

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

**ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ
МАШИН**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве
машинобудування»

Кропивницький

2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

**ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ
МАШИН**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве
машинобудування»

Затверджено на засіданні кафедри
«Машинобудування, мехатроніки і
робототехніки»
Протокол № 11 від 29.01.2025 р.

Кропивницький

2025

Технологія обробки типових деталей та складання машин: метод. рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / О. І. Скібінський, Я. О. Скібінський, В. М. Селехова // М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - 124 с.

Укладачі:

Скібінський О.І. – канд. техн. наук, доцент

Скібінський Я.О. – ас.

Селехова В.М. – ас.

Рецензент: Мажара В.А. – канд. техн. наук, доцент

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1	
Аналіз службового призначення виробу та його деталей.....	8
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2	
Оцінка технологічності конструкції виробу.....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3	
Дослідження жорсткості технологічної системи виробничим методом.....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	
Розробка структури та змісту операцій технологічних процесів механічної обробки.....	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5	
Визначення припусків на механічну обробку розрахунково- аналітичним методом при виконанні токарної операції.....	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6	
Дослідження імовірнісного методу досягнення точності складання складальної одиниці.....	48
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7	
Технологічне забезпечення якості обробки окремих поверхонь деталі.....	56
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8	
Дослідження впливу розмірного зношування інструмента на точність обробки при роботі на настроєних верстатах.....	67
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9	
Розрахунок складального розмірного ланцюга при прямій задачі методом повної взаємозамінності.....	76
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10	
Розрахунок технологічного розмірного ланцюга.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	94
ДОДАТОК А.....	96
ДОДАТОК Б.....	100

ДОДАТОК В.....	104
ДОДАТОК Г.....	107
ДОДАТОК Д.....	109
ДОДАТОК Е.....	110
ДОДАТОК Ж.....	112
ДОДАТОК К.....	114
ДОДАТОК Л.....	119
ДОДАТОК М.....	120
ДОДАТОК Н.....	122

ВСТУП

Розвиток техніки, сучасних машин, верстатів та пристроїв, впровадження нових технологій, покращання організації виробництва та праці потребують подальшого вдосконалення підготовки спеціалістів за рахунок підвищення рівня теоретичних і практичних знань, інтенсифікації навчального процесу й покращення виробничої підготовки.

Предметом дисципліни є вивчення технології обробки різних класів деталей та складання машин, опанування практичними навичками та застосування їх для забезпечення проєктної якості виробів, найменшої їх собівартості, запланованого обсягу випуску.

Надзвичайно важливим є зв'язок дисципліни з технологією конструкційних матеріалів та матеріалознавством, теорією різання, технологічними основами машинобудування, теоретичними основами технології виробництва деталей та складання машин, металорізальними верстатами, різальним інструментом та іншими.

Лабораторний практикум має за мету закріплення й поглиблення теоретичних знань, отриманих на лекціях та під час виконання самостійної роботи, а також опанування здобувачами основ проведення експериментів з технології машинобудування.

Методичні рекомендації складені відповідно з навчальним планом та робочою програмою дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» для здобувачів спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування».

Для виконання лабораторних робіт здобувачі повинні заздалегідь вивчити відповідні розділи курсу, вміти вибирати необхідне обладнання та методику вирішення основних технологічних завдань.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи здобувачі повинні ознайомитися з методикою її проведення, вибрати необхідне обладнання та пристрої.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Аналіз службового призначення виробу та його деталей

Мета роботи - ознайомитися та засвоїти принципи формулювання службового призначення, технічних вимог на виготовлення виробу та його деталей.

Загальні відомості

Виріб (машина) – це продукт кінцевої стадії машинобудівного виробництва. Функціональність машини визначається її відповідністю службовому призначенню.

Службове призначення машини – це максимально уточнене і чітко сформульоване завдання, для виконання якого призначена машина. Службове призначення формується замовником під час розробки технологічного процесу виготовлення продукції і уточнюється при оформленні завдання на проектування машини.

Формулювання загальної частини службового призначення не становить труднощів.

Наприклад:

Затискний пристрій призначений для базування та закріплення деталі під час її обробки.

Але формулювання загальної частини службового призначення ще не розкриває конкретного призначення виробу та його технологічні можливості. Необхідно уточнити, для якого верстату призначений цей пристрій, кількість деталей, що одночасно закріплюються, точність базування та інше.

Формулювання службового призначення машини повинне містити крім загального завдання, для виконання якого створюється машина, додаткові умови

і вимоги, які конкретизують і уточнюють це завдання. Таким чином, службове призначення машини повинно складатися з двох частин: загальної і уточнюючої.

До уточнень службового призначення машини відносять:

1. Вичерпні дані про машину:

- найменування;
- галузь використання;
- потужність;
- показники якості.

2. Режими експлуатації машини:

- швидкість;
- продуктивність;
- екологічні показники;
- режими роботи;
- використання енергії;
- економічність;
- надійність;
- довговічність;

3. Додаткові показники:

- вимоги до зовнішнього виду;
- безпека роботи;
- зручність та простота обслуговування;
- рівень шуму;
- ККД;
- ступінь механізації та автоматизації тощо.

На підставі аналізу службового призначення машини формулюють службове призначення складальної одиниці, а потім – службове призначення деталі та технічні вимоги до її виготовлення.

Сукупність якісних показників, що описують службове призначення машини (складальної одиниці та деталі), являють собою технічні умови і норми на приймання готового виробу, які є вихідними даними для конструктора при

проектуванні машини та технолога при розробці технологічних процесів виготовлення деталей та складання вузлів та машини.

Побудова машини здійснюється шляхом з'єднання деталей. Кожна деталь має конкретне службове призначення в машині. За функціями, які виконують різні поверхні деталі, їх можна поділити на чотири види:

1. Виконавчі поверхні – це поверхні або їх сполучення, за допомогою яких машина виконує своє службове призначення.

Наприклад, у токарного верстата – це передній кінець шпинделя, конус пінолі задньої бабки та поверхні різцетримача.

2. Основні бази – поверхні, які визначають положення деталі у виробі.

У вала редуктора – це підшипникові шийки.

3. Допоміжні бази – поверхні, які визначають положення деталей, що приєднуються. У корпусу – це отвори під підшипники.

