 174-203 203-230 230-262 262-288 288-317	1,61 1,1 0,85 0,67 0,53 0,43 0,36
Марганцевисті 15Г, 20Г, 30Г, 40Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г 76, 76Ф, 76Т, 76Ц, М74, М76 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2	395-492 492-590 590-690 690-787 787-886 886-980 980-1080 1080-1176	169-200 200-223 223-260 260-275 275-286 286-292 292-317 317-345	1,4 1,04 0,8 0,67 0,53 0,47 0,4 0,33

При свердлінні глибоких отворів $l > 5d$ необхідно час від часу виводити свердло з оброблюваного отвору для видалення стружки. Цим полегшується свердління й усувається поломка й передчасне затуплення свердла (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Довжини ділянок свердління, що рекомендуються, між виводами свердла

№ виводу	Діаметр свердла d , мм			
	До 5	5-10	10-18	18-25
До 1-го	5d	4d	3,5d	3d
Між 1-м, 2-м і 3-м	2D	1,5d		0,5d
Між 3-м і 4-м	1 d		0,5 D	
Між 4-м і 5-м	-	0,8 d		0,5 d
Між 5-м і 6-м	-	-		0,5 d

в) Визначають частоту обертання свердла n , об/хв. виходячи із формули

$$n = 1000 v_D / \pi d . \quad (2.4)$$

Отриману частоту обертання коректують по паспорту верстата $n_{ст}$ і приймають в якості фактичної $n_{ф}$. Наприклад, у вертикально-свердлильного верстата моделі 2Ш35 частоти обертання шпинделя (хв⁻¹) наступні: 45, 63, 90, 125, 180, 250, 300, 500, 750, 1000, 1400.

з) Визначають фактичну швидкість різання, м/хв.:

$$v_{ф} = \pi d n_{ф} / 1000 . \quad (2.5)$$

д) Визначають осьову силу, кГс:

$$P_z = C_P \cdot t \cdot S_z^{0,75} . \quad (2.6)$$

де подача на зуб (ріжучу крайку) $S_z = S_0 / 2$; $C_P \approx 180..200$.

е) Визначають крутний момент на свердлі $M_{кр}$:

$$M_{кр} = 0,01 \cdot C_M \cdot d^X \cdot S^Y , \text{ Н.м.} \quad (2.7)$$

Таблиця 2.9 – Поправочні коефіцієнти для розрахунку $M_{кр}$

Оброблюваний матеріал	C_M	X	Y
Сталь конструкційна	34	1,9	0,8
Чавун сірий НВ 190	23	1,9	0,8
Чавун ковкий НВ 150	20	1,8	0,8

ж) Визначають ефективну потужність, що витрачається на свердлення і **необхідну потужність електродвигуна** $N_{е.дв.}$, кВт

$$N = P_z \cdot v / 60 = M_{кр} \cdot \omega / 1000 , \quad (2.8)$$

$$N_{е.дв.} = N / \eta , \quad (2.9)$$

де $\eta = 0,8-0,85$ - ККД кінематичних ланцюгів верстата.

Для різання необхідно, щоб розрахована потужність не перевищувала потужність двигуна, встановленого на верстаті. При невиконанні цієї умови слід перейти на найближче менше число оборотів по паспорту верстата. Потім підрахувати $M_{кр}$, N і знову перевірити вказану умову.

2.2.2. Зенкерування і розвертання

Послідовність розрахунку режимів обробки для операцій розсвердлювання, зенкерування, розвертання така ж, що і для свердління. Середні значення припусків під зенкерування для діаметрів від 15 до 40 мм складають 0,5-2 мм. Осьову силу при зенкеруванні і розвертанні не розраховують зважаючи на незначну її величину.

Чинником, що лімітує вибір подач, є тільки шорсткість поверхонь. Зенкер міцніше свердла, тому подача при зенкеруванні може бути більшою, ніж при свердлінні і зазвичай складає 0,25 – 1 мм/об (для діаметрів від 15 до 40 мм). У той же час зенкер має чотири ріжучі крайки, кожна з яких знімає меншу стружку. Завдяки цьому параметри точності оброблених отворів вищі, а шорсткість поверхонь – нижча, ніж при свердлінні. Це дозволяє використовувати зенкери для напівчистої обробки отворів (табл. 2.1). Орієнтовна швидкість різання при зенкеруванні сталі зенкерами із швидкорізальних сталей приведена в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Орієнтовна швидкість різання при зенкеруванні сталі зенкерами із швидкорізальних сталей, м/хв.

Діаметр і тип зенкера, мм	Глибина різання, мм	Подача, мм/об.				
		до 0,3	0,3-0,56	0,56-0,75	0,75-1,3	1,3-3,2
15...35	0,5...1	30	30...22	22...19	19...14	14...9,0
	1,1...2,0	26	26...19	19...17	17...12	12...8,0
32...80 (насадний)	0,5...1,0	27	27...20	20...17	17...13	13...8,0
	1,1...2,0	24	24...18	18...15	15...11	11...7,0

Розвертання є чистою операцією, що слідує після свердління і зенкерування, або чистового розточування і дозволяє отримувати отвори з допусками 8-6 квалітетів (табл. 2.1). Операція характеризується відносно малою глибиною різання ($t = 0,15-0,5$ мм).

Подачі при попереднім розвертанні під наступний чистовий прохід циліндричними розвертками із інструментальної сталі приведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Подачі при попереднім (чорновім) розвертанні вручну під наступний чистовий прохід циліндричними розвертками із інструментальної сталі

Матеріал	Подача S (мм/об) при діаметрі отвору								
	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Сталь $\sigma_B \geq 800$ МПа	0,3	0,5	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7
Сталь $\sigma_B \leq 800$ МПа	0,4	0,6	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1
Чавун, бронза, алюміній	0,9	1,5	2,0	2,4	2,8	3,2	4,0	4,5	5,0

Чистове розвертання в один прохід, а також розвертання під полірування чи хонінгування виконують зі зменшеною у 1,5-2 рази подачею. Тонке розвертання виконують після чистового при $S=0,15-0,25$ мм/об., а при машинній обробці і охолодженні подачу можна збільшувати в 1,5-2 рази.

Швидкість різання при розвертанні отворів в сталевих заготовках не перевищує 2-8 м/хв. Охолодження здійснюють подачею ЗОР в зону різання.

2.2.3. Основний технологічний час

Основний технологічний час – це час, протягом якого проводиться зняття стружки, тобто відбувається зміна форми, розмірів і зовнішнього виду деталі. В основний час входить час, затрачуваний на врізання й хід (підхід і вихід) різального інструменту, на прохід інструмента при пробних стружках. Тому при підрахунку основного часу розрахункова довжина обробки приймається з обліком всіх цих прийомів. Основний технологічний час може бути розрахований за формулою

$$T_0 = L \cdot i / n_{\Phi} \cdot S_{\Phi}, \quad (2.10)$$

де L – довжина шляху інструмента, мм;

i – число робочих ходів.

Довжина шляху інструмента в загальному вигляді становить:

$$L = l_0 + l_1 + l_2 + l_3, \quad (2.11)$$

де l_0 – довжина оброблюваної поверхні (товщина металу, рис. 1), мм;

$l_1 = (d/2) \operatorname{ctg} \varphi$ – величина врізання інструмента, мм;

$l_2 = 1-5$ мм, або $l_2 \approx l_1$ – величина перебігу (виходу) інструмента, мм;

l_3 – довжина ходу на взяття пробних стружок. При свердленні пробні стружки не знімають, $l_3 = 0$.

2.3. Порядок виконання роботи

Розробити технологічний процес обробки отворів в заготовці, запропонованій викладачем. Для одного з переходів вибрати і розрахувати режими різання (v , S , t , n) і затрачувану ефективну потужність, визначити технологічний час T_0 .

Приклад. Розрахувати технологічну операцію обробки отвору осьовим інструментом згідно ескізу.

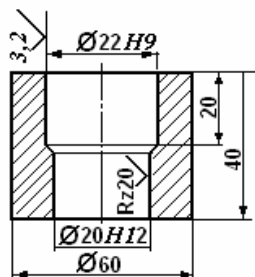


Рис. 2.2. Ескіз деталі

Заготовка: прокат $\varnothing 60$; обробку отворів $\varnothing 20H12$, $R_z 20$ і $\varnothing 22H9$, $R_z 3,2$ можна віднести до II групи подач; матеріал деталі – сталь 25, $\sigma_b = 700$ МПа.

Обладнання: вертикально свердлильний верстат 2Н125. Інструмент: спіральне свердло $\varnothing 20$, $2\varphi = 120^\circ$ і циліндричний зенкер $\varnothing 22$; матеріал інструментів – швидкорізальна сталь Р6М5.

Операція складається з двох переходів – свердлення отвору $\varnothing 20H12$ і зенкерування його на розмір $\varnothing 22H9$ з одного установу. Її запис такий:

Вертикально-свердлувальна – свердлити і зенкерувати отвір $\varnothing 20$ мм.

Установ 1: Закріпити заготовку в машинних лещатах.

Перехід 1: Свердлити крізний отвір $\varnothing 20H12$ спіральним свердлом.

Призначаємо режими різання:

Вибираємо II групу подач і приймаємо (табл. 2.2, 2.3):

$$S_T = 0,25 \text{ мм/об}; K_{sl} = 1, K_{si} = 1, K_{sd} = 1, K_{sj} = 1, K_{sm} = 1.$$

Таким чином подача $S_o = S_T = 0,25 \text{ мм/об}$.

Виходячи із міцності свердла допускається подача (табл. 2.4):

$$S_{mc} = C_s \cdot d^{0,6} = 0,064 \cdot 20^{0,6} = 0,386 \text{ мм/об}.$$

Приймаємо $S_\phi = S = 0,25 \text{ мм/об}$.

Визначаємо швидкість різання (табл. 2.5) $v_T = 20 \text{ м/хв.}$, при якій число обертів свердла становить $n = v_T \cdot 1000 / \pi \cdot d = (20 \cdot 1000) / (3,14 \cdot 20) = 318 \text{ об/хв.}$ З урахуванням поправочних коефіцієнтів (табл. 2.6, 2.7) $v_d = v_T$.

На верстаті встановлена частота обертів $n_\phi = 300 \text{ об/хв.}$

Фактична швидкість різання $v_\phi = \pi \cdot d \cdot n_\phi / 1000 = 18,85 \text{ м/хв.}$

Визначаємо осьову силу:

$$P_z = C_P \cdot t \cdot S_Z^{0,75} = 190 \cdot 10 \cdot 0,125^{0,75} = 394,6 \text{ кГ} = 3867 \text{ Н};$$

де $C_P \approx 190$; $t = d/2 = 10 \text{ мм}$ – ширина зрізу;

$S_z = S_\phi / 2 = 0,125 \text{ мм}$ – товщина зрізу.

Крутний момент на свердлі:

Згідно формули 2.7 і табл. 2.6 маємо: $C_M = 34$; $x = 1,9$; $y = 0,8$;

$$d^X = 20^{1,9} \approx 300; S^Y = 0,25^{0,8} = 0,329.$$

$$M_{кр} = 0,01 \cdot C_M \cdot d^X \cdot S^Y = 34 \cdot 300 \cdot 0,329 = 3364 \text{ кГс} \cdot \text{мм} = 33 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ефективна потужність і необхідна потужність електродвигуна

$$N_{еф} = M_{кр} \cdot \omega / 1000 = 33 \cdot 3,14 \cdot 300 / 30 = 1037 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт};$$

$$N_{ел.дв.} = N_{еф} / \eta = 1,1 / 0,8 = 1,375 \text{ кВт}.$$

Основний технологічний час обробки свердлом становить:

$$T_0 = L / S \cdot n = 60 / (0,25 \cdot 300) \approx 0,8 \text{ хв.} = 48 \text{ с};$$

де шлях інструмента $L = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 = 10 + 40 + 10 + 0 = 60 \text{ мм}$,

де $l_1 = l_2 = (d/2) \cdot \text{ctg} \phi \approx 0,5d = 10 \text{ мм}$; $l_0 = 40 \text{ мм.}$

Перехід 2: Зенкувати отвір $\varnothing 20$ в розмір $\varnothing 22H9$ циліндричним зенкером.

Режими різання (табл. 2.10):

Глибина різання $t = 1 \text{ мм}$; подача $S = 0,25 \text{ мм/об}$, $v = 30 \text{ м/хв.}$,

$n = v \cdot 1000 / \pi \cdot d = 1000 \cdot 30 / 3,14 \cdot 20 = 470 \text{ об/хв.}$, найближче менше число обертів шпинделя – 300 об/хв.

Основний технологічний час

$$T_0 = L / S \cdot n = 22 / 0,25 \cdot 300 = 0,3 \text{ хв.} \approx 18 \text{ с},$$

де $L = l_0 + l_1 + l_2 + l_3 \approx 22 \text{ мм}$.

2.4. Зміст звіту

- основні відомості про осьову обробку різанням;
- короткий опис і призначення свердлильного верстата і пристроїв;
- опис інструментів, які використовуються при осьовій обробці;
- розрахунок режимів різання для двох переходів осьової обробки для свого варіанту.

2.5. Контрольні питання

1. У чому сутність технологічного процесу свердління? Які роботи виконуються на свердлильних верстатах?
2. Що входить у режими різання при свердлінні? Від чого залежать режими різання? Які ви знаєте типи свердел?
3. Які застосовуються інструменти при роботі на свердлильних верстатах? Які інструменти застосовуються для нарізування різьб?
4. У чому відмінність між зенкером і зенківкою?
5. Які основні фактори впливають на стійкість свердел?
6. Яка допускається глибина різання при зенкеруванні?
7. Яка глибина різання допускається при роботі розвертки?
8. Чим відрізняються операції свердління і розсвердлювання, зенкерування?
9. Які ви знаєте матеріали з яких виготовляють інструменти для осьової обробки?
10. Які основні верстатні пристрої для осьової обробки ви знаєте?

Практичне заняття №3. РОЗРОБКА І РОЗРАХУНОК ТОКАРНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Мета заняття: 1) вивчити технологічні можливості обробки на токарних верстатах; 2) отримати практичні навички вибору і розрахунку режимів різання.

3.1. Загальні відомості

Необхідна точність деталей забезпечуються фінішними методами обробки, але їх результати багато в чому залежать від попередніх переходів. Точність обробки, що досягається після виконання кожного переходу, визначають, користуючись нормами середньої економічної точності відхилень за розмірами.

Якість обробленої поверхні характеризується її шорсткістю і властивостями поверхневого шару. Числові значення параметрів шорсткості призначають виходячи з функціонального призначення й конструктивних особливостей кожної окремої поверхні й деталі в цілому. У довідниках приводяться мінімальні вимоги до шорсткості в залежності від допусків

розмірів для найбільш характерних поверхонь, частина яких при механічній обробці приведена в табл. 2.1 і 3.1.

Таблиця 3.1 – Характерні значення квалітетів і шорсткості типових поверхонь

ІТ	Ra, мкм	Характеристика поверхні
16-14	160-20	Отвори на прохід кріпильних деталей, проточки, опорні поверхні, підосви станин, корпусів, лап
14-12	40-5	Поверхні під болти, вільні торцеві і інші поверхні, що не сполучаються
12-11	10-2,5	Непосадочні поверхні деталей. Неробочі торці валів, втулок, планок, муфт, вільні поверхні валів і ін.
11-10	5-1,25	Установочні поверхні, канавки, фаски, виточки, закруглення, неробочі торцеві поверхні зубчатих коліс
10-9	2,5-0,63	Центрові отвори, канавки під ущільнювальні кільця, радіуси округлень, шийки валів зубчатих коліс
9-8	1,25-0,32	Деталі під заpresовування, чисті болти, шпонки, гнізда підшипників, основні отвори деталей корпусів
8-7	0,63-0,16	Юбки поршнів насосів, компресорів і ДВЗ, поверхні витків черв'яків, ходових гвинтів, шліців, шийок валів, вкладишів, поверхонь дзеркал циліндрів, кілець
7-6	0,32-0,08	Цапфи підшипників кочення і ковзання, циліндри з поршневыми кільцями, поверхні під ущільнення, шийки і кулачки розподільних і колінчатих валів, пальці поршнів
6	0,16-0,08	Зуби коліс, підшипники ковзання, штампи, точні механізми, золотники, дзеркала засувов, коркові крани, плунжери

Послідовність операцій і переходів визначаються залежно від необхідних параметрів якості – шорсткості і точності обробки, наведено в табл. 2.1 і 3.2.

Таблиця 3.2 – Економічна точність і якість поверхонь при механічній обробці

Метод обробки	Квалітет ІТ	Параметри шорсткості, мкм	
		Ra	Rz
Обробка зовнішніх циліндричних поверхонь			
Чорнове точіння	14-12	40-10	160-40
Напівчистове точіння	13-10	20-2,5	80-10
Чистове точіння	10-8	2,5-0,4	10-2
Тонке (алмазне) точіння	8-6	0,63-0,16	3,2-0,8
Попереднє шліфування	9-8	1,25-0,63	6,3-3,2
Чистове шліфування	8-6	0,63-0,16	3,2-0,8
Тонке шліфування	6	0,16-0,08	0,8-0,4
Доводка, суперфініш, притирання	6-5	0,16-0,04	0,8-0,2
Обкатування, алмазне вигладжування	9-7	1,25-0,32	6,3-1,6
Обробка отворів аналогічна обробці зовнішніх поверхонь			
Розточування отворів	14-7	40-0,32	160-1,6
Шліфування отворів	9-6	1,25-0,16	6,3-0,8

Слід пам'ятати, що висока точність обробки поверхонь здорожує виріб, а завищена шорсткість поверхонь в процесі складання виробу і його експлуатації

може призвести до додаткових відхилень розміру й форми поверхні деталі, що відповідає зміні розрахункових значень натягів і зазорів, коефіцієнта тертя й ін.

Коли на кресленні відсутні вказівки за призначенням шорсткості поверхні, то обмеження шорсткості повинні бути пов'язані з допуском розміру (T_D), форми (T_F) або розташування (T_P). Геометричні відхилення деталі повинні знаходитися в межах поля допуску розміру. Тому величину параметра R_z рекомендується призначати не більше 0,33 від величини поля допуску на розмір або 0,5-0,4 від допуску розташування або форми. Якщо елемент деталі має всі три допуски, то слід брати допуск з найменшою величиною. Перехід від параметра R_z до параметра R_a виконується за співвідношенням:

$$\begin{aligned} R_a &= 0,25R_z, \text{ або } R_z = 4R_a \text{ при } R_a = 80 - 2,5 \text{ або } R_z > 8 \text{ мкм} \\ R_a &= 0,2R_z, \text{ або } R_z = 5R_a \text{ при } R_a = 1,6 - 0,02 \text{ або } R_z \leq 8 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Після визначення параметр R_a округляють до найближчого меншого числа з ряду стандартних і переважних (бажаних) значень, користуватися якими при призначенні вимог шорсткості доцільніше, тому що це відповідає міжнародній практиці, а також забезпечує найбільш ефективне застосування зразків порівняння.

Вибір інструменту для механічної обробки слід проводити з урахуванням як габаритних розмірів заготовки, так і фізико-механічних властивостей її матеріалу.

Основний інструмент при токарних роботах - різці. Матеріал різця визначається залежно від умов обробки й стану оброблюваної поверхні.

Різці підрозділяються за призначенням, напрямком руху, формою ріжучої частини й конструкцією. За призначенням найпоширеніші різці наступних типів (рис. 3.1): прохідні 6, 8 і прохідні упорні 4, підрізні 1, відрізні й прорізні 5, розточувальні 9, 10, фасонні 2, різьбові 7, різці для чистової обробки 3 і ін.

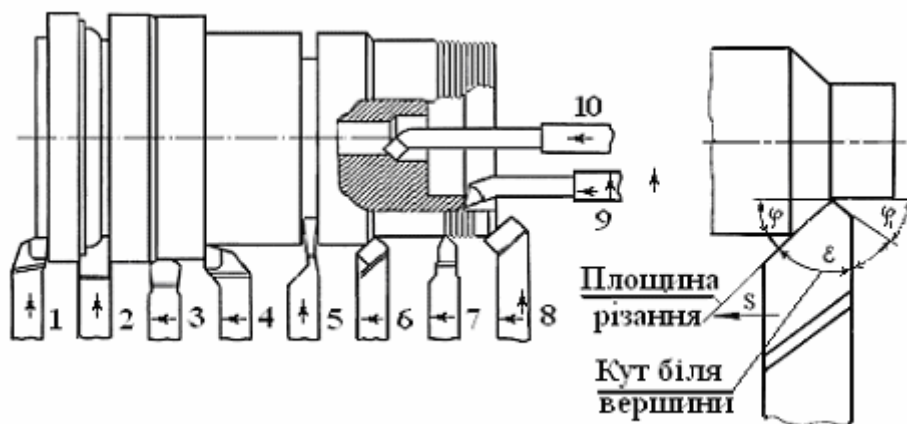


Рис. 3.1. Типи токарних різців і види обробки

Важливою характеристикою інструментів являється їх стійкість. Стійкість T – період роботи інструмента до його затуплення. Період стійкості інструмента залежить від матеріалу інструмента, його геометрії і якості заточки, режиму термообробки, умов різання, в першу чергу – швидкості різання, а також від механічних властивостей матеріалу, що обробляється.

Токарські різці як і свердла бувають швидкорізальні, цільні або із пластинами зі сталей Р6М5, Р6М5К5, твердих сплавів, які складаються з карбідів вольфраму, титану, танталу, зв'язаних кобальтом (ВК, ТК, ТТК), мінералокераміки тощо.

Найбільша стійкість різця, швидкість різання, а відповідно й більша продуктивність досягається при використанні різців із твердих сплавів (табл. 3.3), а при чистових і фінішних переходах – мінералокераміки, ельбору і синтетичних алмазів.

Таблиця 3.3 – Марки твердого сплаву

Вид і ймовірний режим обробки	Марки інструментальних матеріалів
Важке чорнове точіння при $S=1$ мм/об; t до 8 мм	T5K12, TT7KI2, T5K10
Чорнове точіння при $S=0,4-1$; t до 5 мм	T15K6, TI4K8, TT10K8, T5K10
Напівчистове точіння, $S=0,2-0,5$ мм/об.; $t=1-3$ мм	TH20, KHT16, T15K6, TI4K8
Чистове точіння, $S=0,1-0,3$ мм/об.; $t=0,5-1$ мм	BK6, BK8, BK60M, TI5K6
Тонке точіння, $S=0,02-0,2$ мм/об.; $t=0,05-0,1$ мм	
Відрізання і прорізка канавок, $S=0,1$ м/об.	T15K6, TI4K8, T5K10

Крім матеріалу різця на якість обробки також впливає й геометрія різця, у першу чергу величини головних і допоміжних кутів у плані ϕ і ϕ' (рис.3.1).

Таблиця 3.4 – Головні кути в плані ϕ для твердосплавних різців

Умови роботи	Кут ϕ , град	Кут ϕ' , град
Обробка при досить жорсткій технологічній системі	45	5-10
Обробка з ударами при недостатньо жорсткій ТС	60-75	15-30
Обробка нежорстких заготовок	80-90	30-45

3.2. Вибір і призначення режимів різання

Призначення режимів різання зводиться до визначення наступних величин:

- Припуску на обробку, h , мм;
- Глибини різання, t , мм;
- Числа проходів, i ;
- Величини подачі S , мм/об;
- Швидкості різання v , м/хв.;
- Числа оборотів шпинделя верстата n об/хв.

а) Загальний припуск на обробку h , визначається за формулою

$$h = (D_3 - d) / 2, \quad (3.2)$$

де D_3 і d – відповідно, діаметри заготовки і обробленої поверхні, мм.

Таблиця 3.5 – Припуски на точіння поверхонь обертання

Довжина вала, мм	Припуски на діаметр, мм			
	чорнове	напівчистове	чистове	тонке
До 120	1,5	0,45	0,25	0,13
120-260	1,7	0,47	0,26	0,15
260-500	2,1	0,5	0,28	0,16
500-800	2,7	0,52	0,31	0,18

Примітки: 1) в таблиці приведені припуски для обробки прокату звичайної точності; 2) при точінні штампованих заготовок припуск збільшується на 15-20%.

б) Глибина різання t , мм – відстань між обробленою і оброблюваною поверхнями, зміряна в площині, перпендикулярній осі обертання заготовки. При точінні:

$$t = (D - d) / 2, \quad (3.3)$$

де D і d – діаметри поверхні до і після обробки, мм.

Глибина різання в основному залежить від потужності верстата і від вимог до чистоти й точності оброблюваної поверхні. При чорновій обробці бажано весь припуск або більшу його частину знімати за один прохід. При чистовій обробці – залежно від вимог точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні.

в) Число проходів переходу обробки даної поверхні:

$$i = h / t. \quad (3.4)$$

г) Подача S – шлях точки ріжучого леза у напрямі подачі за один оборот заготовки, мм/об. Величина подачі визначає величину шорсткості оброблюваної поверхні. При заданій частоті обертання заготовки величина шорсткості тим менше, чим менше S і більше головний кут в плані, а також радіус при вершині різця. Зазвичай подачу S вибирають по прийнятій глибині різання, діаметру оброблюваної деталі, з урахуванням чистоти обробки.

Значення подачі при чорновому, точінні залежить від марки оброблюваного матеріалу, жорсткості технологічної схеми верстата, розміру заготовки, глибини різання, стійкості й міцності різця і зазвичай знаходяться в межах 0,1-1 мм/об.

При чистовому обточуванні величина подачі головним чином залежить від шорсткості поверхні, яка вимагається.

При обробці переривистих поверхонь, тобто при роботі з ударними навантаженнями, табличні значення подач варто множити на коефіцієнт 0,75-0,8.

Таблиця 3.6 – Середні значення подач при чистовому обточуванні твердосплавними й швидкоріжучими різцями

Параметр шорсткості Ra, мкм	Оброблюваний матеріал	Подачі, мм/об, в залежності від радіуса при вершині різця r_p , мм		
		0,5	1,0	2,0
10-5 (6,3)	Сталь Чавун і мідні сплави	0,40-0,55 0,25- 0,40	0,55-0,65 0,40- 0,50	0,65-0,70 0,50
5-2,5 (3,2)	Сталь Чавун і мідні сплави	0,20-0,30 0,15-0,25	0,30-0,45 0,2-0,40	0,35-0,50 0,30-0,50
2,5-1,25 (1,6)	Сталь Чавун і мідні сплави	0,11-0,18 0,10-0,15	0,14-0,24 0,12- 0,20	0,18-0,32 0,20-0,35

Таблиця 3.7 – Подачі при чистовому підрізанні торців и уступів

Параметр Ra, мкм	Глибина різання, мм	Подачі (мм/об.) при діаметрі оброблюваної заготовки, мм					
		до 30	31-60	61-100	101-150	151-300	301-500
12,5	до 2	0,08-0,2	0,15-0,3	0,25-0,4	0,3-0,5	0,35-0,7	0,4-0,8

Примітка: Менші подачі брати при шорсткості поверхні $Ra < 12,5$ мкм.

д) **Швидкість різання v** – шлях в одиницю часу крайньої точки ріжучого інструмента відносно заготовки в напрямку головного руху. Швидкість різання визначається в залежності від стійкості матеріалу різця, глибини різання, подачі, міцності і твердості матеріалу й ряду інших факторів.

За критерій оброблюваності матеріалів прийнята швидкість різання. Економічну швидкість різання вибирають з довідкових таблиць, виходячи з накопиченого виробничого досвіду. У таблицях представлені значення швидкостей різання v_T для стандартних умов обробки, частина з яких приведена в табл. 3.8.

Оброблюваність матеріалів оцінюється за коефіцієнтом оброблюваності K_{vm} , що враховує вплив їх фізико-механічних властивостей на швидкість різання:

$$K_{vm} = v / v_E, \quad (3.5)$$

де v_E – швидкість різання матеріалу, прийнятого за еталон;
 v – швидкість різання даного матеріалу при тих же умовах різання.

За стандартні умови (еталон) обробки прийнято: стійкість різця $T = 60$ хв., оброблюваний матеріал – конструкційна сталь із межею міцності 700-750 МПа для якої $K_{vm} = 1$, матеріал різця – сплав Т15К6, головний кут у плані $\phi = 45^\circ$.

Конструкційні матеріали для виготовлення деталей машин відповідно з їх основними властивостями, призначенням і хімічним складом розбито на 2 групи (табл. 2.7), що об'єднують матеріали близькі за властивостями і умовами обробки.

Таблиця 3.8 – Швидкість різання v_T в залежності від подачі і глибини різання

Подача на оборот, мм	Глибина різання, мм					
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
0,10	320	300	280	270	260	240
0,15	310	280	260	250	240	210
0,20	290	260	250	240	230	200
0,25	280	250	240	230	220	180
0,30	270	240	230	220	210	170
0,40	240	210	200	190	180	160
0,50	220	200	190	180	170	150
0,70	-	180	170	160	-	-

При підрізанні торців і уступів підрізними різцями необхідно значення швидкості різання для поздовжнього обточування зовнішніх циліндричних поверхонь помножити на коефіцієнт 0,8, а при підрізанні прохідними різцями – на коефіцієнт 1,2.

Різці для проточування канавок мають форму ріжучої грані, яка копіює профіль канавки, такі різці називають канавковими або фасонними.

Для відрізання деталей застосовують відрізні різці, ширина ріжучої частини тут залежать від діаметра деталі, що відрізається і зазвичай становить 2-8 мм.

За глибину різання при проточуванні канавок і відрізання приймають ширину різця. Подачу вибирають залежно від діаметра деталі, ширини різця і міцності матеріалу.

При зміні, зазначених вище, умов обробки необхідно перерахувати табличне значення v_T швидкості різання із урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$v_p = v_T \cdot K_{vm} \cdot K_{vi} \cdot K_{v\phi} \cdot K_{vl} \cdot K_{vo}, \quad (3.6)$$

де v_p – розрахункове значення швидкості різання, м/хв.;
 K_{vm} – коефіцієнт, враховуючий міцність оброблюваного матеріалу;
 K_{vi} – коефіцієнт, враховуючий матеріал різця і його стійкість;
 $K_{v\phi}$ – коефіцієнт, враховуючий величину головного кута в плані;
 K_{vl} – коефіцієнт, враховуючий стан оброблюваної поверхні,
 K_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки: без застосування змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР) $K_{vo} = 1$, а при використанні – $K_{vo} = 1,25$.

Таблиця 3.9 – Подачі при роботі відрізними різцями

Діаметр заготовки, мм	Ширина різця, мм	Подачі, мм/об, для оброблюваного матеріалу		
		Сталь і сталіне лиття		Чавун і мідні сплави
		$\sigma_B \leq 784 \text{ МПа}$	$\sigma_B \geq 784 \text{ МПа}$	
20	2,5	0,08- 0,10	0,06-0,08	0,11-0,14
30	3	0,10-0,12	0,08-0,10	0,13-0,16
40	3-4	0,12-0,14	0,10-0,12	0,16-0,19
60	4-5	0,15-0,18	0,13-0,16	0,20-0,22
80	5-6	0,18-0,20	0,16-0,18	0,22-0,25
100	6-7	0,20-0,25	0,18-0,20	0,25-0,30
125	7-8	0,25-0,30	0,20-0,22	0,30-0,35

Примітки: 1. Більші значення подач варто брати для більших діаметрів і м'яких матеріалів, менші – для менших діаметрів і твердих матеріалів; 2. При вимозі одержати шорсткість поверхні з $Ra=12,5-3,2$ мкм, при нежорсткім закріпленні заготовки й при роботі з ручною подачею табличні значення подач зменшити на 30-40%; 3. При відрізання суцільного матеріалу після поглиблення різця приблизно на половину радіуса заготовки треба подачу зменшити вдвічі.

е) Частота обертів n . Вибравши економічну швидкість різання, визначають частоту обертів (n) заготовки і по паспорту станка вибирають найближче значення числа обертів.

$$n = 1000 v / \pi D \quad (3.7)$$

ж) Сила різання P_z . Під силою різання розуміють її головну складову, що визначає крутний момент на шпинделі $M_{кр}$ і потужність N , що витрачається. При зовнішньому подовжньому і поперечному точінні, розточуванні, прорізання, відрізання, фасонному точінні і так далі P_z знаходять за формулою:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^X \cdot S^Y v^n \cdot k_p, \quad (3.8)$$

де C_p , X , Y , n і k_p – коефіцієнти для конкретних умов різання.

При обробці поковок, прокату і відливок з конструкційних сталей залежно від матеріалу різця і його геометрії можна приймати значення коефіцієнтів згідно таблиці 3.10:

Таблиця 3.10 – Значення коефіцієнтів формули сили різання

Матеріал різця	C_p	X	Y	n	k_p
Швидкоріз Р18	120-170	0,8	0,75	-0,15	1
Твердий сплав (ТК)	250-350	1	0,8	-0,15	1

з) Ефективна потужність N , що затрачується на процес різання, Вт:

$$N = P_z \cdot v / 60. \quad (3.9)$$

Необхідна потужність електродвигуна верстата ($N_{\text{едв.}}$), кВт:

$$N_{\text{едв.}} = N / \eta, \quad (3.10)$$

де $\eta = 0,75-0,85$ – ККД верстата.

3.3. Порядок виконання роботи

1. Привести вихідні дані по своєму варіанту і ескіз деталі, указати граничні відхилення розмірів і форми деталі, шорсткість поверхонь, а також матеріал деталі.

2. Вибрати заготовку.

3. Розробити в загальному виді маршрут обробки – дати загальний план робіт з умов раціональної послідовності обробки заготовки, намітити зміст переходів токарної операцій і вибрати тип устаткування, різальний і вимірювальний інструмент.

4. Розробити технологічний процес токарної обробки деталі, згідно завданню. Для одного з переходів розрахувати (призначити або вибрати) припуск, режими різання (v , s , t , n), силу різання і затрачувану ефективну потужність.

5. Визначити основний технологічний час T_0 (формули 2.10, 2.11), в яких L – довжина шляху інструмента (мм) приймається як довжина однієї з поверхонь, що обробляється, величина врізання інструмента l_1 приймається 3-5 мм, а величиною перебігу l_2 (виходу) інструмента можна знехтувати.

3.4. Зміст звіту

- основні відомості про обробку різанням;
- короткий опис і призначення токарно-гвинторізного верстата й деяких його вузлів (за завданням викладача);
- опис токарських різців, які використовуються при обробці заданої деталі;
- розрахунок режимів різання одного з переходів обробки заданої деталі;
- розрахунок основного технологічного часу обробки вказаної поверхні деталі.

3.5. Контрольні питання

1. У чому сутність технологічного процесу точіння на токарних верстатах?
2. Які рухи здійснюють заготовка й інструмент на токарному верстаті?
3. З яких основних вузлів складається токарно-гвинторізний верстат?
4. Яке призначення мають коробка швидкостей, коробка подач, задня бабка, супорт і шпиндель токарного верстата?
5. Які види робіт виконуються на токарно-гвинторізному верстаті?
6. Які існують методи обробки конічних поверхонь?
7. Які типи токарних різців застосовуються при токарних роботах?
8. Як обробляються отвори на токарних верстатах?
9. Які інструментальні матеріали застосовують для виготовлення різців?
10. Які інструменти застосовуються для нарізування різьб?