4. Вільні поверхні – поверхні, які при роботі в машині не контактують із поверхнями інших деталей. Вони лише надають деталям потрібну конструктивну форму.

Порядок проведення роботи

1. Вивчити теоретичні положення аналізу службового призначення вузла, технічних умов і вимог на його виготовлення.

2. Вивчити конструкцію вузла згідно до варіанту (додаток А).

3. Сформулювати загальну частину службового призначення вузла.

4. Сформулювати необхідні уточнення службового призначення вузла.

5. Накреслити ескіз деталі та визначити службове призначення кожної поверхні (на розсуд викладача).

6. Розробити технічні вимоги на виготовлення деталі.

7. Розробити технологічний маршрут обробки кожної поверхні.

8. Оформити звіт з роботи.

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Назва та мета роботи.
2. Вхідні дані для виконання лабораторної роботи (згідно до заданого викладачем варіанту):
 - креслення вузла;
 - специфікація.
3. Службове призначення виробу:
 - найменування;
 - призначення;
 - паспортні дані (комплекс показників і уточнень).
3. Службове призначення складальної одиниці (в разі наявності її в заданому виробі).
4. Ескіз деталі з нумерацією поверхонь (деталь задається викладачем).
5. Службове призначення деталі.
6. Службове призначення конкретних поверхонь деталі (див. таблицю 1.1).
7. Характеристика деталі:
 - технологічний клас;
 - матеріал;
 - тип виробництва;
 - вид заготовки.
8. Технічні вимоги на приймання деталі.
9. Технологічний маршрут механічної обробки деталі.
10. Висновки.

Таблиця 1.1 – Характеристика поверхонь деталі

Номер поверхні	Вид поверхні	Службове призначення	Розмір з відхиленнями	Квалітет точності	Шорсткість, Ra, мкм	Маршрут обробки поверхні
1	2	3	4	5	6	7

Запитання для самоперевірки

1. Поняття виробу.
2. Визначення службового призначення машини.
3. Показники, які відносять до уточнень службового призначення машини.
4. Види поверхонь деталі за функціями, які вони виконують.
5. Технологічні класи деталей.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Оцінка технологічності конструкції виробу

Мета роботи - ознайомитися та засвоїти принципи оцінки технологічності конструкції машини (складальної одиниці) та деталі.

Загальні відомості

Одним з чинників, які суттєво впливають на характер технологічних процесів механічної обробки деталей та складання машин, є технологічність конструкції виробу та його складових частин.

Під час конструювання машини необхідно не тільки забезпечити експлуатаційні вимоги до неї, але й вимоги до найбільш економічного її виготовлення.

Технологічність конструкції виробу полягає в тому, що вона повинна передбачати використання уніфікованих складальних одиниць, стандартизованих та нормалізованих деталей, а також їх елементів (нормалізовані різьби, шпонкові пази, зубці зубчастих коліс, шліцьові з'єднання, центрові отвори, нормалізовані допуски і посадки), мінімальної кількості деталей оригінальної конструкції; мати, по можливості, найбільшу кількість

однойменних деталей, а також стандартних і нормалізованих деталей, які використовуються з попередніх моделей машини.

З типового переліку показників технологічності в кожному конкретному випадку слід приймати мінімальну, але достатню кількість показників, за допомогою яких можна оцінити технологічність конструкції машини (деталі). Конструкцію деталі слід відпрацьовувати на технологічність комплексно, враховуючи технологічність вихідної заготовки, видів обробки в технологічному процесі виготовлення деталі, можливості автоматизованого завантаження деталі в технологічне обладнання.

Кількісна оцінка рівня технологічності виробів характеризується загальним рівнем технологічності K_0 та визначається за формулою:

$$K_0 = K_y \cdot K_{СТ} \cdot K_M \cdot K_T \cdot K_{Ш} \quad (2.1)$$

де K_y - коефіцієнт уніфікації складальних одиниць, деталей або конструктивних елементів;

$K_{СТ}$ - коефіцієнт стандартизації складальних одиниць, деталей або конструктивних елементів деталі;

K_M - коефіцієнт використання матеріалу;

K_T - коефіцієнт точності обробки деталі;

$K_{Ш}$ - коефіцієнт шорсткості поверхонь деталі.

Якщо K_0 наближується до одиниці, то виріб вважається технологічним.

Отримана кількісна характеристика технологічності є неповною і відображає технологічність тільки за розглянутими параметрами.

Послідовність відпрацювання конструкції виробу на технологічність включає:

1. Аналіз вхідних даних, необхідних для оцінки технологічності конструкції виробу:

- робочі креслення;
- технічні вимоги;

- тип виробництва
- службове призначення.

На основі вивчення вхідних параметрів слід визначити наявність необхідних проєкцій, розрізів, перетинів на кресленнях; правильність і достатність призначених квалітетів точності та параметрів шорсткості поверхонь; наявність технічних умов на виготовлення виробу.

2. Визначення мінімальної, але достатньої кількості показників технологічності.

3. Розрахунок показників та визначення рівня технологічності конструкції виробу.

4. Розробка рекомендацій по покращенню показників технологічності конструкції виробу (спрощення конструкції складальної одиниці або деталей, якщо при їх складанні та обробці зустрічаються технологічні труднощі; можливість ефективної обробки деталей на обладнанні з програмним управлінням при мінімальній кількості переустановок; можливість орієнтації деталі в автоматичному режимі, транспортування, встановлення і закріплення за допомогою маніпуляторів, роботів та автоматизованих пристроїв).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією заданого вузла (складальної одиниці). Сформулювати її службове призначення.

2. Розробити специфікацію відповідно до заданого креслення вузла.

Таблиця 2.1 – Деталі виробу

№ п/п	Назва деталі	Кількість	Матеріал	Маса	Додаткові показники
1	2	3	4	5	6

3. Визначити перелік та значення показників технологічності конструкції виробу.

3.1. Коефіцієнт складності виробу:

$$K_{СК} = \frac{E}{E + D}$$

де E – кількість складальних одиниць;

D – кількість деталей.

3.2. Коефіцієнт застосування уніфікованих складальних одиниць:

$$K_{у.о} = \frac{E_y}{E}$$

де E_y – кількість уніфікованих складальних одиниць;

E – загальна кількість складальних одиниць.