Практичне заняття №4. РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Мета заняття: 1) ознайомитись з факторами, що впливають на точність обробки; 2) набути практичні навички з розрахунку погрішностей при обробці деталей, навчитись розраховувати точність обробки.

4.1. Загальні положення

Точність – основна характеристика машин та деталей, якість виготовлення яких визначається досконалістю технологічного процесу (ТП). Власне вимоги до точності і визначають сам характер ТП виготовлення виробу. Досвід роботи машинобудівних підприємств показав доцільність розділення ТП виготовлення деталей на стадії:

- чорнову обробку;
- чистову обробку;
- завершальну обробку і оздоблення.

Перевагу віддають самому короткому шляху досягнення необхідних параметрів якості деталей. При цьому бажана повторюваність методів обробки (росте продуктивність, можливе сполучення переходів, зменшується номенклатура інструментів, пристроїв, пристосовувань тощо).

Квалітети допусків розмірів і чистоту поверхонь після кожного виду обробки можуть бути встановлені відповідно до норм середньої економічної точності і чистоти обробки поверхонь (табл. 2.1, 3.1, 3.2 попередніх робіт).

Після аналізу початкових даних для проектування ТП обробки деталей часто необхідно проводити розрахунки точності обробки. Основні фактори, які впливають на точність механічної обробки деталей на верстатах, наступні:

1) $\Delta_{\text{вст}}$ – неточність верстатів. Вона може виникати в результаті неточності виготовлення основних деталей і неточності збірки, великих зазорів в з'єднаннях, зношування деталей і тому подібне;

2) Δ_i – неточність виготовлення ріжучого і допоміжного інструменту і його зношування;

3) Δ_y – погрішність установки деталі при обробці;

4) Δ_n – неточність встановлення інструменту і наладки верстата;

5) Δ_d – деформації технологічної системи під дією сили різання;

6) Δ_T – теплові деформації в процесі обробки і деформації від внутрішніх напружень;

7) Δ_k – якість поверхні після обробки, яка може впливати на точність вимірювання;

8) Δ_m – погрішності вимірювань в результаті неточності вимірювальних засобів;

9) Δ_p – помилки виконавця роботи.

Деякі з факторів, що впливають на точність обробки, визначалась нами раніше в лабораторних роботах і їх слід використати при розрахунках.

4.2. Розрахунок точності технологічного переходу

Розрахунково-аналітичний метод припускає проводити оцінку точності по аналітичним або емпіричним формулам для суцільно певних умов виконання технологічного процесу. Метод дозволяє враховувати фізичні явища в розглянутому процесі, виявляти причини утворення погрішностей, але недолік необхідних розрахункових формул для різноманітних конкретних процесів обмежує практичне застосування цього методу.

Якщо елементарні погрішності взаємно не залежні, сумарну погрішність Δ_{Σ} знаходять як:

$$\Delta_{\Sigma} = k_p \sqrt{\lambda_1 \Delta_{\text{вст}}^2 + \lambda_2 \Delta_i^2 + \lambda_3 \Delta_y^2 + \lambda_4 \Delta_n^2 + \dots + \lambda_8 \Delta_m^2 + \lambda_9 \Delta_p^2}, \quad (4.1)$$

де k_p – коефіцієнт ризику, приймається залежно від ризику P (ймовірний відсоток браку), який прийнято допустимим;

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_9$ – коефіцієнти, які враховують закон розподілу елементарних погрішностей при рівній ймовірності їх виходу за обидві границі поля допуску. При законі нормального розподілу (Гауса) погрішностей значення $\lambda_i = 0,111$.

При обробці деталей розкид погрішностей зазвичай відрізняється від закону Гауса. Якщо передбачається, що розсіювання розмірів близьке до закону Сімпсона, то $\lambda_i = 1/6$, а при невідомому характері розсіювання розмірів рекомендується приймати закон рівної ймовірності $\lambda_i = 1/3$.

Ряд значень коефіцієнта ризику k_p залежно від відсотку ризику наступний:

P, %	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
k_p	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

В технологічних розрахунках зазвичай приймається $P = 0,27\%$ і $k_p = 3,0$

Для забезпечення надійності технологічної операції по точності необхідно, щоб загальна погрішність обробки не перевищувала допуску – $\Delta_{\Sigma} \leq T_D$. Коефіцієнт точності технологічної операції K_T являє собою відношення сумарної погрішності обробки до величини допуску:

$$K_T = \Delta_{\Sigma} / T_D, \quad (4.2)$$

При виборі маршруту обробки деталі перевагу віддають найкоротшому шляху досягнення необхідних параметрів якості, бажана повторюваність методів обробки (росте продуктивність, можливе поєднання переходів, зменшується номенклатура інструменту і пристроїв). Чистові операції бажано виконувати на окремих верстатах.

Неточність обладнання (верстата) Δ_o . У довідниках приведені дані про норми точності залежно від ступеня точності, типу і призначення верстатів. Наприклад, радіальне биття біля кінців шпинделів токарних, свердлувальних і фрезерних верстатів класу "Н" допускається не більше ніж 0,015 мм.

Погрішність виготовлення інструменту Δ_i і його зношування. Для різців $\Delta_i = 0$ внаслідок практичної відсутності зносу, що зазвичай становить 3-5 мкм на 1 км шляху різання.

Погрішність установки Δ_y деталі при обробці. Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстату досягається в процесі її установки. Процес установки включає базування і закріплення деталі. Погрішність установки деталі при обробці $\Delta_y = \sqrt{\Delta_\delta^2 + \Delta_3^2}$.

Погрішність базування $\Delta_\delta = 0$, коли збігаються вимірювальна й установочна бази. Погрішність закріплення виникає внаслідок зміщення заготовки під дією сил затиску, які накладаються для фіксації положення заготовки прийнятого при базуванні. Погрішність закріплення при установці в трьохкулачковий патрон зазвичай становить $\Delta_3 = 30-40$ мкм.

Неточність встановлення інструменту і наладки верстата Δ_n . Установлення інструмента на розмір при обробці на верстатах загального призначення здійснює виконавець роботи. Настройкою називають процес підготовки обладнання до виконання певної технологічної операції. В нашій випадку різець установлюється в необхідне положення в статичному стані верстата і його ріжучі кромки доводяться до поверхні деталі з наступною настройкою глибини різання по лімбу. Погрішність настройки верстата на розмір по еталону (по щупу, лімбу) зазвичай складає 15-100 мкм.

Деформацію системи ВПД під дією сили різання Δ_d можна оцінити розрахунком. Величини жорсткості (J), податливості (W) і деформації (y) пов'язані наступними формулами:

$$\begin{aligned} J &= P_z / y \\ W &= 1 / y, \\ y &= P_z \cdot W \end{aligned} \quad (4.3)$$

де P_z – сила різання (Н), величину якої визначили в попередній роботі.

Для того щоб при заданій площі перетину стружки максимально зменшити величину сил різання, необхідно зменшити глибину різання за рахунок збільшення подачі, тобто при точінні прагнуть працювати з можливо меншим відношенням t/s .

Нагадаємо, що прогин валу (деталі) y_d постійного перетину і довжиною L , затиснутого в патроні і підпертого центром задньої бабки, розглядається як прогин балки на двох опорах:

$$y_d = P_z L^3 / 48EI, \quad (4.4)$$

де E – модуль пружності, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

$I = \pi d_0^4 / 64 \approx 0,05d_0^4$ – момент інерції поперечного перетину валу,

d_0 – номінальний діаметр деталі після обробки.

Як видно, найбільше відхилення діаметру валу, викликане його прогином унаслідок сили різання, буде в середині прольоту.

Жорсткість сталених валів для спрощення розрахунків визначають за формулою:

$$J_d = 50 \cdot 10^3 d_{\text{пр}} / (d_{\text{пр}} L)^3. \quad (4.5)$$

При цьому найбільша податливість деталі, (мкм/кг) складає:

$$W_d = (0,02 / d_{\text{пр}}) \cdot (L / d_{\text{пр}})^3, \quad (4.6)$$

де $d_{\text{пр}}$ – приведений діаметр вала, мм; для гладких валів $d_{\text{пр}} = d$; для ступінчатих валів:

$$d_{\text{пр}} = \frac{d_1 L_1 + d_2 L_2 + d_3 L_3 + \dots}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots}, \quad (4.7)$$

де d_i і L_i – діаметри шийок і довжини сходинок ступінчастого валу.

Деформація токарного верстата при обробці заготовок в центрах залежить від деформацій супорта, передньої і задньої бабок. Вона досягає найбільших розмірів при знаходженні різця на середині довжини оброблюваного валу. Загальна жорсткість верстата в цьому випадку складає:

$$J_{\text{ст}} = \frac{P_z}{J_{\text{суп}}} + \frac{P_z}{4} \left(\frac{1}{J_{\text{п.б.}}} + \frac{1}{J_{\text{з.б.}}} \right), \quad (4.8)$$

де $J_{\text{суп}}$, $J_{\text{п.б.}}$, $J_{\text{з.б.}}$ – відповідно жорсткість супорта, передньої і задньої бабок верстата.

Аналогічно, загальну податливість верстата визначають за виразом:

$$W_{\text{ст}} = W_{\text{суп.}} + 0,25(W_{\text{п.б.}} + W_{\text{з.б.}}). \quad (4.9)$$

Дані про податливість токарних верстатів приведені в довідниках [1]. Для верстатів нормальної точності під навантаженням силою $P_y = 200$ кг $W_{\text{суп.}} < 0,03$ мм, $W_{\text{п.б.}} < 0,02$ і $W_{\text{з.б.}} < 0,04$ мм.

Загальна податливість (деформація) системи складе:

$$W = W_{\text{ст}} + W_d. \quad (4.10)$$

В такому випадку загальна деформація технологічної системи від дії сил різання складе:

$$y_d = P_z W, \quad (4.11)$$

а погрішність обробки в результаті деформацій системи (на діаметр) становитиме:

$$\Delta d = 2y. \quad (4.12)$$

Теплові деформації деталі і інструменту унаслідок нагріву також можна розрахувати якщо відомі сила різання (P_z , Н) і швидкість різання (v , м/хв.). При цьому робота різання складе:

$$A_p = P_z \cdot v \cdot T_0 / 60, \text{ Дж}; \quad (4.13)$$

де T_0 – основний машинний час обробки, хв.

Ця робота перетворюється на теплоту, з якої близько 60% поступає в стружку, а 40% – йде на нагрів деталі (не ураховуючи нагрів інструменту). Отже в деталь поступає тепла $Q_d = 0,4A_p$.

З іншої сторони це тепло можна виразити і як:

$$Q_d = m_d \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad (4.14)$$

де m_d – маса деталі (заготовки);

$c_p = 0,5$ кДж/кг·К – теплоємність матеріалу деталі;

Δt – підвищення температури деталі.

Звідки можна розрахувати підвищення температури деталі після обробки:

$$\Delta t = Q_d / m_d \cdot c_p. \quad (4.15)$$

Температурна деформація (збільшення діаметру) деталі становитиме:

$$\Delta d_t = \alpha \cdot d \cdot \Delta t, \quad (4.16)$$

де $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/град. – температурний коефіцієнт розширення сталі.

Теплові деформації різального інструменту, в який може поступати до 20% тепла роботи різання також викликають погрішність обробки, але в протилежному напрямку.

Якість поверхні після обробки. В окремих випадках клас чистоти поверхні також можна розрахувати. Так при точінні залежно від режиму (S) і радіусу r_p при вершині різця висота гребінців може бути визначена за формулами:

$$h = r_p - 0,5 \sqrt{4r_p^2 - S^2}, \quad (4.17)$$

$$h = S^2 / 8r_p. \quad (4.18)$$

Погрішність вимірювань приймають на рівні 0,5-1 ціни поділок мікрометра – $\Delta_m = 5-10$ мкм.

Помилку виконавця приймають в межах 1/9-1/6 допуску розміру або нею нехтують.

4.3. Порядок виконання роботи

Розрахувати точність переходу технологічної операції обробки поверхні заготовки, запропонований викладачем.

Приклад. Сформулювати: найменування поверхонь, характер обробки, зміст операцій, переходів і т.д., визначити коефіцієнт точності обробки при виготовленні східчастого вала: $d_1 = 30$, $L_1 = 30$; $d_2 = 48$ h9_{-0,062}, $L_2 = 100 \pm 0,2$, Rz20; $d_3 = 30$, $L_3 = 30$; $d_4 = 25$, $L_4 = 40$ мм.

Визначити коефіцієнт точності обробки $d_2 = 48$ мм на чорновім переході.

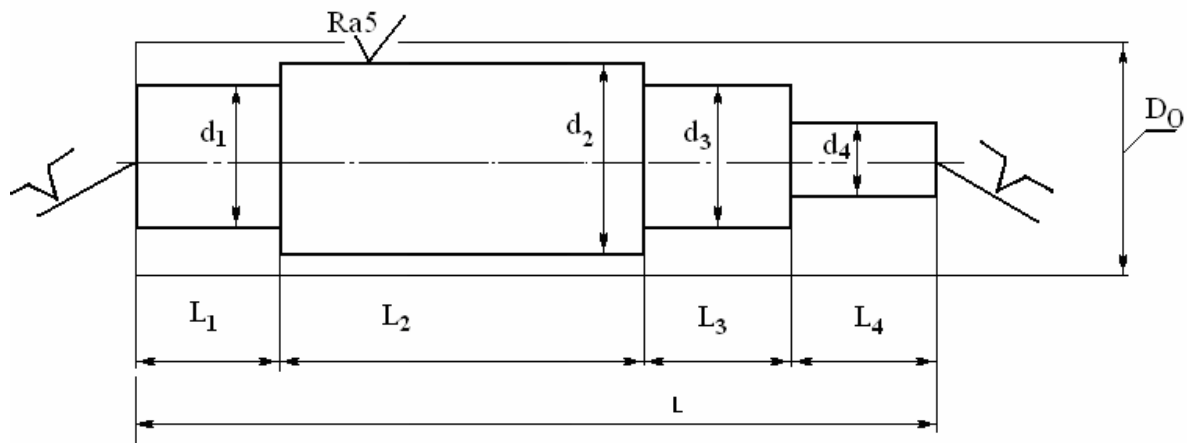


Рис. 4.4. Ескіз вала

Рішення. Приймаємо як заготовку прокат круглий діаметром $D_0 = \text{Ø}55$ мм. При цьому припуск на діаметр складе: $h = (D - d)/2 = (55 - 48)/2 = 3,5$ мм на сторону. Поверхня обробляється у два переходи – чорновий ($h = 3$ мм з точністю IT12-14) і чистовий ($h = 0,5$ мм з точністю IT9).

Приймаємо погрішність верстата $\Delta_{\text{ст}} = 15$ мкм, погрішність інструменту $\Delta_{\text{інстр}} = 0$, погрішність установки $\Delta_y = 20$ мкм, погрішність настройки верстата на розмір по лімбу 30 мкм, погрішність вимірювання приймаємо рівній ціні поділку мікрометра $\Delta_m = 10$ мкм (0,01 мм), помилкою виконавця нехтуємо.

Інші погрішності розраховуємо:

1) Приймаємо: число оборотів шпинделя $n = 500$ об/хв., $\omega = \pi n / 30 = 50 \text{ с}^{-1}$, $v = \omega r = 1,3$ м/с = 78,5 м/хв.; $t = h = 3$ мм, $s = 0,35$ мм/об; різець – твердий сплав Т5К10 з радіусом вершини $r_p = 1$ мм.