3.3. Коефіцієнт застосування уніфікованих деталей:

$$K_{у.д.} = \frac{D_y}{D}$$

де D_y – кількість уніфікованих деталей;

D – загальна кількість деталей у виробі (болти, гвинти, гайки та шайби не враховуються).

3.4. Коефіцієнт застосування стандартних складальних одиниць:

$$K_{СТ.о.} = \frac{E_{СТ}}{E}$$

де $E_{СТ}$ – кількість стандартних складних одиниць;

E – загальна кількість складальних одиниць.

3.5. Коефіцієнт застосування стандартних деталей:

$$K_{CT.д.} = \frac{D_{CT}}{D}$$

де D_{CT} – кількість стандартних деталей;

D – загальна кількість деталей у виробі.

3.6. Коефіцієнт застосування матеріалу у виробі:

$$K_M = \frac{M_i}{M}$$

де M_i – сумарна маса i -го матеріалу;

M – загальна маса виробу (складальної одиниці).

Розрахунок здійснюється для кожного матеріалу.

3.7. При виконанні оцінки технологічності деталі визначається коефіцієнт шорсткості за формулою:

$$K_{Ш} = \frac{1}{Ш_{сер}}$$

де $Ш_{сер}$ – середній код параметра шорсткості.

3.8. Коефіцієнт точності деталі визначається за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{сер}}$$

де $A_{сер}$ – середній квалітет точності поверхонь деталі.

Інші показники технологічності конструкції виробу (складальної одиниці) розрахувати та оцінити практично неможливо в лабораторних умовах у зв'язку з відсутністю вихідних даних (витрат праці, собівартості тощо).

Результати розрахунків занести в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники технологічності конструкції машини

№	Коефіцієнт	Параметри машини								
		E	D	E_y	D_y	E_{CT}	D_{CT}	M_{CT}	M_i	M_E
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Складності машини			-	-	-	-	-	-	-
2	Застосування уніфікованих складальних одиниць		-		-	-	-	-	-	-
3	Застосування уніфікованих деталей	-		-		-	-	-	-	-
4	Застосування стандартних складальних одиниць		-	-	-		-	-	-	-
5	Застосування стандартних деталей	-		-	-	-		-	-	-
	Застосування матеріалів	-	-	-	-	-	-			

3.9. Загальний коефіцієнт технологічності визначити за формулою (2.1).

4. Розробити рекомендації та пропозиції щодо підвищення рівня технологічності конструкції машини. Конструкція виробу вважається технологічною якщо показники технологічності наближуються до одиниці.

5. Оформити звіт з роботи.

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Найменування та мета лабораторної роботи.
2. Загальний вигляд, найменування та службове призначення машини (складальної одиниці) згідно до варіанту (додаток Б).
3. Розрахунок показників технологічності конструкції (результати занести

в таблицю 2.2).

4. Розрахунок загального коефіцієнта технологічності.
5. Рекомендації та пропозиції по підвищенню рівня технологічності конструкції машини.
6. Висновки.

Питання для самоперевірки

1. Поняття технологічності конструкції виробу (машини).
2. Вихідні данні для оцінки технологічності конструкції виробу?
3. Документи, що регламентують поняття та необхідну кількість показників технологічності.
4. Перелік показників технологічності конструкції машини.
5. Значення показників, при яких конструкція виробу (машини) вважається технологічною.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Дослідження жорсткості технологічної системи виробничим методом

Мета роботи - експериментально дослідити жорсткість технологічної системи верстат-приспособлення-інструмент-деталь (ВПД) при токарній обробці виробничим методом.

Обладнання та інструменти

1. Токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20.
2. Оправка експериментальна.
3. Стійка індикаторна.

4. Індикатор годинникового типу.
5. Різець прохідний $\varphi = 45^\circ$.
6. Мікрокалькулятор.

Загальні відомості

Однією з найважливіших складових сумарної похибки обробки є похибка, що виникає в результаті деформації технологічної системи під дією сил різання.

Ця деформація залежить як від сили різання та її коливань в процесі обробки, так і від жорсткості технологічної системи, яка в загальному вигляді представляє собою таку залежність:

$$J = \frac{P_y}{y}, \text{ Н/мм} \quad (3.1)$$

де P_y - радіальна складова сили різання, Н;

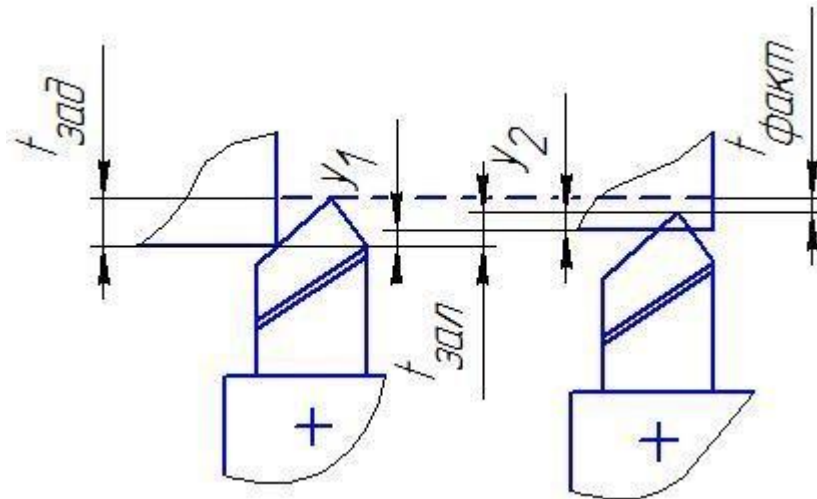
y - деформація системи, під дією сили P_y , мм.

З точки зору точності найбільше значення мають коливання радіальної складової сили різання – P_y , спрямованої по нормалі до оброблюваної поверхні.

В деяких випадках пружні властивості технологічної системи характеризують піддатливістю:

$$\omega = \frac{y}{P_y}, \text{ мм/Н} \quad (3.2)$$

Схема формування похибки обробки в результаті пружних деформацій показана на рисунку 3.1.



y_1 – пружна деформація заготовки; y_2 – пружна деформація верстата та інструменту; $t_{\text{факт}}$ – фактична глибина різання; $t_{\text{зал}}$ – залишкова глибина різання; $t_{\text{зад}}$ – задана глибина різання

Рисунок 3.1 – Схема переміщень окремих елементів технологічної системи

Величина $t_{\text{зал}} = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}}$ не постійна і змінюється в процесі обробки відповідно до зміни жорсткості як окремих елементів, так і системи в цілому. Додаткові коливання вносять і непостійність діючої сили різання.