2) Розрахункове значення сили різання становить

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot k_p = 2000 \text{ Н} = 200 \text{ кг.}$$

3) Найбільша податливість деталі становитиме:

$$W_d = (0,02/d_{\text{пр}}) \cdot (L/d_{\text{пр}})^3 = (0,02/49) \cdot (200/49)^3 = 0,028 \text{ мкм/кг}$$

4) Для верстатів нормальної точності [1] під навантаженням $P_z = 200$ кг $W_{\text{суп}} < 0,03$ мм, $W_{\text{п.б.}} < 0,02$ і $W_{\text{з.б.}} < 0,04$ мм. Отже, найбільша при чорновій обробці податливість верстата буде:

$$W_{\text{ст}} = 0,03 + 0,25(0,02 + 0,04) = 0,045 \text{ мм/200кг} = 0,225 \text{ мкм/кг}$$

5) Загальна піддатливість системи складе:

$$W = W_{\text{ст}} + W_d = 0,028 + 0,225 = 0,25 \text{ мкм/кг}$$

6) Загальна деформація системи становитиме:

$$y_{\text{max}} = P_z \cdot W = 200 \cdot 0,25 = 50 \text{ мкм}$$

У такому випадку погрішність обробки в результаті деформацій системи на діаметр складе:

$$\Delta d = 2 y_{\text{max}} = 100 \text{ мкм}$$

7) Теплові деформації деталі й різця внаслідок нагрівання можна розрахувати, якщо відомі сила різання P_y і режим різання. Основний технологічний час різання складе

$$T_o = L / n S = 200 / 500 \cdot 0,35 = 1,143 \text{ хв.} = 68,6 \text{ с}$$

При цьому робота різання складе:

$$A_p = P_z \cdot v \cdot T_o / 60 = 2000 \cdot 78,5 \cdot 1,14 = 179430 \text{ Дж} = 180 \text{ кДж}$$

В деталь поступає близько 40 % тепла роботи різання:

$$Q_d = 0,4 A_p = 72 \text{ кДж}$$

Звідси при масі деталі $m_d = 3,7 \text{ кг}$ і теплоємності сталі $c_p = 0,5 \text{ кДж/кг}^\circ\text{град}$ підвищення температури деталі при обробці без використання СОЖ становитиме:

$$\Delta t = Q_d / m_d \cdot c_p = 72 / 3,7 \cdot 0,5 = 40^\circ\text{C}.$$

Температурна деформація (збільшення діаметру) деталі становитиме:

$$\Delta d_t = \alpha \cdot d \cdot \Delta t = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 49 \cdot 40 = 0,02352 \text{ мм} = 23,5 \text{ мкм}$$

8) Δ_k – погрішність, що враховує вплив якості поверхні на показання вимірів. При токарній обробці залежно від режиму (S) і радіуса r_p ($r_p = 1-5 \text{ мм}$) при вершині різця висота гребінців може бути визначена за формулою:

$$h = S^2 / 8 r_p = 0,35^2 / 8 \cdot 1 = 0,015 \text{ мм} = 15 \text{ мкм}$$

Для нормальної геометричної точності з урахуванням (3.1) допустиме значення параметра Ra складатиме (при умові, що $R_z = 0,33 T_d$):

$$Ra < 0,25 R_z = 0,25 \cdot 0,33 \cdot 250 = 20 \text{ мкм}$$

де допуск на розмір 30-50 мм для деяких квалітетів складає:

квалітет	IT12	IT11	IT10	IT9	IT8
допуск T_d	250	160	100	62	39

9) Помилками виконавця ігноруємо

Приймаючи ризик $P=1\%$, коефіцієнт ризику $K_p = 2,57$ і значення $\lambda = 0,111$, розраховуємо сумарну погрішність:

$$\Delta_\Sigma = 2,57 \sqrt{0,11(15^2 + 20^2 + 30^2 + 100^2 + 24^2 + 15^2 + 10^2)} = 95 \text{ мкм}$$

Таким чином, коефіцієнт точності обробки $K_T = \Delta_\Sigma / T_d = 1$ відповідає точності IT10.

4.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Перелік основних факторів, що впливають на точність обробки деталі;
2. Найменування поверхонь, характер обробки, зміст операції і переходів при виготовленні деталі (свій варіант);
3. Оцінку значення коефіцієнту точності обробки однієї з поверхонь деталі на чорновім переході.

4.5. Контрольні питання

1. Які фактори, що діють у технологічній системі під час її роботи, найбільше впливають на точність виготовлення деталей?
2. Як визначаються норми точності металообробних верстатів?
3. Що таке розмірний знос інструменту? Як виглядає типова крива розмірного зносу? У чому різниця між розмірним зношуванням і затупленням різця?
4. Як зменшити вплив розмірного зносу інструменту на точність обробки?
5. Що таке погрішність установки деталі при обробці і як вона визначається?
6. З якої причини з'являються температурні деформації ТС? Як змінюються температурні деформації різця залежно від часу роботи?
7. Які коливання виникають у технологічній системі? Які основні причини появи вібрацій в ТС?
8. Як впливають вібрації на якість обробленої поверхні?
9. Що таке пружні переміщення в технологічній системі й чим вони відрізняються від пружних деформацій її деталей?
10. Що таке жорсткість і податливість технологічної системи і їхня розмірність?
11. З яких погрішностей складається погрішність настроювання технологічної системи?
12. Які основні фактори впливають на шорсткість обробленої поверхні?
13. Що таке якість поверхневого шару й чим вона характеризується?

Практичне заняття №5. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ПРИПУСКІВ

Мета заняття: 1) ознайомитись з факторами, що впливають на величину припусків; 2) набути практичних навиків з розрахунку припусків, операційних розмірів при обробці деталей і їх допусків, навчитись розраховувати точність обробки.

5.1. Загальні положення

Припуск на обробку поверхонь деталі може бути призначений за довідковими таблицями, що приводяться в технологічних довідниках і відомчих керівних матеріалах, або на основі розрахунково-аналітичного методу визначення припусків.

Таблиці дозволяють призначати припуски незалежно від технологічного процесу обробки деталі і умов його здійснення і тому в загальному випадку є завищеними, містять резерви зниження витрат матеріалу і трудомісткості виготовлення деталі, у них зазвичай відсутні дані для визначення припусків на перший перехід.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на обробку базується на аналізі чинників, що впливають на припуски попереднього і виконуваного переходів технологічного процесу обробки поверхні. Значення припуску визначається методом диференційованого розрахунку за елементами, що складають припуск. Він передбачає розрахунок припусків за всіма послідовно виконуваними технологічними переходами обробки даної поверхні деталі (проміжні припуски), їх підсумовування для визначення загального

припуску на обробку поверхні і розрахунок проміжних розмірів, що визначають положення поверхні, і розмірів заготовки. Розрахунковою величиною є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення похибок обробки і дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході, і компенсації похибок, що виникають на виконуваному переході.

Обмежимося розглядом припусків тільки для поверхонь обертання (валів).

Мінімальний припуск (на дві сторони) на кожний з переходів розраховують як:

$$2 z_{i \min} = 2 \left(R z_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (5.1)$$

де $R z_{i-1}$ – висота нерівностей, що залишилися від попереднього переходу, мкм;
 h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отримана на попередньому переході (кірка ливарна, знеуглецьований або наклепаний шар), мкм;

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь від правильної форми (викривлення, ексцентричність, відхилення від співвісності, паралельності і ін.), що залишилися після виконання попереднього переходу, мкм;

ε_i – погрішність установки заготовки при виконанні даного переходу, мм або мкм.

Схема розташування припусків при обробці валу наведена на рис. 5.1.

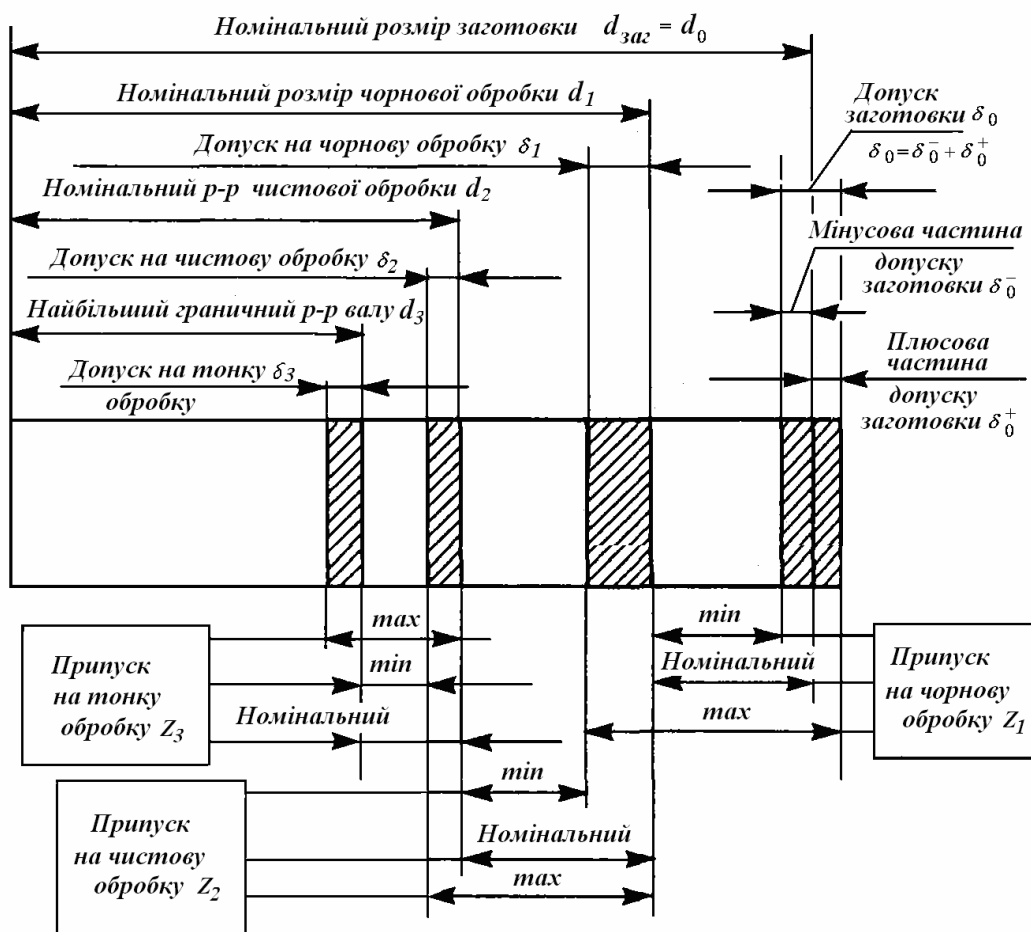


Рис. 5.1. Схема розташування операційних припусків і допусків на різних стадіях обробки для зовнішніх поверхонь (валів)

В загальному виді допуск розміру для зовнішніх поверхонь на переході є:

$$\delta = T_d = d_{\max} - d_{\min} = es_d + ei_d, \quad (5.2)$$

де es_d, ei_d – відповідно верхнє і нижнє відхилення розміру вала (від номіналу);

Як видно зі схеми полів – припусків і допусків для зовнішніх поверхонь обертання проміжні припуски на всіх переходах крім першого визначаються як:

$$\begin{aligned} 2z_{\text{ном } i} &= 2z_{\text{мін } i} + \delta_{i-1} \\ 2z_{\text{макс } i} &= 2z_{\text{ном } i} + \delta_i \end{aligned} \quad (5.3)$$

де δ_{i-1}, δ_i – допуски розмірів на попереднім і виконуваним переходах.

Виходячи з приведеної схеми полів допусків і припусків легко встановлюємо, що номінальні проміжні розміри зв'язані між собою номінальними припусками.

$$d_{\text{ном } i} = d_{\text{ном } i-1} - 2z_{\text{ном } i-1}. \quad (5.5)$$

Проміжні розміри необхідні для оформлення технологічної документації і виконання всіх технологічних розрахунків по встановленню режимів різання. Проміжні розміри встановлюються в порядку, зворотному ходу технологічного процесу обробки цієї поверхні, тобто від розміру готової деталі до розміру заготовки, шляхом послідовного додавання до розміру деталі операційних припусків $z_{i\text{ном}}$. Допуски цих розмірів встановлюються за системою валу залежно від необхідного квалітету. За початковий розрахунковий розмір береться найбільший граничний розмір готової поверхні валу.

Округлення проміжних розмірів проводиться у бік збільшення проміжного припуску до того ж знаку, що і допуск цього розміру.

5.2. Визначення припусків і елементів припусків

Послідовність механічної обробки деталей для досягнення необхідних параметрів точності, шорсткості й глибини дефектного шару наведені в табл. 3.2 і табл. 5.1.

Кожному методу обробки відповідає певний діапазон квалітетів точності розмірів, ступенів точності форми, параметрів шорсткості поверхні і глибини дефектного шару. Для чорнових переходів обробки це в першу чергу пов'язано з точністю вихідної заготовки, для чистових – з точністю виконання попередніх переходів обробки і з умовами здійснення даного переходу.

Точність на кожному наступному переході обробки даної елементарної поверхні зазвичай підвищується на чорнових переходах на два–три квалітети або дві–три ступені точності, на чистових – на один-два квалітети точності розміру або одну-дві ступені точності форми поверхні, що обробляється.

Послідовність обробки для досягнення заданих параметрів точності й шорсткості наведені в табл. 2.1, 3.1, 3.2 і 5.1.

Таблиця 5.1 – Економічна точність і якість поверхонь при токарній обробці

Вид обробки	Rz (Ra), мкм	h, мкм	IT	Технологічні допуски (мкм) на розмір при номінальних діаметрах (від і до), мкм				
				10-18	18-30	30-50	50-80	80-120
Обточування і розточування:								
чорнове	100	120	14	430	520	620	740	870
	50	80	13	270	330	390	460	540
	25	60	12	180	210	250	300	350
напівчистове, одноразове	20	50	11	110	130	160	140	220
	10	25	10	70	84	100	120	140
чистове	6,3 (1,25)	20	9	43	52	62	74	86
	3,2 (0,63)	15	8	27	33	39	46	58
тонке	2 (0,4)	10	7	18	21	25	30	36
	1,6 (0,32)	5	6	11	13	16	19	22

Приклад. Чотириступінчастий вал (рис. 5.2) виготовляється із гарячекатаного сталевого круглого прокату звичайної точності. Прокат перед токарною обробкою був розрізаний на штучні заготовки необхідної довжини ($480 \pm 0,1$) і пройшов операцію підрізування торців і зацентровку.

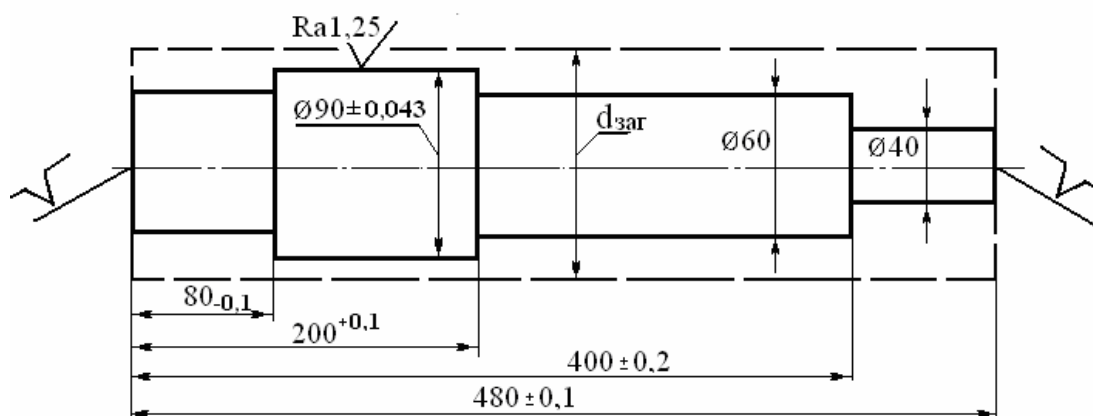


Рис. 5.2. Ескіз вала і заготовки

Шийка вала з найбільшим діаметром ступеня, що визначає діаметр прокату, вибраного як заготівка, після обробки повинна мати розмір $90_{js} 9 \pm 0,043$ мм і шорсткість поверхні Ra 1,25.

Необхідно:

- провести розрахунок проміжних припусків для обробки вказаної шийки аналітичним методом;
- розрахувати проміжні розміри для виконання кожного переходу обробки шийки і визначити діаметр вибраного як заготівка круглого прокату.

Рішення. Маршрут обробки даної шийки може бути призначено наступним:

- Обточування чорнове в центрах, після якого оброблювана поверхня повинна мати точність IT13 і шорсткість поверхні $Ra \leq 12,5$ (Rz50) мкм;

2 Обточування напівчистове з точністю IT11i шорсткістю $Ra \leq 5$ ($Rz20$) мкм;

3 Обточування чистове в центрах, після якого оброблювана поверхня повинна мати точність IT9 з шорсткістю поверхні $Ra \leq 1,25$ ($Rz6,3$) мкм.

Для виконання розрахунку проміжних припусків аналітичним методом необхідно зібрати ряд початкових даних.

Таблиця 5.2 – Якість прокату звичайної точності з допуском $\delta_0 = \delta_0^- + \delta_0^+$, мкм

Сортового					Поперечно-гвинтового			
D, мм	Rz	h	δ_0^+	δ_0^-	Rz	h	δ_0^-	δ_0^+
до 30	125	100	400	500	300	350	700	300
30-80	160	250	500	1100	800	1000	1000	400
80-120	180	270	600	1700	1200	1400	1300	500
120-180	200	300	800	2000	1600	2000	2000	800

Примітка. Загальні допуски $\delta_0 = \delta_0^- + \delta_0^+$ і їх складові прокату підвищеної точності складають 0,75, а високої точності – 0,5 допуску прокату нормальної точності. Якість поверхонь прокату вказана після термічної обробки (нормалізації або покращення).

Глибина дефектного поверхневого шару h_i , отримана на суміжних переходах для нашого випадку може бути прийнятою по даним таблиць 5.1, 5.2.

Розрахунок величин сумарного значення просторових відхилень прокату, підготовленого до токарної обробки (розрізаного на штучні заготовки з підрізаними торцями і зацентрованого), визначається як:

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{кр}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (5.6)$$

де $\rho_{кр}$ – загальна кривизна заготовки, мм;

$\rho_{ц}$ – погрішність зацентровки; зазвичай $\rho_{ц} = 0,25 \delta_0$

$$\rho_{кр} = \Delta_{кр} L, \quad (5.7)$$

де L – відстань від опори (бази) до середини валу, що обробляється;

$\Delta_{кр} = 2,5$ мкм/мм – питоме значення кривизни для прокату звичайної точності.