У випадку, якщо заготовка має похибку форми (наприклад, не співвісність окремих поверхонь обертання), то внаслідок зміни сили різання, викликані нерівномірністю припуску та нестабільністю жорсткості технологічної системи, похибки форми заготовки будуть частково копіюватися на обробленій деталі.

Ступінь копіювання початкової похибки називають уточненням ε і визначають за формулою:

$$\varepsilon = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}}, \quad (3.3)$$

де $Td_{\text{заг}}$ - початкова похибка заготовки, мм;

$Td_{\text{дет}}$ - залишкова похибка обробленої деталі, мм.

При багатопрохідній обробці похибка копіювання зменшується і визначається для даного переходу за формулою:

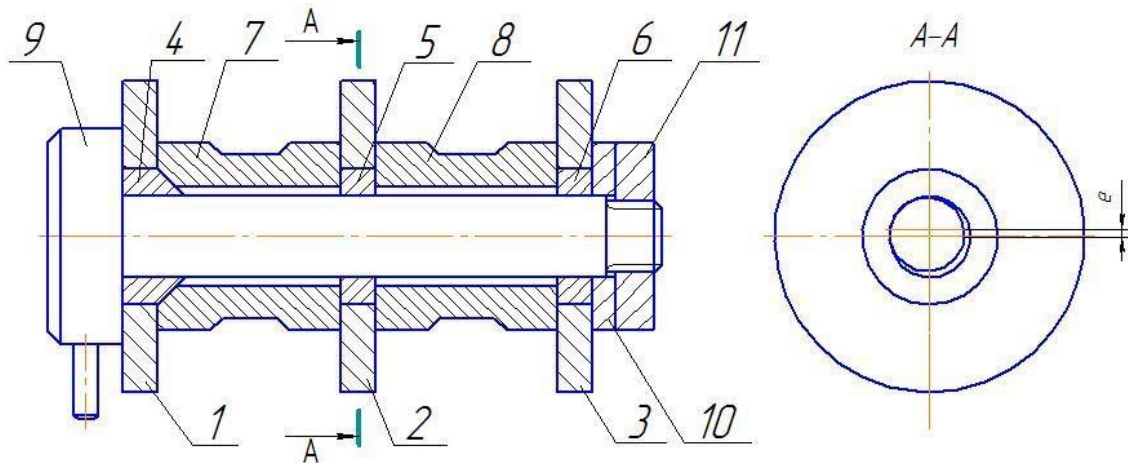
$$\varepsilon_i = \frac{Td_{i-1}}{Td_i}, \quad (3.4)$$

де Td_{i-1} - похибка попереднього переходу (проходу), мм;

Td_i - похибка проходу, який виконується, мм.

На основі залежностей (3.1)...(3.4) реалізується виробничий метод дослідження жорсткості технологічної системи.

На відміну від статичних методів визначення жорсткості системи ВПД їх навантаженням в неробочому стані, виробничий метод передбачає проведення досліджень в процесі обробки, забезпечуючи більш достовірний результат. З цією метою використовується спеціальна оправка (рисунок 3.2), яка оснащена трьома дисками, ексцентрично розташованими відносно осі обертання.



1, 2, 3 – оброблювані кільця; 4, 5, 6 – ексцентричні кільця; 7, 8 – розпірні втулки; 9 – оправка; 10 – шайба; 11 – гайка; 12 – повідок

Рисунок 3.2 – Експериментальна оправка

Таке розташування оброблюваних дисків дозволяє плавно змінювати глибину різання, яка змінюється за півоберта заготовки від t_{min} до t_{max} , що викликає зміну сил різання від P_{ymin} до P_{ymax} , пружних переміщень технологічної системи та копіювання ексцентриситету на оброблених дисках.

Представивши оправку (рисунок 3.2), закріплену в центрах, як двоопорну балку, можна записати рівняння:

$$Td_{\text{дет}} = t_{\text{зал}} = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}} = y_1 + y_2 + y_3 \quad (3.5)$$

де y_1 - пружні деформації передньої та задньої бабок верстата, мм;

y_2 - пружні деформації заготовки, мм;

y_3 - пружні деформації супорта, мм.

Оскільки в даному випадку жорсткість оправки більша жорсткості елементів верстата, що передбачено її конструкцією, то:

$$Td_{\text{дет}} = t_{\text{зал}} = y_1 + y_2 \quad (3.6)$$

Для технологічної схеми переміщень, представленої на рисунку 3.3, можна записати таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} x = 0 & & y'_{\text{вер}} &= y_{\text{суп}} + y_{\text{з.б.}} \\ x = l/2 & & y''_{\text{вер}} &= y_{\text{суп}} + 1/4 (y_{\text{з.б.}} + y_{\text{п.б.}}) \\ x = l & & y'''_{\text{вер}} &= y_{\text{суп}} + y_{\text{п.б.}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Узагальнене рівняння буде мати вигляд:

$$y_{\text{вер}} = y_{\text{суп}} + y_{\text{з.б.}} \cdot \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 + y_{\text{п.б.}} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^2 \quad (3.8)$$

де $y_{\text{суп}}$ - пружні переміщення супорта, мм;

$y_{\text{з.б.}}$ - пружні переміщення задньої бабки, мм;

$y_{\text{п.б.}}$ - пружні переміщення передньої бабки, мм;

$y_{\text{вер}}$ - пружні переміщення верстата, мм.