Таблиця 5.4 – Кривизна профілю $\Delta_{кр}$ сортового прокату (мкм на 1 мм)

Характеристика прокату без правки	Довжина прокату, мм				
	До 120	120-180	180-315	315-400	400-500
– звичайної точності	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
– підвищеної	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
– високої	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Сумарне значення просторових відхилень зменшується з кожним наступним переходом і розраховується так:

$$\rho_1 = 0,1 \rho_0, \rho_2 = 0,05 \rho_1, \rho_3 = 0. \quad (5.8)$$

У нашому випадку для заготовки з прокату при відстані від опори (бази) до середини валу, що обробляється $L = 480/2 = 240$ мм відхилення складуть:

$$\rho_{кр} = 2,5 \cdot 240 = 600 \text{ мкм}$$

$$\rho_{ц} = 0,25 \delta_0 = 0,25(\delta_0^- + \delta_0^+) = (1700 + 600) = 575 \text{ мкм};$$

$$\rho_{заг} = \rho_0 = \sqrt{\rho_{кр}^2 + \rho_{ц}^2} = \sqrt{600^2 + 575^2} = 830 \text{ мкм}.$$

Величина залишкових просторових відхилень для наступних переходів складе:

$$\rho_1 = \rho_{чорн.} = 0,1 \cdot 600 = 60 \text{ мкм}; \rho_2 = \rho_{чист.} = 0,05 \cdot 6 = 3 \text{ мкм}, \rho_3 = 0.$$

Погрішність установки заготовки на верстаті ε_i при виконанні даного переходу:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_{баз.}^2 + \varepsilon_{закр.}^2 + \varepsilon_{пр.}^2}, \quad (5.9)$$

де $\varepsilon_{баз.}$, $\varepsilon_{закр.}$ – відповідно погрішності базування і закріплення деталі і погрішність пристрою $\varepsilon_{пр.}$ в результаті неточності виготовлення і зношування (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Величина припуску, що компенсує погрішності установки деталей при обробці на токарних верстатах /1/

Місце установки	Погрішність установки ε_i , мм
в центрах	0,05-0,10
у трьохкулачковому патроні	0,30-0,40
у патроні із заднім центром	0,20-0,30

Величина припуску, що компенсує погрішності установки деталі в центрах ε_i враховується тільки для першого чорнового переходу (обробка без переустановок).

Розраховуємо мінімальні і номінальні операційні припуски:

$$2z_{\min 3} = 2(Rz_2 + h_2 + \rho_2) = 2(20+50+3) = 146 \text{ мкм} = 0,146 \text{ мм}$$

$$2z_{\min 2} = 2\left(Rz_1 + h_1 + \sqrt{\rho_1^2 + \varepsilon_2^2}\right) = 2(50+80+60) = 380 \text{ мкм} = 0,380 \text{ мм}$$

$$2z_{\min 1} = 2\left(Rz_0 + h_0 + \sqrt{\rho_0^2 + \varepsilon_1^2}\right) = 2\{180+270+(830^2+100^2)^{0,5}\} = 2,570 \text{ мм}$$

$$2z_{\text{ном} 3} = 2z_{\min 3} + \delta_2 = 146 + 220 = 366 \text{ мкм} = 0,366 \text{ мм}$$

$$2z_{\text{ном} 2} = 2z_{\min 2} + \delta_1 = 380 + 540 = 920 \text{ мкм} = 0,920 \text{ мм}$$

$$2z_{\text{ном} 1} = 2z_{\min 1} + \delta_0^- = 2570 + 1700 = 4270 \text{ мкм} = 4,27 \text{ мм}$$

Далі розраховуємо проміжні розміри. За початковий розрахунковий розмір береться найбільший граничний розмір готової шийки. Як уже відмічалось номінальні розміри зв'язані між собою номінальними припусками. При заданім розмірі готової поверхні із формули (5.5) можна визначити проміжні розміри:

$$d_{\text{ном} 2} = d_{\text{ном} 3} + 2z_{\text{ном} 3} = 90,043 + 0,366 = 90,409 \approx 90,410 \text{ мм}$$

$$d_{\text{ном1}} = d_{\text{ном2}} + 2 z_{\text{ном2}} = 90,410 + 0,920 = 91,330 \text{ мм}$$

$$d_{\text{ном0}} = d_{\text{ном1}} + 2 z_{\text{ном1}} = 91,33 + 4,270 = 95,600 \text{ мм}$$

Найменший початковий розмір заготовки, необхідний для зняття припуску:

$$d_{\text{мах0}} = d_{\text{ном0}} + \delta_0^+ = 95,600 + 0,600 = 96,200 \text{ мм.}$$

Розрахунок мінімальних припусків і проміжних розмірів зведено в таблицю.

Таблиця 5.6 – Розрахунок припусків

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Допуск	Значення припусків, мкм		Граничні розміри, мм	
	Rz	h	ρ	ϵ_y		$2z_{\text{мін}}$	$2z_{\text{ном}}$	$d_{\text{мін}}$	$d_{\text{ном}}$
Чистове точіння	6,3	20	-	-	86	146	366	89,957	90,043
Напівчистове	20	50	3	-	220	380	920	90,189	90,410
Чорнове точіння	50	80	60	-	540	2570	4270	90,789	91,330
Заготовка	180	270	830	100	-1700 600			93,899	95,600

5.3. Порядок виконання роботи

Студент отримує у викладача креслення деталі і за планом виконує наступну роботу:

1. Намічає маршрут обробки.
2. Визначає схему базування і закріплення на кожному переході.
3. Визначає точність і чистоту обробки на кожному переході.
4. Визначає елементи припусків і сумарні припуски на переходах.
5. Дані заносяться в таблицю початкової інформації і затверджуються викладачем.

6 Затверджені дані обраховуються за наведеним порядком, переробленим для кожного конкретного випадку самим студентом.

5.4. Зміст звіту

- основні відомості про точність і якість поверхонь при обробці різанням;
- технічні вимоги і призначення маршруту обробки однієї з поверхонь;
- розрахунок елементів припуску одного з переходів обробки заданої поверхні;
- розрахунок розмірів вихідної заготовки при виготовленні деталі.

5.5. Контрольні питання

1. Проміжний припуск, загальний припуск, напуск – визначення;
2. Методи визначення припусків, допуск припуску;

3. Недоліки та переваги кожного методу визначення припусків;
4. Елементи мінімального припуску, порядок їх визначення;
5. Кінцевий граничний розмір деталі.
7. Розрахунковий розмір переходу.
8. Граничні розміри переходу.

Практичне заняття №6.

РОЗРОБКА МАРШРУТУ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ І КАРТИ ЕСКІЗІВ

Мета заняття: 1) вивчити принципи і отримати навички розробки технологічного процесу виготовлення деталей на універсальних металорізальних верстатах; 2) навчитися розробляти маршрути обробки окремих поверхонь (МОП) і всієї деталі (МОД), а також оформляти маршрутну карту.

6.1. Загальні положення

Початковим етапом розробки ТП виготовлення деталей є вибір технологічних методів і маршруту обробки окремих поверхонь і всієї деталі відповідно до технічних вимог по точності і заданій продуктивності. Точність обробки і продуктивність залежать від великої кількості факторів. Великий практичний досвід застосування типових технологічних процесів обумовили появу типових рекомендацій по вибору методів і маршрутів обробки поверхонь залежно від вимог до точності і продуктивності. Наприклад, при обробці зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь різними методами досягаються типові показники точності розмірів і якості поверхні, наведені в таблицях 2.1, 3.1, 3.2.

Кожному методу і переходу обробки відповідає певний діапазон квалітетів точності й шорсткості поверхонь, а також ступенів геометричної точності (некруглості, не циліндричності, непаралельності і т.д.). З іншої сторони, обробку деталей із заданою точністю і якістю поверхонь, можуть забезпечити декілька методів обробки. Всі варіанти, однак, різні по продуктивності і рентабельності. Різним методам обробки потрібні різні ходи для інструментів і режими обробки, при цьому виникають різні зусилля, у них різна продуктивність й витрати енергії.

Ці положення є вихідним при розробці ТП виготовлення деталей і виробництва в цілому, однак для кожного випадку повинні враховуватися й специфічні умови (наприклад, мала жорсткість деталей), виробнича програма, наявність обладнання, кваліфікація виконавців тощо, які визначають вибір способу обробки.

6.1.1. Визначення маршрутів обробки окремих поверхонь (МОП)

Ряд операцій обробки або технологічних переходів, необхідних для одержання кожної поверхні деталі й розташованих у порядку підвищення точності, утворюють маршрути обробки окремих поверхонь. Такі маршрути необхідні також для розрахунку проміжних і загальних припусків на механічну обробку і проміжних розмірів заготовки по технологічним переходам (або операціям) обробки.

Маршрут обробки призначають на підставі технічних вимог креслення деталі й заготовки, починаючи з вибору методу остаточної обробки, що забезпечує задані кресленням деталі точність і стан поверхневого шару. Орієнтуючись на таблиці точності і якості поверхневих шарів при обробці й з огляду на конфігурацію оброблюваної поверхні, матеріал, масу деталі й інші фактори, установлюють для неї метод остаточної обробки.

При цьому можливі кілька видів обробки, що мають приблизно однакові технологічні показники. При відомому способі одержання заготовки з обліком тих же факторів намічають початковий метод обробки в декількох варіантах і вибирають оптимальний. Вибравши остаточної і перший методи обробки поверхні в маршруті, призначають проміжні. При цьому припускають, що кожному методу остаточної обробки може передувати один або декілька можливих попередніх. Наприклад, тонкому розточуванню отвору передують чистове, а чистовому – чорнове розточування або чорнове зенкерування литого отвору. При проектуванні маршруту керуються тим, що кожний наступний, метод обробки повинен бути точніше попереднього на 1–2 квалітети.

Число етапів обробки (попередньої, проміжних, остаточної) залежить не тільки від точності розмірів, наприклад діаметральних, але й від рівня відносної геометричної точності форми поверхні (допусків циліндричності, круглості, профілю поздовжнього перетину, площинності). При високій відносній геометричній точності поверхні деталей проміжних етапів обробки більше, ніж при нормальній.

Менш точна заготовка вимагає більшого числа етапів обробки в порівнянні з більш точною. У заготовок високої точності може бути достатньою однократна обробка поверхонь.

На число етапів обробки може впливати й необхідність виконання термічної обробки, що впливає не тільки з технічних вимог (вказаних на кресленнях), але й з умов поліпшення оброблюваності матеріалу. Термічна обробка визиває деформації заготовки в цілому й жолоблення окремих її поверхонь, тому для зменшення їхнього впливу на точність передбачають додаткову механічну обробку.

Наведемо випадок побудови варіантів маршруту обробки наскрізного отвору з допусками 7 квалітету. Отвір діаметром $42\text{ H}14^{+0,620}$, $R_z = 160\text{ мкм}$ у заготовці із сірого чавуну отримано точним литтям. В деталі потрібно одержати наскрізний отвір діаметром $50\text{ H}7^{+0,030}$, $R_a = 0,63\text{ мкм}$.

Як попередню обробку можна призначити чорнове зенкерування або чорнове розточування, а в якості остаточної, що забезпечує необхідні точність і

шорсткість поверхні – точне розвертання, тонке розточування, чистове шліфування або чистове протягування.

Для розглянутого випадку можливі 24 різних маршруту обробки отвору. Тому маршрут вибирають, оцінюючи трудомісткість варіантів, що зіставляються, по сумарному основному часу обробки й використовуючи для розрахунку нормативні матеріали. Більш точно маршрут можна вибрати при порівнянні сумарної собівартості обробки по його різних варіантах. Рішення цього завдання може бути полегшено порівнянням з рекомендованими типовими маршрутами обробки основних типових поверхонь деталей машин.

Заготовка з литим отвором $D=42^{+0,62}$ (IT14), $R_z = 160$ мкм

Чорнове зенкерування IT11, R_a 5 10 мкм	Чорнове розточування IT12, R_a 25 мкм
--	--

Чистове зенкерування IT9, R_a 2,5 мкм	Чистове розточування IT9, R_a 4 мкм	Попереднє шліфування IT9, R_a 2,5
--	--	--

Розвертання чистове (точне)	Тонке розточування (алмазне)	Чистове шліфування	Чистове протягування
$D = 50$ H7 $^{+0,030}$, $R_a \leq 0,63$ мкм			

Число варіантів можна зменшити з урахуванням деяких обставин, наприклад:

а) можливість обробки даної поверхні на одному верстаті за кілька послідовних переходів (зниження погрішності обробки й часу на переустановку заготовок);

б) обмеження по застосуванню інших методів обробки через недостатню жорсткість заготовки або через її конфігурацію;

в) необхідність обробки даної поверхні разом з іншими поверхнями заготовки (наприклад, для досягнення більшої точності їхнього взаємного розташування);

г) обмеження по стабільності точності розмірів, що витримуються в умовах крупносерійного й масового виробництва – розточування отворів дає більше стабільні результати точності діаметральних розмірів, чим внутрішнє шліфування отворів, у свою чергу, розвертання отворів перевершує по цьому показнику розточування різцем;

д) необхідність забезпечення заданої продуктивності також є обмежником застосування тих або інших видів і методів обробки, так протягування отворів найбільш продуктивне і не вимагає високої кваліфікації виконавців у порівнянні з іншими методами обробки;

е) обмеження на види й методи механічної обробки вносить і термічна обробка матеріалу заготовки, наприклад загартування шийок заготовки вала приводить до різкого збільшення твердості поверхневого шару й виключає, як правило, обробку лезовим інструментом.

6.1.2. Складання маршруту обробки деталі (МОД)

Складання маршруту має на меті дати загальний план обробки заготовок, намітити зміст операцій технологічного процесу, вибрати тип устаткування, ріжучий і вимірювальний інструмент. При цьому з декількох можливих варіантів обробки необхідно вибрати один, що забезпечує найбільш економічне рішення. Намічаючи технологічний маршрут виготовлення деталі, необхідно дотримуватися наступних правил:

- використовувати по можливості стандартний ріжучий і вимірювальний інструмент;
- обробляти найбільшу кількість поверхонь деталі за одну установку;
- у першу чергу слід обробити поверхні, які будуть базовими для наступних операцій чи переходів;
- чим точнішою повинна бути поверхня, тим пізніше вона повинна оброблятися;
- не рекомендується сполучення чорнової й чистової обробок немірним інструментом на тому самому верстаті.

З урахуванням зазначених вимог може бути рекомендована наступна схема послідовності операцій процесу механічної обробки:

- послідовність обробки залежить від системи проставлення розмірів, тому у початок маршруту виносять обробку поверхні, щодо якої на кресленні координоване більше число інших поверхонь;
- обробка поверхонь, що утворюють технологічні бази для всіх наступних операцій;
- чорнова обробка основних поверхонь деталі (підрізання торців і центрування валів, обточування, свердління, зенкерування чи розточування отворів, нарізання зубів і шліців, фрезерування, стругання й протягування поверхонь);
- чистова обробка основних поверхонь деталі (при обробці на одному верстаті багатьох поверхонь можна сполучати чорнові й чистові операції);
- чорнова й чистова обробка другорядних поверхонь (свердління й зенкерування малих отворів, зняття фасок, виправлення центрів, нарізання різьб, фрезерування площадок, поглиблень і лисок);
- термічна обробка поверхонь деталі, якщо вона передбачена кресленням;
- виконання оздоблювальних операцій по основних поверхнях (попереднє й чистове шліфування, тонке розточування, чистове розвертання чи протягування);
- виконання доводочних операцій по основних поверхнях (шевінгування, хонінгування, притирання, суперфініш, доводка);
- остаточний контроль.

Викладений принцип побудови маршруту, однак, не у всіх випадках є обов'язковим і повинен враховувати наявність обладнання і специфіку виробництва.

Число послідовних методів обробки (і устаткування) визначає число і послідовність операцій. Число послідовно діючих інструментів або режимів обробки в одній операції визначає число переходів для обробки даної поверхні.

Визначивши число переходів для всіх операцій обробки, отримують загальне мінімальне число переходів, необхідне для обробки даного виробу з необхідною точністю, тобто мінімальний технологічний маршрут обробки.

В одиничному виробництві одну операцію, по можливості, виконують на одному робочому місці. У серійному й масовому виробництві економічно вигідніше процес розбивати на кілька операцій, наприклад, обточування вала з різних кінців виконують на різних верстатах.

Технологічний процес виготовлення деталі оформляється документами, передбаченими єдиною системою технологічної документації (ЕСКД). Основними видами технологічної документації є:

1 *Маршрутна карта*. Документ, що містить опис технологічного процесу по всіх операціях у технологічній послідовності із вказівкою устаткування і оснащення;

2 *Операційна карта*. Документ, що містить опис операції (операцій) з розчленовуванням її по переходах, із вказівкою режимів роботи, розрахункових норм і трудових нормативів;

3 *Карта ескізів і схем*. Документ, що містить графічну ілюстрацію технологічного процесу виготовлення виробу й окремих його елементів.

6.2. Розробка маршрутної технології

Маршрутний опис ТП зазвичай є основним в одиничному й дрібносерійним виробництвах і супровідним (додатковим) в інших типах виробництв.

Вихідними даними для розробки маршрутної технології являються:

- креслення деталі і заготовки з технічними вимогами,
- раніше встановлений тип виробництва,
- раніше проведене відпрацювання технологічності конструкції деталі;
- попередньо вибрані маршрути (плани) обробки окремих поверхонь,
- раніше обрані технологічні бази з попередньо наміченим планом обробки заготовки.

Уточнення найменувань й змісту операцій механічної обробки дозволяє правильно вибрати верстати з наявного парку. Вибір типу верстата визначається можливістю забезпечити певне формоутворення і виконання технічних вимог по точності форми, розташування й шорсткості поверхонь. При виборі верстатів враховують наступні фактори:

1) відповідність основних розмірів верстата габаритним розмірам заготовки;

2) відповідність продуктивності верстата річній програмі випуску деталей;

3) можливість повного використання верстата як за часом, так і по потужності;

- 4) найменша собівартість обробки (орієнтовна або порівняльна);
- 5) відпускна ціна верстата і необхідність використання наявних верстатів.

До технологічного обладнання для виконання технологічного процесу із заданою продуктивністю і точністю вибирається технологічне оснащення – інструмент, пристрої тощо.

Розробка маршруту – складна задача з великим числом варіантів її рішення. У цілому розробка маршруту виготовлення деталі повністю відповідає загальній послідовності й принципам ухвалення технологічного рішення.