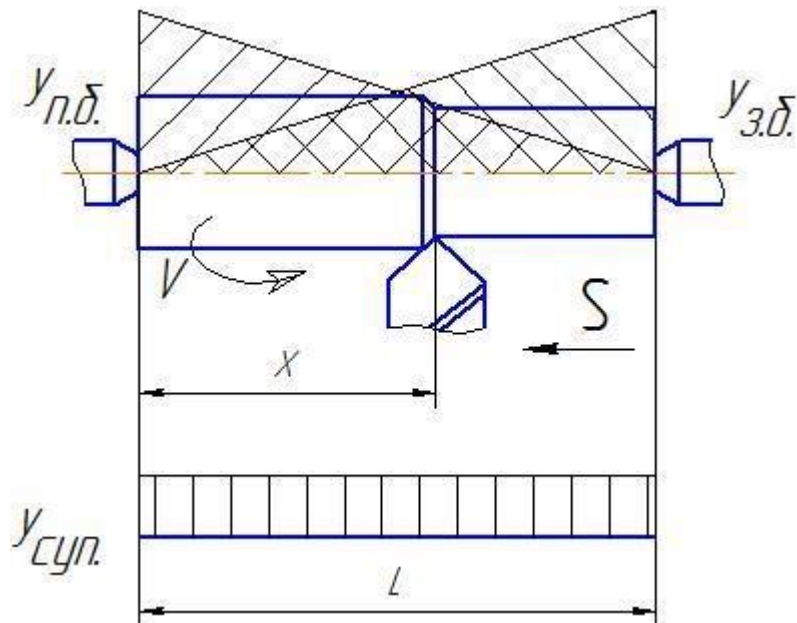


Рисунок 3.3 – Схема пружних переміщень вузлів верстата

Розв'язавши систему рівнянь (3.7), знаходимо деформацію його окремих елементів.

Після обточування ексцентричних дисків величини $y_{суп.}$, $y_{з.б.}$, $y_{п.б.}$ характеризуються величиною їх биття, розташованих відповідно посередині, ліворуч та праворуч на оправці. Жорсткість чи піддатливість окремих елементів знаходять, використовуючи формули (3.1) та (3.2).

Порядок виконання роботи

1. Встановити оправку з трьома кільцями в центрах токарного верстата; регулюючи положення кілець, встановити їх так, щоб вимірне індикатором максимальне биття заготовки (кільця до обточування) $Td_{заг} = 5$ мм. Зафіксувати положення кілець гайкою 11 (див. рисунок 3.2), остаточно виміряти максимальне биття кілець, показання індикатора $Td_{заг}$ занести до першої графи таблиці 3.1.

2. За допомогою індикатора, повертаючи рукою оправку, визначити точку мінімального показу стрілки індикатора для середнього кільця. Поєднавши нуль градуйованого кільця з точкою мінімального биття та повертаючи оправку рукою у напрямку обертання шпинделя, заміряти биття середнього кільця (заготовки)

через 36° по колу. Результати вимірювань занести до першої графи таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання биття заготовки

Місце перевірки биття	Биття заготовки $Td_{\text{заг}}$, мм	Биття після обробки $Td_{\text{дет}}$, мм	Уточнення ε	Сила різання P_y , Н
Кільце біля передньої бабки $u'_{\text{вер}}$				
Кільце посередині оправки $u''_{\text{вер}}$				
Кільце біля задньої бабки $u'''_{\text{вер}}$				

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань

Поділлка на кільці, град	Биття заготовки $Td_{\text{заг}}$, мм	Значення радіальної складової сили різання P_y , Н	Биття після обробки $Td_{\text{дет}}$, мм
0			
36			
72			
108			
і т. д.			

3. Визначити режими обробки, враховуючи рекомендації:

$t_{\text{min}} = 0,1 \dots 0,2$ мм (мінімальна глибина різання); $S = 0,2$ мм/об (значення скоригувати за паспортними даними верстата); $V = 60$ м/хв.

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{дет}}} \quad (3.9)$$

де $D_{\text{дет}}$ - діаметр кільця;

$n_{\phi} \leq n_p$ (n_{ϕ} – фактична частота обертів, що приймається за паспортними даними верстату).

4. Проточити на обраних режимах різання три кільця, не змінюючи радіального положення різця.

5. Повторити заміри по п. 1 і отримані дані ($Td_{дет}$) занести до другої графі таблиці 3.1. Повторити заміри по п. 2 і отримані дані ($Td_{дет}$) занести в третю графу таблиці 3.2.

6. Визначити ступінь копіювання похибки (ексцентричності) кілець після обробки (уточнення) по формулі (3.3) для кожного кільця і одержані результати занести до таблиці 3.1.

7. Розрахувати силу різання,

$$P_y = C_{p_y} \cdot t^{x_{P_y}} \cdot S^{y_{P_y}} \cdot V^n \cdot k_{p_y} \text{ , Н} \quad (3.10)$$

приймаючи $C_{p_y} = 243$; $x_{P_y} = 0,9$; $y_{P_y} = 0,6$; $n = -0,3$; $k_{p_y} = 1,1$.

Для полегшення розрахунків формулу (3.10) необхідно представити у вигляді:

$$P_y = C \cdot t^{x_{P_y}} \text{ ,} \quad (3.11)$$

де
$$C = C_{p_y} \cdot S^{y_{P_y}} \cdot V^n \cdot k_{p_y} \quad (3.12)$$

7.1. Встановити P_y для кожного кутового положення деталі, прийнявши $t = t_{max} = t_{min} + Td_{заг}$ (t_{min} визначене в п. 3).

Одержані дані записати в таблицю 3.1.

7.2. Визначити P_y для кожного кутового положення деталі, прийнявши $t = t_{min} + Td_3^c$, де Td_3^c - биття середнього кільця для кожного кутового положення. Одержані дані занести в таблицю 3.2.

8. Розв'язуючи систему рівнянь (3.7) і підставляючи значення $u'_{вер}$, $u''_{вер}$, $u'''_{вер}$ з таблиці 3.1. ($Td_{дет}$ для відповідних кілець), визначити пружні переміщення та жорсткість [формула (3.1)] елементів верстата $u_{п.б.}$, $u_{суп.}$, $u_{з.б.}$, $J_{п.б.}$, $J_{суп.}$, $J_{з.б.}$.

Використовуючи рівняння (3.8), визначити пружні переміщення верстата $y_{вер}$ для $x = 0$; $x = 0,2 \cdot L$; $x = 0,4 \cdot L$; $x = 0,6 \cdot L$; $x = 0,8 \cdot L$; $x = L$ та побудувати графік зміни загальної похибки, обумовленої пружними деформаціями системи, в координатах $L - y_{вер}$, (L - довжина оправки; $y_{вер}$ - розрахункове значення для вказаних точок).

9. Користуючись даними таблиці 3.2, побудувати діаграму «Навантаження – переміщення» ($P_y - \Delta_y$) для середнього кільця.

10. Зробити висновки по роботі.

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Назва і мета роботи.
2. Технічне оснащення.
3. Ескіз експериментальної оправки.
4. Формули (3.1), (3.3), (3.7) та (3.8) з поясненнями.
5. Таблиці 3.1 і 3.2 та розрахунки.
6. Графік та діаграма за пунктами 8, 9.
7. Висновки.

Запитання для самоперевірки

1. Похибки форми та розмірів деталей, що є наслідком пружних деформацій технологічної системи.

2. Суть виробничого методу визначення жорсткості технологічної системи.

3. Оцінка ступеня копіювання похибки форми при багатопрохідній обробці.

4. Поняття жорсткості та податливості технологічної системи.

5. Поняття уточнення та способу його визначення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Розробка структури та змісту операцій технологічних процесів механічної обробки

Мета роботи – ознайомитися з принципами та послідовністю проектування технологічних процесів, правилами оформлення технологічної документації та карт ескізів.

Загальні відомості

Технологічний процес, як частина виробничого процесу, складається з технологічних операцій 005, 010, 015 та т. ін. Кожна з операцій розділяється на установи або позиції. В свою чергу установ або позиція розподіляється на переходи, які розділяються на робочі ходи, а кожен робочий хід складається з прийомів.

Технологічна операція – це частина технологічного процесу, яка безперервно виконується на одному робочому місці, над одним або кількома виробами, що одночасно оброблюються одним або кількома робітниками.

Установ представляє собою частину технологічної операції, яка виконується при незмінному закріпленні заготовок, що оброблюються.

Позицією називається кожне окреме положення заготовки, яке вона займає відносно верстата при незмінному її закріпленні.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, яка характеризується постійністю інструменту, що застосовується, поверхонь, що утворені обробкою, або режимом роботи верстата.

Робочий хід – закінчена частина технологічного переходу, яка складається з одного переміщення інструменту відносно заготовки, що супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні або властивостей заготовки.

Прийом - закінчена сукупність рухів робітника в процесі виконання операції.

Маршрутна карта – один з основних документів, який містить в собі опис технологічного процесу по всіх операціях в технологічній послідовності з інформацією по обладнанню, оснастці, матеріальним і трудовим нормативам.

Карта ескізів має графічну ілюстрацію операції з позначенням розміру, шорсткості обробленої поверхні та схеми базування.

Операційна карта містить в собі опис операції технологічного процесу виготовлення з розподілом по переходах та інформацією комплекту даних, необхідних для реалізації операції.

Приведена технологічна документація є основною. Комплект одиничного технологічного процесу складається з таких документів: титульний лист, маршрутна карта, карта ескізів, відомість оснастки, операційна карта, операційна карта на автомати, відомість операцій технічного контролю. Маршрутну карту заповнюють у відповідності з вибраною послідовністю обробки. Вона містить в собі номер, найменування та короткий зміст операцій (для багатосерійного і масового виробництва номер і найменування), дані про заготовку, обладнання, технологічну оснастку і техніко-економічні показники операцій.

В операційну карту записують позначення документів та іншу інформацію, яка пояснює і доповнює зміст операції, інформацію про заготовку, деталь, пристосування, різальний та вимірювальний інструменти, технологічну оснастку, режими різання, норми часу та інформацію про технічний контроль. Номер операції позначається трьома арабськими цифрами, кратними п'яти (005, 010, 015, ...). Установи та переходи позначаються в операційній карті в послідовності їх запису: установи – прописними літерами (А, Б); переходи – цифрами (1, 2, 3, і т. д.).

При поясненні дій, які виконуються при обробці деталей, записується послідовність виконання (наприклад: «обточити поверхні послідовно», «обточити поверхні одночасно»). Номер розміру, що утворюється або

витримується під час обробки, при поясненні позначають в кружках (наприклад 1).

Ескіз обробки	Текстова частина
	<p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Точити поверхню ① на довжину ③ з утворенням фаски ②.</p> <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Свердлити отвір ① на прохід</p> <p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Фрезерувати уступ, витримуючи розміри ① і ②.</p>

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із завданням та вихідними даними згідно варіанту.
2. Вибрати тип заготовки (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Використання типових заготовок

Тип виробництва		
Одиничний	Серійний	Масовий
Прокат	Прокат	Поковки
Лиття в земляну форму	Поковка	Штамповки
	Лиття в піщані форми з машинним формуванням	Лиття по виплавлюваних моделях та в кокіль

3. Визначити послідовність обробки кожної поверхні і перевірити правильність вибору кількості технологічних переходів шляхом порівняння необхідного та фактичного уточнень:

- для зовнішніх поверхонь:

$$\varepsilon_H = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}} \qquad \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$$

при цьому $\varepsilon_1 = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_1}$; $\varepsilon_2 = \frac{Td_1}{Td_2}$; $\varepsilon_n = \frac{Td_{i-1}}{Td_i}$

- для внутрішніх поверхонь:

$$\varepsilon_H = \frac{TD_{\text{заг}}}{TD_{\text{дет}}} \qquad \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$$

при цьому $\varepsilon_1 = \frac{TD_{\text{заг}}}{TD_1}$; $\varepsilon_2 = \frac{TD_1}{TD_2}$; $\varepsilon_n = \frac{TD_{i-1}}{TD_i}$

Перевіряється виконання умови $\varepsilon_\phi \geq \varepsilon_H$. Якщо $\varepsilon_\phi < \varepsilon_H$, то необхідно ввести технологічний перехід або вибрати заготовку більш високого класу точності.

Необхідні дані для розрахунку уточнень взяти з таблиці 4.2 та таблиць 1, 2 додатку В.