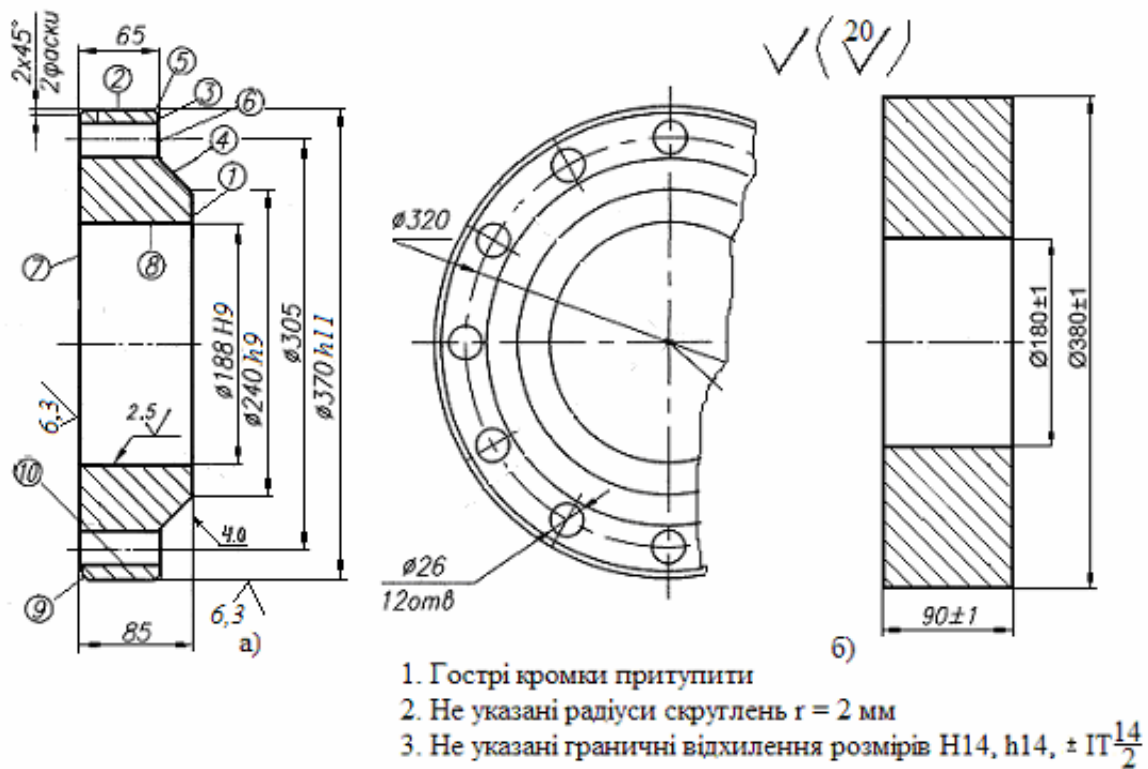


Рис. 6.1. Ескіз фланця і заготовки

Приклад. На рис. 6.1. поданий ескіз фланця з розмірами, та переліком поверхонь які обробляються і ескіз заготовки з трубного прокату, відрізаної з припусками на обробку.

Розробити маршрут обробки деталі, карту ескізів, вибрати засоби виробництва і оснащення.

6.2.1. Вибір маршруту і методів обробки поверхонь (МОП)

Складання маршрутної карти. Мета розробки маршрутної карти – дати загальний план обробки заготовки, намітити зміст операцій технологічного процесу і вибрати тип обладнання. Маршрут обробки деталі складається виходячи з умов раціональної послідовності, враховує конструктивні та технологічні особливості обробки деталі в заданих виробничих умовах. У маршрутній карті в технологічній послідовності, починаючи з заготовчої, вказують всі операції. Порядкові номери операцій прийнято нумерувати

числами арифметичної прогресії 005, 010, 015 і т.д., заготівельну операцію прийнято нумерувати – 000. Далі за номером операції слід її коротке найменування. Для отримання заданої деталі доцільно провести токарну і свердлильну операції.

Маршрутну карту представимо у вигляді таблиці (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Маршрутна карта механічної обробки деталі

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
000	Заготівельна	Токарний верстат 1Д63
005	Токарна	Токарний верстат 1К62
010	Свердлильна	Свердлильний верстат 2А13

Методи обробки згідно технічних вимог зведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Методи обробки поверхонь фланця

№ поверхні	Види поверхонь	Технічні вимоги		Методи обробки поверхонь
		ІТ	Ra	
1	Торцева	9	4	Чистове точіння
2	Зовнішня циліндрична	11	6,3	Напівчистове точіння
3	Торцева	14	20	Чорнове точіння
4	Зовнішня конічна	14	20	Чорнове точіння
5	Фаска	14	20	Чорнове точіння
6	Торцева	14	20	Проточка риски
7	Торцева	11	6,3	Напівчистове точіння
8	Внутрішня циліндрична	9	2,5	Чистове точіння
9	Фаска	14	20	Чорнове точіння
10	Отвір	14	20	Свердління

Розробка маршруту обробки деталі (МОД) і карти ескізів. Всю обробку поверхонь фланця можна виконати на токарному та вертикально-свердлильному верстатах.

Карта ескізів для кращого розуміння змісту переходів містить графічну ілюстрацію ТП виготовлення окремих елементів виробу. Нижче наведена карта ескізів для основних переходів і операцій обробки.

005 Токарна операція:

Установ А (рис. 6.2, а) – перший установ заготовки на стискні губки з упором в торці кулачків патрона (чорнова база – комплект з установочної, подвійної опорної і опорної баз). Виконати наступні переходи:

1 Підрізати торець, поверхня 7 ($L \sim (380 - 180)/2 = 100$ мм);

2 Розточити отвір, поверхня 8, $\varnothing = 180$ мм ($L = 90$).

Установ Б (рис. 6.2, б) - другий установ на розтискні губки, базування по внутрішньому діаметру з упором в торець кулачка (чистова база). Виконати наступні переходи:

1 Підрізати торець, поверхня 1 ($L \sim (380 - 180)/2 = 100$ мм

2 Обточити поверхню 2 ($\varnothing = 370$ мм, $L = 90$);

3 Підрізати торець, поверхня 3 ($L \sim (370 - 305)/2 = 33$ мм на глибину 20 мм

- 4 Проточити конічну поверхню 4 ($L \sim (305 - 240)/2 = 33$ мм)
- 5 Проточити фаску, поверхня 5, $\varnothing = 370$ мм, $2 \times 45^\circ$;
- 6 Проточити риски під розмітку отворів на $\varnothing = 320$ мм, поверхня 6, глибина 1 мм.

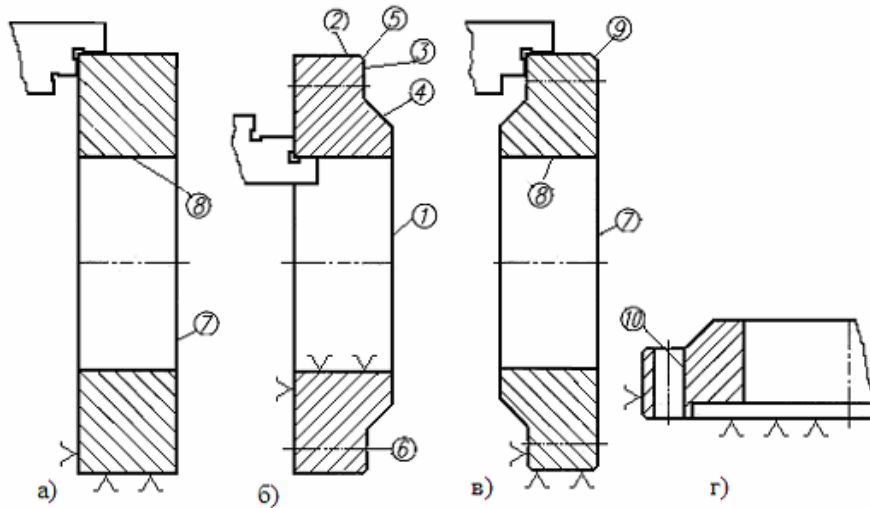


Рис. 6.2. Карта ескізів обробки фланця

Установ В (рис. 6.2, в) – третій установ на стискні губки з упором в торці кулачків патрона (чистова база). Виконати наступні переходи:

- 1 Підрізати торець, поверхня 7, ($L \sim (370 - 185)/2 = 55$ мм);
- 2 Проточити фаску, поверхня 9, $\varnothing = 370$ мм, $2 \times 45^\circ$;
- 3 Розточити отвір, поверхня 9, $\varnothing = 188$ мм;

010 Розміточна

Одна установка (рис. 6.2, г), одна позиція. Розмітити і накернити центри для 12 отворів $\varnothing 26$ мм.

015 Свердлувальна операція

Установ А (рис 6.2, г), 12 позицій.

- 1 Свердлити отвори (поверхня 10) спочатку на діаметр $\varnothing = 12$ мм, (12 позицій);

2. Розсвердлити отвори на діаметр $\varnothing 26$ мм (12 позицій);

3. Зняти фаски (гострі кромки зенківкою - 12 позиції);

Установ Б

- 1 Зняти фаски (гострі кромки - 12 позицій);

020 Контрольна

Контролювати розміри деталі згідно технічних вимог

Вибір верстатів, пристроїв та інструменту

Верстати:

1. Токарний верстат 16K20;
2. Вертикально свердлильний верстат;
3. Слюсарний верстат.

Пристрої:

1. Токарний трьох кулачковий патрон;
2. Затискний устрій фрезерного чи свердлувального верстату;

3. Кондуктор, центровочні призми.

Робочий інструмент:

1. Різець токарний прохідний упорний (ДСТ 18879);
2. Різець токарний підрізний (ДСТ 18774);
3. Різець токарний розточний (ДСТ 18884).
4. Свердла спіральні зі швидкоріжучої сталі із циліндричним хвостовиком діаметром 12 і 26 мм.
5. Молоток слюсарний;
6. Кернер.

Вимірювальний інструмент:

1. Штангенциркуль ШЦ-400, ДСТ 162;
2. Штихмас мікрометричний МШ 150-1600;
3. Лінійка ЛМ- 500, ДСТ 427;
4. Кутник 90°.

6.3. Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити маршрути механічної обробки деталей, наведених у прикладах.
2. Розробити маршрут механічної обробки по заданому ескізу деталі.
3. Скласти маршрутну карту.

6.4. Зміст звіту

- основні відомості про осьову обробку різанням;
- короткий опис і призначення свердлильного верстата і пристроїв;
- опис робочого і вимірювального інструменту, який використовується.

6.5. Контрольні питання

1. Чим відрізняються визначення "Технологічний процес" і "Технологічна операція"?
2. Який порядок проектування технологічної операції?
3. Які етапи включає в себе маршрут обробки поверхні?
4. Які методи обробка зовнішніх циліндричних поверхонь ви можете назвати?
5. Які методи отримання точних отворів використовують в серійнім виробництві?
6. Які параметри характеризують режим шліфування поверхонь?
7. Як визначається маршрут обробки окремих поверхонь?
8. Яким чином точність заготовок впливає на числа етапів обробки?
9. В яких випадках виникає необхідність виконання термічної обробки?
10. Наведіть варіант маршруту обробки наскрізного отвору діаметром 20 мм по 8 квалітету точності в алюмінієвих поршнях для умов серійного виробництва.

11. Яким чином можна зменшити число варіантів маршрутів обробки?
12. Яких правил необхідно дотримуватися намічаючи технологічний маршрут виготовлення деталі?
13. Обробку яких поверхонь намагаються здійснювати у першу чергу?
14. Які поверхні рекомендується обробляти останніми?
15. Що являє собою маршрутна карта?
16. Чим операційна карта відрізняється від маршрутної?
17. Що являється вихідними даними для розробки маршрутної технології?
18. Що містить в собі карта ескізів і схем?
19. Назвіть число операцій і установ при виготовленні різьбового отвору М12 в корпусній деталі.
20. Якими параметрами відрізняються режими різання при чорновій і чистовій токарній обробці?
21. Яку економічну точність і шорсткість забезпечує чистова токарна обробка?

Практичне заняття №7.

РОЗРОБКА ТП, МК І ОК, ВИБІР ЗТО ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНИЦІ, ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА І ФОРМИ ЙОГО ОРГАНІЗАЦІЇ

Завдання. Розробити лінію (ділянку) виготовлення східчастого вала із програмою випуску 40000 шт./рік.

На заготівельній ділянці можливі наступні методи виробництва заготовок:

1. Рубання. Годиться для прутка діаметром до 15 мм.
2. Відрізання приводними ножівками з кривошипним приводом. Такий метод виробництва має низьку продуктивність і якість (косий зріз).
3. Відрізання на токарно-гвинторізному верстаті. Але у цього методу теж не висока продуктивність.
4. Відрізання дисковою фрезою - продуктивність теж не висока
5. Відрізання тонкими (2-5 мм) абразивними кругами. Такі круги обертаються зі швидкістю 50-70 м/с. Навіть при поперечній подачі на оборот $S_{\text{поп}}$ до 0,05 мм основний час становить близько 10-15 с. Але точність розміру й шорсткість торців невисокі.

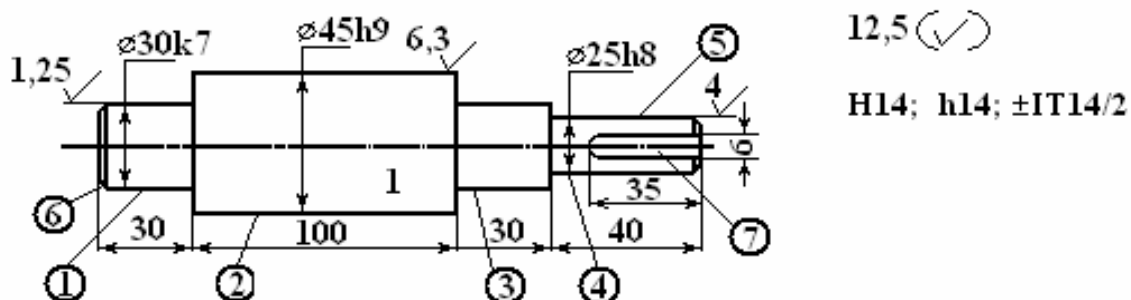


Рис.7.1. Вал

Як відомо, тип виробництва визначається ступеню спеціалізації робочих місць, номенклатурою виробів, формою їх переміщення по робочим місцям. Рівень спеціалізації робочих місць характеризують коефіцієнтом закріплення операцій, тобто кількістю операцій O , що виконуються на одному робочому місці протягом деякого визначеного часу (ГОСТ 3.1121-84):

$$K_{3.O.} = O / P_m, \quad (7.1)$$

де $K_{3.O.}$ – одна з основних характеристик типу виробництва, якщо за робочим місцем незалежно від завантаження закріплено тільки одну операцію $K_{3.O.}=1$ – то виробництво масове, при

$1 < K_{3.O.} < 10$ – крупносерійне,

$10 < K_{3.O.} < 20$ – середньо серійне,

$20 < K_{3.O.} < 40$ – дрібносерійне.

При $K_{3.O.} > 40$ виробництво одиничне.

Розрізняють дві форми організації ТП – групову і потокову.

Групова форма – це групування виробів, технологічного спорядження навколо однієї або кількох технологічних операцій та спеціалізація робочих місць. Основа такої форми – групування виробів за конструктивно-технологічними ознаками, технологічне обладнання в цеху розташовують за його типами, а заготовки обробляють на різних дільницях цеху.

Потокова форма – це спеціалізація кожного робочого місця щодо виконання конкретної операції, узгодження та ритмічне виконання кожної операції ТП на основі такту випуску. Ця форма передбачає розміщення робочих місць у послідовності, яка відповідає маршруту ТП, вона являється більш продуктивною і ефективною. Робота безперервним потоком основана на чіткій ритмічності і синхронізації операцій.

Такт випуску являється основною розрахунковою величиною, на основі якої здійснюється розчленування ТП на окремі операції з точно визначеним штучним часом. Такт випуску τ – це інтервал часу, через який періодично здійснюється випуск одиниці продукції:

$$\tau = 60F / N, \quad (7.2)$$

де F – фонд робочого часу, $F = 4030$ год./рік при роботі у дві зміни,

N – програма випуску.

Для нашого випадку $\tau = 60 \cdot 4030 / 40000 = 6,045$ хв.

Доцільність застосування потокової форми організації виробництва встановлюють на основі зіставлення середнього штучного часу $T_{шт}$ обробки для кількох основних операцій з розрахунковим тактом випуску τ , тобто за числом робочих місць P_m , що випадають на одну операцію:

$$P_m = T_{шт} / \tau, \quad (7.3)$$

При $P_m > 0,6$ вибирають потокову форму, в противному разі – групову. Потокова форма залежно від номенклатури виробів може бути одно – або багато номенклатурною лінією.

При проектуванні ТП на конкретну деталь тип виробництва можна оцінити по коефіцієнту серійності, який для кожного з типів виробництв має своє значення:

$$K_C = \tau / T_{\text{шт}} \quad (7.4)$$

Значення $K_C = 1$ характерно для масового виробництва, в цій випадку $\tau \approx T_{\text{шт}}$. При $K_C = 2 - 10$ – виробництво крупносерійне, обробку деталей ведуть серіями (партиями). При $K_C = 10 - 20$ – середньо серійне, а при $K_C > 20$ – дрібносерійне.

Необхідну кількість верстатів для операцій розраховуємо за формулою:

$$m_i = NT_{\text{шт}} / 60F\eta_{\text{ном}}, \quad (7.5)$$

де $\eta_{\text{ном}} = 0,65 - 0,75$ – нормативний коефіцієнт завантаження устаткування.