Таблиця 4.2 – Граничні відхилення розмірів заготовок

Тип заготовки	Граничні відхилення розмірів при діаметрі, мм				
	10-20	20-25	25-50	50-60	60-120
Гарячекатаний прокат	+0,3	+0,4	+0,4	+0,4	+0,6
	-0,5	-0,5	-0,7	-1,0	-1,7
Штамповка, поковка	+0,3	+0,4	+0,4	+0,5	+0,6
	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0	-1,2
Виливки зі сталі та сірого чавуну	±0,4	±0,4	±0,4	±0,6	±0,8

4. Вибрати значення мінімальних припусків на обробку, визначити проміжні розміри і розробити креслення заготовки. Результати розрахунків занести в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Припуски на механічну обробку деталі

Номер переходу	Номер поверхні								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									

Всі необхідні дані взяти з таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Мінімальні значення припусків на механічну обробку

Метод обробки	Заготовка	Діаметр заготовки, мм		
		10-30	30-50	50-120
1	2	3	4	5
Обточування чорнове	Прокат	2,00	2,00	2,20
	Штамповка	2,40	2,40	2,60
	виливка	2,20	2,20	2,00
Обточування чистове	Всі види	0,80	0,80	0,90
Шліфування попереднє	Всі види	0,28	0,28	0,30
Шліфування чистове	Всі види	0,06	0,06	0,08
Зенкерування чорнове	Прокат	-	-	-
	Штамповка	1,20	1,20	2,00
	виливка	2,20	2,20	2,40
Зенкерування чистове	Всі види	0,50	0,60	0,90
Розвірчування нормальне	Всі види	0,12	0,16	0,20
Розвірчування точне	Всі види	0,06	0,06	0,08
Протягування	Всі види	0,35	0,40	0,15
Розточування чистове	Всі види	0,50	0,60	0,90

5. Вибрати тип металорізального обладнання і заповнити таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Металорізальне обладнання для обробки деталі

Номер операції	Тип металорізального обладнання
005	
010	
015	
і т.д.	

Металорізальне обладнання вибрати з таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Металорізальне обладнання для обробки деталей класу валів і втулок

Клас деталі	
Вал	Втулка
1	2
Токарно-гвинторізний	Токарно-гвинторізний
Фрезерно-центрувальний	Токарно-револьверний
Токарно-гідрокопіювальний	Вертикально-свердлильний
Токарний багаторізцевий	Горизонтально-розточний
Токарний з ЧПУ	Токарний з ЧПУ
Круглошліфувальний	Круглошліфувальний
Торцекруглошліфувальний	Внутрішньошліфувальний

6. Розробити маршрут обробки і занести його в маршрутну карту.

7. Розробити зміст операції механічної обробки і занести в операційну карту.

8. Розробити операційні ескізи обробки на всі операції на картах ескізів (приклад – рисунок 4.1).

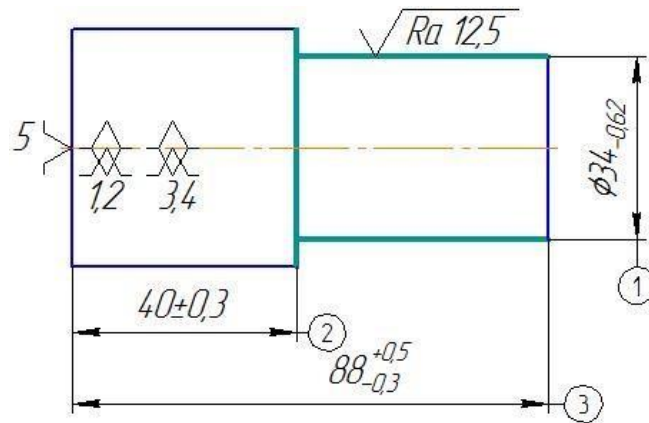


Рисунок 4.1 – Приклад виконання операційного ескізу на токарну операцію обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 34_{-0,62}$

Варіанти завдань представлені в таблицях 4.7 (для деталі вал) та 4.8 (для деталі втулка) (рисунки 4.2, 4.3).

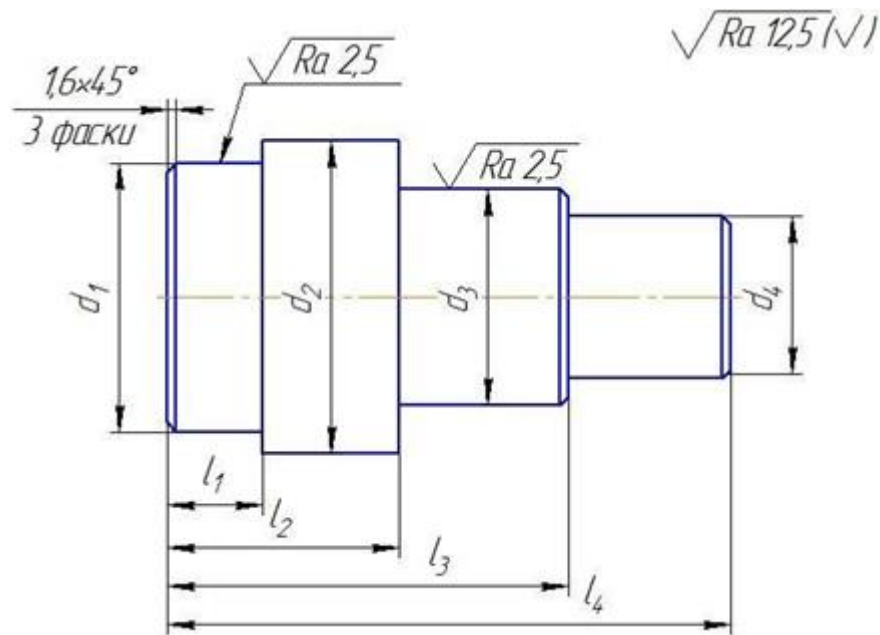


Рисунок 4.2 – Ескіз деталі вал

Таблиця 4.7 – Варіанти завдань для деталі вал

№ вар.	Діаметральні розміри, мм				Лінійні розміри, мм				Матеріал
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50 _{-0,17}	80 _{-0,12}	45 ^{+0,027} _{-0,009}	40 ^{+0,032} _{-0,100}	20	85	200	280	Сталь 45
2	60 ^{-0,03} _{-0,05}	85 ^{-0,02} _{-0,10}	55 ^{+0,03}	50 _{-0,05}	30	80	180	250	Сталь 40X