Для цього необхідно встановити зв'язок між трудомісткістю виконання операцій і продуктивністю робочого місця при нормативному завантаженні устаткування $\eta_n = 0,65 - 0,75$, тобто визначити штучний час, головною складовою якого являється основний час T_0 – час, протягом якого проводиться зняття стружки. Формула основного (технологічного) часу має наступне вираження:

$$T_0 = Li / nS, \quad (7.5)$$

де L – розрахункова довжина обробки в напрямку подачі, мм;

i – число проходів;

n – число оборотів шпинделя або число подвійних ходів у хвилину;

S – подача на один оборот або на один подвійний хід руху різання, мм.

Основний (технологічний) час можна виразити залежно від швидкості різання із формули

$$v = \pi dn / 1000, \text{ м/хв.}, \quad (7.6)$$

в якій число оборотів шпинделя n становить

$$n = 1000v / \pi d, \text{ об./хв.}, \quad (7.7)$$

де v – швидкість різання, м/хв;

d – діаметр оброблюваної деталі, мм.

Підставляючи значення n у формулу (5), можна одержати

$$T_0 = \pi d Li / vS. \quad (7.8)$$

Розрахункова довжина обробки L включає довжину оброблюваної поверхні, довжину врізання й підходу інструмента, довжину перебігу (виходу) інструмента й загальну довжину проходів при взятті пробних стружок (якщо це передбачається).

Рішення. Враховуючим велику виробничу програму, приймаємо виготовлення мірних заготовок із круглого прокату $\varnothing 50^{+0,5}_{-0}$ мм у довжиною $L = 205 + 5$ мм у допоміжному виробництві, а склад операцій їхньої обробки і ЗТО – наступними:

I. Фрезерно-центрувальна. На фрезерно-центрувальних верстатах здійснюють одночасне фрезерування поверхонь 1 і 2 (рис. 7.2), витримуючи розмір L_d і наступна одночасна обробка центрових отворів (поверхні 3-6)

центровими свердлами. Розміри витримуються згідно стандартів (*1 робоче місце, 1 операція*). База – установочні поверхні центруючих призм.

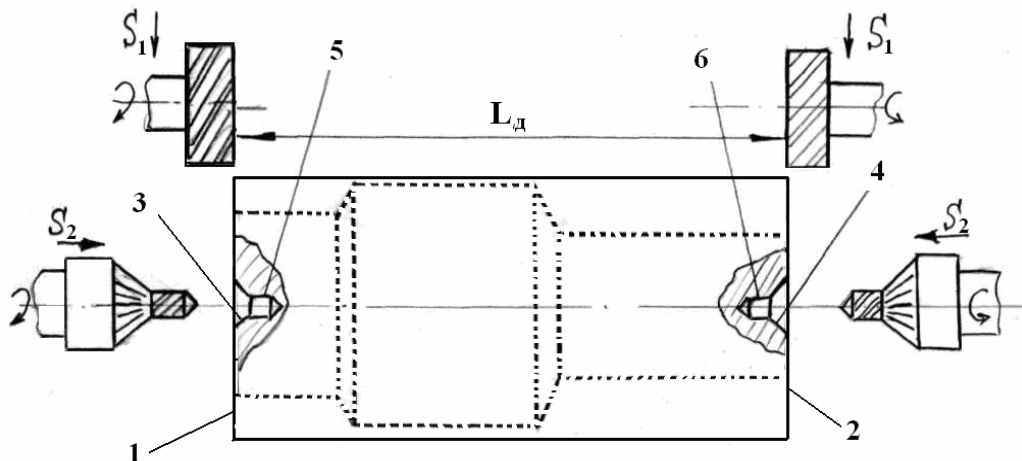


Рис. 7.2. Установка детали на фрезерно-центровальних верстатах (схема)

II. Чорнова токарна обробка в трьохкулачковім патроні спочатку з однієї, а потім – із другої сторони на верстаті нормальної точності. Припуски знімаються за кілька проходів при великій глибині різання (*на робочім місці одна або дві операції*). База – чорнові поверхні заготовки (в патроні) і центр задньої бабки.

III. Токарна чистова обробка в центрах і повідковому патроні за два установи або спочатку з однієї, а потім – з іншої сторони (*1 місце й 1 або 2 операції*). Бази – центрові отвори вала (обточування в центрах).

IV. Токарна тонка на верстаті підвищеної точності або на круглошліфувальнім верстаті (*1 місце й 1- 2 операції*). База – центрові отвори вала.

V. Фрезерна – горизонтально-фрезерний верстат, пазова, шпонкова або дискова фреза (*1 місце й 1 операція*). Бази – центрові отвори вала або призми.

VI. Контрольна (*1 операція і 1 робоче місце*).

Пристрої: призми, притиски, патрон, центри, поводиок.

У такий спосіб на виробництві валів повинно бути 6-8 операцій і 6 робочих місць. У цьому випадку $K_{з.о.} = O/P_m = (6..8)/6 = 1..1,33$, що характерно для масового і крупносерійного виробництва.

Розрахунок операцій. Необхідно визначити штучний час, який у загальному випадку виражається формулою:

$$T_{шт} = (T_0 + T_d)(1 + \alpha^* + \beta + \gamma), \quad (7.9)$$

де T_d – допоміжний час витрачається виконання допоміжних робіт і визначається по нормативних таблицям, графікам і номограмам;

$T_0 + T_d = T_{оп}$ – оперативний час обробки

α^* – відсоток (6%) від оперативного часу, що виражає час технічного обслуговування робочого місця;

β – відсоток (5%) від оперативного часу, що виражає час організаційного обслуговування робочого місця;

γ – відсоток від оперативного часу (4-5%), що виражає час на відпочинок і фізичні потреби.

Прийmemo для спрощення $T_{шт} = 1,25 \cdot T_0$.

005 Фрезерно-центрувальна – фрезерування торців дисковою фрезою с наступним зацентруванням (центрувальними свердлами) відразу із двох сторін.

Установ А (рис. 7.2).

Перехід 1. Фрезерування торців

Розміри фрез $D_{фр} = 100 - 400$ мм, ширина різу – до 5 мм, швидкість різання $v = 10-30$ м/хв., $n = 50-150$ об/хв.; $S_z = 0,01-0,05$ – подача на зуб фрези, $z = 10-100$ в залежності від розміру. При $d \approx 120$ мм $z = 25$ основний час складе

$$T_0^* = \frac{d + L_{вр} + L_{п}}{n S_z z} \cong \frac{60}{60 \cdot 0,02 \cdot 25} = 2 \text{ хв.}$$

Перехід 2. Центрування свердлами $d = 5$ мм з двох сторін (один перехід)

$$T_0^{**} = L / n \cdot S,$$

де $L_0 = 1,5d$; $L_{вр} \approx (d/2) \operatorname{ctg} \varphi + (1..2)$ мм;

$n = 100-200$ об/хв.;

$s = 0,01-0,1$ мм/об.

$$T_0^{**} = 10/160 \cdot 0,06 = 1,04 \text{ хв.} \approx 1 \text{ хв.}$$

Основний час $T_I = 3$ хв. Штучний час $T_{шт} = 1,25 T_0 = 3,75$ хв.

Обточування зовнішніх поверхонь вала здійcнимо за три окремих операції, що відрізняються режимами й інструментом:

- | | | | |
|-----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| – Чорнова | $t = 2-5$ мм; | $s = 0,3-0,5$ мм/об; | $n = 250-400$ об/хв. |
| – Чистова | $t = 0,5-1$ мм; | $s = 0,15-0,2$ мм/об; | $n = 400-600$ об/хв. |
| – Тонка | $t = 0,01-0,1$ мм; | $s = 0,05-0,1$ мм/об; | $n = 600-1000$ об/хв. |

015 Токарна чорнова:

Шийки 1 і 3: припуск $\Delta = (50-32)/2 = 9$ мм - за 3 проходи

$$T_0 = L \cdot i / n \cdot S = ((30+5) \cdot 2 \cdot 3) / (300 \cdot 0,3) = 2,33 \text{ хв.}$$

Шийка 2: припуск $\Delta = (50-47)/2 = 1,5$ мм – за 1 прохід

$$T_0 = 105/300 \cdot 0,35 = 1 \text{ хв.}$$

Шийка 4: $\Delta = (50-27)/2 = 11,5$ мм - за 4 проходи

$$T_0 = (40+5) \cdot 4 / 300 \cdot 0,3 = 2 \text{ хв.}$$

Основний час $T_{II} = 5,33$ хв. Штучний час $T_{шт} = 1,25 T_0 = 6,66$ хв.

020 Токарна чистова – припуск для всіх шийок 1 мм за 1 проход

$$T_0 = T_0 = L / n \cdot S = (200 + 4 \cdot 5) / 0,2 \cdot 600 = 1,83 \text{ хв.}$$

Зняття фасок – $1,5 \times 45^\circ$ 5 штук ≈ 1 хв.

Основний час операції $T_{III} \approx 3$ хв. Штучний час $T_{шт} = 1,25 T_0 = 3,75$ хв.

025 Токарна тонка – для шийок 1 и 3

$$T_{IV} = (60+10)/0,05 \cdot 700 = 2 \text{ хв.}$$

Основний час операції $T_{IV} \approx 2$ хв. Штучний час $T_{шт} = 1,25 T_o = 2,5$ хв.

030 Фрезерна (дисковою фрезою з повздовжньою подачею)

$$T_v = T_o = L/n \cdot s_z \cdot z = (35+5)/50 \cdot 0,02 \cdot 20 = 2 \text{ хв.}$$

Основний час операції $T_{IV} \approx 2$ хв. Штучний час $T_{шт} = 1,25 T_o = 2,5$ хв.

Необхідну кількість верстатів для операцій розраховуємо за формулою:

$$m_i = N \cdot T_{шт.i} / 60 \cdot F \cdot \eta_{ном}$$

1) для фрезерно–центрувальної

$$m_1 = 40000 \cdot 3,75 / 60 \cdot 4030 \cdot 0,75 = 0,83 \quad 1 \text{ верстат, 1 робоче місце}$$

2) для чорної токарної

$$m_2 = 40000 \cdot 6,66 / 60 \cdot 4030 \cdot 0,7 = 1,47 \quad 2 \text{ верстати, 2 робочих місця}$$

3) для чистової токарної

$$m_3 = 40000 \cdot 3,75 / 60 \cdot 4030 \cdot 0,75 = 0,83 \quad 1 \text{ верстат, 1 робоче місце}$$

4) для тонкої токарної

$$m_4 = 40000 \cdot 2,5 / 60 \cdot 4030 \cdot 0,75 = 0,55 \quad 1 \text{ верстат, 1 робоче місце}$$

5) для фрезерної

$$m_5 = 40000 \cdot 2,5 / 60 \cdot 4030 \cdot 0,75 = 0,55 \quad 1 \text{ верстат, 1 робоче місце}$$

6) для контрольної операції також приймаємо 1 робоче місце.

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.} = 7/6 = 1,17$ – що характерно для крупно серійного виробництва.

$$\text{Такт випуску } \tau = 60F / N = 60 \cdot 4030 / 40000 = 6,045 \text{ хв.}$$

Коефіцієнт серійності у розрахунку на саму трудомістку операцію, штучний час якої на двох робочих місцях $T_{шт}/2 = 3,33$ хв

$$K_c = \tau / T_{шт} = 6,045 / 3,33 = 1,81 \text{ – крупно серійне.}$$

Число робочих місць

$R_m = T_{шт} / \tau = 0,55$ доцільна групова форма виробництва, а при незначнім удосконаленні – $R_m = 0,6$ – потокова.

Практичне заняття №8.

ВИВЧЕННЯ МЕТОДУ ПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ДЛЯ БЕСПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ

Мета заняття: практичне ознайомлення з методом повної взаємозамінності при розрахунку лінійного розмірного ланцюга.

8.1. Короткі теоретичні відомості

Одним з основних показників якості машини є її точність. Точність машини характеризується величиною відхилення двох її параметрів:

- відносного руху виконавчих органів;
- відносного положення виконавчих поверхонь деталей і механізмів.

Параметри відносного руху визначаються *кінематичними зв'язками*, закладеними в конструкції машини. Так, наприклад, для нарізання різьби на деталі, що обробляється на токарно-гвинторізному верстаті, необхідно, щоб поверхня різцетримача переміщувалась на строго задану величину при кожному обороті деталі. Це досягається тим, що в процесі різання беруть участь всі деталі, що є ланками відповідного кінематичного ланцюга. Кінематичні зв'язки зображуються за допомогою кінематичних схем.

Відносне положення виконавчих поверхонь деталей і механізмів визначається розмірами, що належать цілому ряду деталей. Такий вид зв'язку деталей називається *розмірним зв'язком*. Розмірний вид зв'язку ділиться на два підвиди: розміри, що визначають відстані й розміри, що визначають повороти виробу.

Всі розміри, що зв'язують виконавчі поверхні, включаючи й розмір, безпосередньо з'єднуючий ці поверхні, утворять замкнутий контур. Виходячи із цього, розмірний вид зв'язку можна представити у вигляді схеми (рис. 8.1).

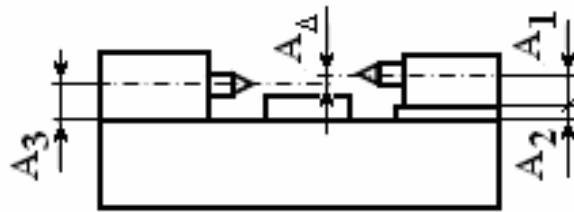


Рис. 8.1. Розмірний ланцюг

Одним із засобів визначення раціональних допусків, що забезпечують раціональну обробку деталей і складання машин, є розрахунок і аналіз розмірних ланцюгів.

Сукупність розмірів, розташованих по замкнутому контуру, що визначають взаємне розташування поверхонь або осей поверхонь однієї деталі або декількох деталей складального з'єднання називається розмірним ланцюгом. Розміри, що входять у розмірний ланцюг, називаються ланками.

Замикаючою називають ланку розмірного ланцюга, що є *вихідною* при постановці задачі або яка отримується *останньою* в результаті її рішення. В замикаючій ланці полягає сенс розв'язуваної задачі. Ця ланка безпосередньо зв'язує поверхні або осі деталей, відносно розташування яких необхідно забезпечити або виміряти. Інші ланки ланцюга називаються *складовими*.

Залежно від впливу на величину вихідної або замикаючої ланки складові ланки підрозділяються на ті, що збільшують і ті, що зменшують. Ланка, зі збільшенням якої відбувається збільшення вихідної або замикаючої ланки, називається *збільшуючою* і навпаки, ланка, зі збільшенням якої відбувається зменшення вихідної або замикаючої ланки, називається такою, що зменшує, або *зменшуючою*.

Розмірні ланцюги бувають плоскі й просторові. У плоских розмірних ланцюгах усі ланки розташовані в одній площині, у просторових – хоча б одна ланка не лежить у площині інших ланок.

При розрахунку й аналізі розмірних ланцюгів існують *дві задачі*: пряма й зворотна.

Пряма задача полягає у визначенні номінальних розмірів, координат середин полів допусків і граничних відхилень складових ланок по заданим аналогічним значенням вихідної ланки. Дане завдання є проектним й не має однозначного рішення.

Зворотна задача полягає у визначенні номінального розміру, координати середини поля допуску й граничних відхилень замикаючої ланки по заданим аналогічним значенням складових ланок. Зворотна задача є перевіркою, зазвичай вирішується в процесі складання з'єднань й має однозначне рішення.

Залежно від методу досягнення необхідної точності складання розрахунок розмірного ланцюга може проводитися наступними *методами*:

- *повної взаємозамінності* (на максимум-мінімум);
- *неповної взаємозамінності* (імовірнісним методом);
- *групової взаємозамінності* (при селективному складанні);
- *регулюванням* або *пригонкою* розмірів при складанні.

Метод повної взаємозамінності забезпечує досягнення необхідної точності замикаючої ланки розмірного ланцюга шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або зміни їхніх значень. Використання даного методу доцільно в умовах досягнення високої точності при малому числі ланок розмірного ланцюга й при досить значнім числі виробів, що підлягають складанню.

При роботі із принципу повної взаємозамінності виконують розрахунок розмірних ланцюгів **на максимум і мінімум**, що враховує тільки граничні відхилення розмірів ланок і самі несприятливі їхні сполучення.

При рішенні зворотної задачі використовується рівняння розмірного ланцюга, що виражає залежність номінального розміру замикаючої ланки від номінальних розмірів складових ланок:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_i^{\uparrow} - \sum_{n+1}^{m-1} A_i^{\downarrow}, \quad (8.1)$$

де A_{Δ} – замикаюча ланка;

$A_i^{\uparrow}$ – збільшуюча ланка;

$A_i^{\downarrow}$ – ланка, що зменшує або зменшуюча;

m – загальна кількість ланок ланцюга, включаючи замикаючу;

n – кількість збільшуючих ланок.

Найбільший граничний розмір замикаючої ланки лінійного розмірного ланцюга:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n A_{i \max}^{\uparrow} - \sum_{n+1}^{m-1} A_{i \min}^{\downarrow}. \quad (8.2)$$

Найменший граничний розмір замикаючої ланки лінійного розмірної ланцюга:

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n A_{i \min}^{\uparrow} - \sum_{n+1}^{m-1} A_{i \max}^{\downarrow}. \quad (8.3)$$

Різниця найбільшого і найменшого граничних розмірів замикаючої ланки визначають величину його допуску TA_{Δ} , який виражається у виді:

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min}. \quad (8.4)$$

Підставивши в (8.4) вирази (8.2) і (8.3) і зважаючи на те, що допуск складових ланок $TA_i = A_{i\max} - A_{i\min}$, отримаємо рівняння для визначення допуску замикаючої ланки лінійного розмірного ланцюга:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i. \quad (8.5)$$

Верхнє граничне відхилення замикаючої ланки визначається наступним чином:

$$ESA_{\Delta} = A_{\Delta\max} - A_{\Delta}, \quad (8.6)$$

або

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n ESA_i^{\uparrow} - \sum_{i=1}^{m-1} EIA_i^{\downarrow}, \quad (8.7)$$

Нижнє граничне відхилення замикаючої ланки визначається наступним чином:

$$EIA_{\Delta} = A_{\Delta\min} - A_{\Delta}, \quad (8.8)$$

або

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n EIA_i^{\uparrow} - \sum_{i=1}^{m-1} ESA_i^{\downarrow}, \quad (8.9)$$

Граничні відхилення замикаючої ланки можуть бути визначені також і за значеннями *координати середини поля допуску* $EсA_{\Delta}$. Координатою середини поля допуску i -ї ланки $EсA_i$ називається відстань від середини поля допуску розміру цієї ланки до його номінального значення:

$$EсA_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (8.10)$$

граничні відхилення:

$$ESA_i = EсA_i - \frac{TA_i}{2}, \quad (8.11)$$

$$EIA_i = EсA_i - \frac{TA_i}{2}. \quad (8.12)$$

Аналогічно для замикаючої ланки:

$$EсA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n Eсс_i^{\uparrow} - \sum_{i=1}^{m-1} Eсс_i^{\downarrow}, \quad (8.13)$$

$$ESA_{\Delta} = EсA_{\Delta} - \frac{TA_{\Delta}}{2}, \quad (8.14)$$

$$EIA_{\Delta} = EсA_{\Delta} - \frac{TA_{\Delta}}{2}. \quad (8.15)$$

Рішення *прямої* задачі полягає у визначенні граничних відхилень всіх складових ланок по відомим величинам граничних відхилень вихідної ланки ESA_{Δ} і EIA_{Δ} . Дане завдання може бути вирішена одним з двох розглянутих далі способів.

Спосіб рівних допусків застосовують, якщо складові ланки розмірної ланцюга мають один порядок (входять в один інтервал розмірів) і можуть бути виконані з приблизно однаковою економічною точністю. У цьому випадку

умовно можна прийняти $TA_1 = TA_2 = TA_j = T_{cp} A_j$. Тоді з виразу (8.4) слідує, що:

$$T_{cp} A_j = \frac{TA_{\Delta}}{(m-1)}.$$

Отриманий середній допуск коригують для деяких складових розмірів в залежності від їх значень, конструктивних вимог і технологічних можливостей виготовлення, але так, щоб виконувалася умова:

$$TA_{\Delta} \geq \sum TA_j. \quad (8.16)$$

При цьому застосовують стандартні поля допусків, бажано переважні. Спосіб рівних допусків простий, але недостатньо точний, так як коректування допусків складових розмірів довільне. Даний спосіб не може бути застосований для розмірних ланцюгів, величини ланок яких розташовані в різних інтервалах розмірів.

Спосіб допусків одного квалітету полягає в тому, що розміри складових ланок розмірного ланцюга виконуються по одному квалітету точності і допуски на ці розміри залежать від номінальних розмірів ланок.

За вибраним квалітетом встановлюють граничні відхилення на розміри складових ланок, причому на розміри збільшуючих ланок їх визначають як для розмірів що охоплюють (основних отворів) з полем допуску Н, а на розміри зменшуючих ланок – розміри що охоплюються (основних валів) з полем допуску h. Після чого перевіряють виконання умови (8.14).

У тому випадку, якщо умова не виконується, одна з ланок вибирається в якості регулюючої ланки і на розмір цієї ланки встановлюється квалітет точності менше прийнятого для всіх інших ланок. Потім проводиться повторна перевірка.

Табл. 8.1 – Значення допусків (мкм) для деяких квалітетів і розмірів

Інтервал розмірів, мм	Квалітет									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3-6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300
6-10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360
10-18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430
18-30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520
30-50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620
50-80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740
80-120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870
120-180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
180-250	20	29	46	72	115	185	300	460	720	1150

8.2. Приклад виконання розрахунку

8.2.1. Спосіб допусків одного квалітету

а) Зворотна задача. Визначити номінальне значення і граничні відхилення розміру замикаючої ланки розмірного ланцюга, складеної для роз'ємного корпусу зубчастої передачі (рис. 2, а): $A_1 = 85H11$ мм, $A_2 = 40H11$ мм, $A_3 = 10h11$ мм, $A_4 = 100d11$ мм, $A_5 = 10 h11$ мм.

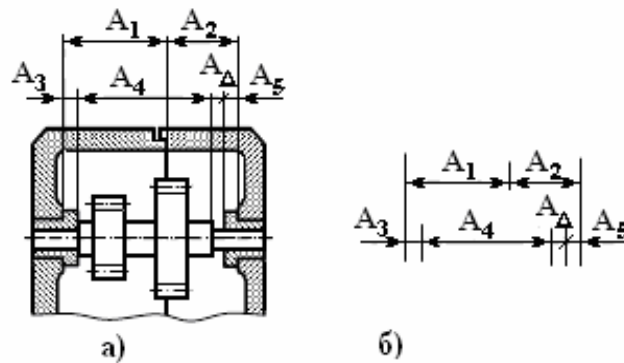


Рис. 8.2: а) – Ескіз складальної одиниці; б) – розмірний ланцюг

Рішення. 1. Складаємо розмірний ланцюг заданої складальної одиниці (рис. 8.2, б). У заданого розмірного ланцюга ланки A_1 і A_2 є збільшуючі, A_3 , A_4 і A_5 – зменшуючі.

2. Визначаємо граничні відхилення всіх складових ланок, мм:

$$A_1 = 85H11^{+0.220}; A_2 = 40H11^{+0.160}; A_3 = 10h11_{-0.090};$$

$$A_4 = 100d11_{-0.120}^{-0.340}; A_5 = 10h11_{-0.090}$$

3. Складаємо рівняння розмірного ланцюга (8.1) і визначаємо номінальний розмір останньої у ланки:

$$A_{\Delta} = (85 + 40) - (10 + 100 + 10) = 5 \text{ мм.}$$

4. Визначаємо найбільші і найменші значення розмірів складових ланок і їх допуски:

$$A_{1\max} = 85,22 \text{ мм}; \quad A_{1\min} = 85,0 \text{ мм}; \quad T_{A1} = 220 \text{ мкм};$$

$$A_{2\max} = 40,16 \text{ мм}; \quad A_{2\min} = 40,0 \text{ мм}; \quad T_{A2} = 160 \text{ мкм};$$

$$A_{3\max} = 10,0 \text{ мм}; \quad A_{3\min} = 9,91 \text{ мм}; \quad T_{A3} = 90 \text{ мкм};$$

$$A_{4\max} = 99,88 \text{ мм}; \quad A_{4\min} = 99,66 \text{ мм}; \quad T_{A4} = 20 \text{ мкм};$$

$$A_{5\max} = 10,0 \text{ мм}; \quad A_{5\min} = 9,91 \text{ мм}; \quad T_{A5} = 90 \text{ мкм.}$$

5. Обчислюємо найбільше і найменше значення розміру замикаючої ланки за виразами (8.2) і (8.3):

$$\begin{aligned} A_{\Delta\max} &= (A_{1\max} + A_{2\max}) - (A_{3\min} + A_{4\min} + A_{5\min}) = \\ &= (85,22 + 40,16) - (9,91 + 99,66 + 9,91) = 5,90 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\Delta\min} &= (A_{1\min} + A_{2\min}) - (A_{3\max} + A_{4\max} + A_{5\max}) = \\ &= (85,0 + 40,0) - (10,0 + 99,88 + 10,0) = 5,12 \text{ мм.} \end{aligned}$$

6. Допуск замикаючої ланки (8.4), (8.5) дорівнює:

$$T_{A\Delta} = A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} = 5,90 - 5,12 = 0,78 \text{ мм или } 780 \text{ мкм};$$

або

$$T_{A\Delta} = T_{A1} + T_{A2} + T_{A3} + T_{A4} + T_{A5} = 220 + 160 + 90 + 20 + 90 = 780 \text{ мкм.}$$

7. Визначимо граничні відхилення розміру замикаючої ланки:

– верхнє граничне відхилення (8.6), (8.7)

$$ESA_{\Delta} = A_{\Delta\max} - A_{\Delta} = 5,90 - 5,0 = 0,90 \text{ мм или } 900 \text{ мкм};$$

– нижнє граничне відхилення (8.8), (8.9):

$$EIA_{\Delta} = A_{\Delta\min} - A_{\Delta} = 5,12 - 5,0 = 0,12 \text{ мм або } 120 \text{ мкм};$$

8. Розрахуємо координати середин полів допусків (8.10), (8.11)

$$EсA_1 = (220 + 0)/2 = 110 \text{ мкм}; EсA_2 = (160+0)/2 = 80 \text{ мкм};$$

$$EсA_3 = (0-90)/2 = -45 \text{ мкм}; EсA_4 = (-120-340)/2 = -230 \text{ мкм};$$

$$EсA_5 = (0-90)/2 = -45 \text{ мкм};$$

$$EсA_{\Delta} = \sum EсA_{ув} - \sum EсA_{ум} = (110 + 80) - (-45 - 230 - 45) = 510 \text{ мкм}.$$

9. Виконаємо перевірку отриманих значень із залежностей (8.12) и (8.13)

$$ESA_{\Delta} = EсA_{\Delta} + TA_{\Delta}/2 = 510 + 780/2 = 900 \text{ мкм};$$

$$EIA_{\Delta} = EсA_{\Delta} - TA_{\Delta}/2 = 510 - 780/2 = 120 \text{ мкм}.$$

$$\text{Відповідь: } A_{\Delta} = 5^{+0,90}_{+0,12} \text{ мм}.$$

б) Пряма задача. Визначити допуски і граничні відхилення лінійних розмірів деталей частини рознімного корпусу зубчастої передачі (рис. 8.2, а) за умови забезпечення зазору A_{Δ} в межах від 5 до 5,75 мм. $A_1 = 85$ мм; $A_2 = 40$ мм; $A_3 = 10$ мм; $A_4 = 100$ мм; $A_5 = 10$ мм.

Рішення. 1. Номінальне значення і допуск вихідної ланки рівні $A_{\Delta} = 5$ мм; $TA_{\Delta} = 750$ мкм.

2. Рішення задачі проводимо способом допусків одного квалітету.

3. Встановлюємо для всіх ланок розмірного ланцюга допуск 11 квалітету, причому для розмірів збільшуючих ланок приймаємо поле допуску H11, а ланок що зменшують - h11:

$$A_1 = 85H11^{+0,220}; A_2 = 40H11^{+0,160}; A_3 = 10h11_{-0,090}; A_4 = 100d11_{-0,340}; \\ A_5 = 10h11_{-0,090}$$

4. Перевіряємо виконання умови (8.14):

$$\sum TA_j = 220 + 160 + 90 + 340 + 90 = 900 \text{ мкм};$$

Умова (8.16) не виконується, по ходу розрахунку отримано, що $TA_{\Delta} < \sum TA_j$.

5. Вибираємо у якості регулюючої ланку A_4 і призначаємо на розмір граничні відхилення з допусками 10 квалітету, тому що цей розмір легко виготовити з більшою точністю:

$$A_4 = 100h10_{-0,140} \text{ мм}.$$

6. Повторна перевірка виконання умови (8.23):

$$\sum TA_j = 220 + 160 + 90 + 140 + 90 = 700 \text{ мкм, т.ч. умова (8.14) виконується}.$$

$$\text{Відповідь: } A_1 = 85H11^{+0,220}; A_2 = 40H11^{+0,160}; A_3 = 10h11_{-0,090}; \\ A_4 = 100H10_{-0,140}; A_5 = 10h11_{-0,090}.$$

8.3. Порядок виконання роботи

1. Для розмірного ланцюга, зображеного на рис. 8.3, визначити номінальне значення, допуск і граничні відхилення замикаючої ланки, взявши вихідні дані номінальних розмірів (табл. 8.2) і граничних відхилень (табл. 8.3) складових ланок відповідно до свого варіанту завдання.

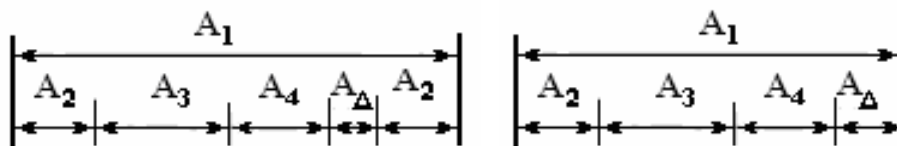


Рис. 8.3. Схема розмірного ланцюга

Таблиця 8.2 – Номінальні розміри ланок ланцюга

№	A ₁ , мм	A ₂ , мм	A ₃ , мм	A ₄ , мм	№	A ₁ , мм	A ₂ , мм	A ₃ , мм	A ₄ , мм
1	250	18	180	30	16	104	9,5	54	26
2	105	15	48	25	17	85	4	53	20
3	85	12	37	20	18	114	8	54	40
4	180	22	80	55	19	202	10,5	90	86
5	245	25	100	90	20	108	8,5	47	40
6	140	32	40	34	21	95	4	56	29
7	205	28	100	44	22	80	5	46	23
8	98	4,5	50	38	23	116	7,5	65	35
9	208	10,5	110	74	24	95	10	44	26
10	78	2,5	50	22	25	92	7	52	24
11	108	5	55	38	26	200	10,5	90	84
12	110	8,5	65	24	27	125	10	78	23
13	175	10	95	55	28	86	4,5	40	33
14	100	8	42	40	29	99	5	54	31
15	95	4,5	52	32	30	82	10,5	30	29

Таблиця 8.3 – Граничні відхилення розмірів ланцюга

№	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	№	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
1	B11	h11	b11	h10	16	H11	d11	b11	h11
2	H11	d11	h10	h10	17	F9	d9	h9	h9
3	D10	d10	h10	h10	18	H11	d11	b11	h11
4	B11	h11	h11	d11	19	H12	h12	b12	h12
5	D9	h10	h9	f9	20	D9	d9	h9	h9
6	H10	d10	h10	h10	21	B11	h11	h11	d11
7	H9	d9	h9	h9	22	B11	h11	h11	d11
8	F9	h9	h9	e9	23	H11	d11	b11	h11
9	D10	f9	h10	h10	24	D9	d9	h9	h9
10	B11	h11	h11	d11	25	H10	d10	h10	h10
11	H11	d11	b11	h11	26	H9	d9	h9	h9
12	H12	h12	b12	h12	27	F9	h9	h9	h9
13	D9	d9	h9	h9	28	H12	b12	h12	h12
14	B11	h11	h11	d11	29	D9	h9	h9	e9
15	H10	d10	h10	h10	30	B11	h11	b11	h11

2. Для цього ж розмірного ланцюга за номінальними розмірами складових ланок (табл. 2) і граничним відхиленням розміру вихідної ланки (табл. 8.4) визначити граничні відхилення і допуски розмірів складових ланок.

8.4. Зміст звіту

Звіт повинен містити такі складові частини:

- 1) Дату, номер практичної роботи, її назву;
- 2) Мету практичної роботи;
- 3) Основні теоретичні положення;
- 4) Сутність роботи:
 - схему розмірного ланцюга, вихідні дані для свого варіанту завдання;
 - рішення зворотної та прямої задач.

Таблиця 8.4 – Граничні відхилення вихідної ланки

№	ESA _Δ , EIA _Δ , мкм	№	ESA _Δ , EIA _Δ , мкм	№	ESA _Δ , EIA _Δ , мкм	№	ESA _Δ , EIA _Δ , мкм	№	ESA _Δ , EIA _Δ , мкм
1	+750	7	+800	13	±350	19	+700	25	±250
2	±350	8	±250	14	±250	20	±250	26	+650
3	±250	9	+700	15	±300	21	±300	27	±250
4	+800	10	±300	16	+600	22	±350	28	+550
5	±450	11	±250	17	+550	23	±250	29	±350
6	±300	12	±350	18	±350	24	+550	30	±300

8.5. Контрольні питання

- 1 Які види зв'язків, закладені в конструкції машин, характеризують її точність?
- 2 Що визначає розмірний вид зв'язків?
- 3 З яких ланок складається розмірний ланцюг?
- 4 Що називається розмірним ланцюгом? Рівняння розмірного ланцюга.
- 5 Що називається ланкою розмірного ланцюга? Початкова і замикаюча ланки.
- 6 У чому відмінність між вихідною (початковою) і замикаючою (останньою) ланкою розмірного ланцюга?
- 7 Які дві основні задачі зустрічаються при розрахунку розмірних ланцюгів?
- 8 У чому полягає сутність методу повної взаємозамінності?
- 9 Як знайти допуск замикаючого розміру.
- 10 Методи розрахунку розмірних ланцюгів.
- 11 Способи розрахунку за методом повної взаємозамінності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. – М.: Высш. Шк. – 536 с.
2. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
3. Ястребова Н.А. и др. Технология компрессоростроения. – М.: Машиностроение, 1987. 336 с.
4. Гусев А.А. и др. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
5. Основы технологии машиностроения. /Под ред. В.С.Корсакова. – М.: Машиностроение, 1974. – 416 с.
6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 1993. 414 с.
7. Справочник технолога–машиностроителя. В 2 т. 4–е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. Т. 1: 656 с.; Т. 2: – 496 с.
8. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.