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	$40^{+0,02}_{+0,003}$	$65_{-0,2}$	$35^{+0,027}_{+0,09}$	$30^{-0,28}_{-0,42}$	25	60	150	200	СЧ-20
4	$35^{+0,027}_{+0,010}$	$60_{-0,2}$	$30^{+0,03}_{+0,015}$	$25_{-0,045}$	20	70	160	210	Сталь 20
5	$70^{-0,050}_{-0,085}$	$95_{-0,23}$	$65_{-0,03}$	$55^{-0,095}_{-0,195}$	35	90	170	250	СЧ-20
6	$65 \pm 0,03$	$75_{-0,27}$	$60_{-0,027}$	$50_{-0,05}$	30	100	140	180	Сталь 45

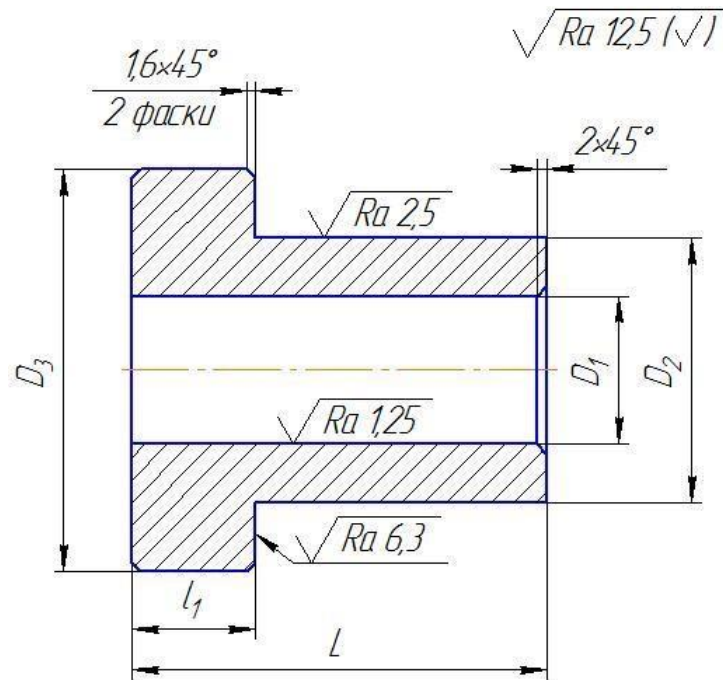


Рисунок 4.3 – Ескіз деталі втулка

Таблиця 4.8 – Варіанти завдань для деталі втулка

№ вар.	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	l_1 , мм	L , мм	Матеріал
1	$15^{+0,027}$	$25_{-0,045}$	$45_{-0,017}$	6	26	Ст.3
2	$18^{+0,027}$	$28_{-0,045}$	$55_{-0,2}$	7	30	Сталь 40
3	$20^{+0,033}$	$32_{-0,05}$	$67_{-0,2}$	10	34	СЧ-20
4	$25^{+0,033}$	$45_{-0,17}$	$75_{-0,2}$	15	45	СЧ-20
5	$32^{+0,039}$	$52_{-0,06}$	$82_{-0,23}$	20	65	Сталь 40Х
6	$36^{+0,039}$	$62_{-0,074}$	$86_{-0,54}$	18	55	Сталь 45

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Назва і мета роботи.
2. Креслення деталі з розмірами згідно варіанту.
3. Послідовність обробки кожної поверхні.
4. Вибір припусків.
5. Креслення заготовки.
6. Вибір металорізального обладнання.
7. Розробка маршруту обробки і змісту операцій механічної обробки деталі.
8. Оформлення маршрутної, операційної карт і карт ескізів по операціям.
9. Висновки.

Запитання для самоперевірки

1. Суть виробничого процесу.
2. Поняття технологічного процесу.
3. Структура технологічного процесу.
4. Визначення операції, переходу, проходу, установка, позиції.
5. Критерії вибору металорізального обладнання, пристроїв, різальних інструментів.
6. Методи визначення припусків.
7. Порядок оформлення технологічної документації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом при виконанні токарної операції

Мета роботи – розробити маршрут обробки поверхні деталі та розрахувати припуски розрахунково-аналітичним методом.

Загальні відомості

Припуском називається шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки для досягнення заданої точності та якості поверхні деталі.

Під якістю поверхні деталі (заготовки) розуміють стан її поверхневого шару, як наслідок дії на нього одного чи кількох послідовно застосовуваних технологічних методів. Вона характеризується шорсткістю, хвилястістю та фізико-механічними властивостями поверхневого шару.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару характеризуються його твердістю, структурними та фазовими перетвореннями, величиною, знаком та глибиною поширення залишкових напруг, деформацією кристалічних ґрат матеріалу. При застосуванні хіміко-термічних методів обробки також змінюється хімічний склад матеріалу поверхневого шару.

Від якості поверхневого шару деталі багато в чому залежать її експлуатаційні характеристики.

Шорсткість поверхні впливає на міцність деталей, що працюють при циклічних та знакозмінних навантаженнях, так як западини мікропрофілю впливають на концентрацію напруг і утворення втомних тріщин.

Від якості поверхні залежить контактна жорсткість стиків деталей, що сполучаються.

Шорсткість і хвилястість поверхонь зменшують фактичну площу контакту.

Встановлення оптимальних припусків на обробку є відповідальним техніко-економічним завданням. Призначення надмірно великих припусків призводить до втрат матеріалу, що перетворюється на стружку, збільшення трудомісткості механічної обробки, підвищення витрати ріжучого інструменту і електричної енергії, збільшення потреби в обладнанні та робочій силі.

Призначення занижених припусків не забезпечує видалення дефектних шарів матеріалу та досягнення необхідної точності та якості оброблюваних поверхонь, підвищує вимоги до точності вихідних заготовок та призводить до їх здорожчання, збільшує небезпеку появи браку.

Величина припуску повинна компенсувати всі похибки від попередньої обробки заготовки та похибки, пов'язані з виконанням технологічної операції, що розглядається.

Розрізняють загальні та проміжні припуски.

Проміжним припуском називають шар матеріалу, що знімається під час виконання даного технологічного переходу.

Загальний припуск – це сума всіх проміжних припусків, знятих при обробці цієї поверхні.

Розрізняють мінімальні, номінальні та максимальні припуски на обробку.

Розрахунку підлягає мінімальний припуск на обробку. Коливання ж розміру оброблюваної поверхні заготовки у межах допуску її виготовлення створює коливання величини припуску від мінімального до максимального.

Величини припусків на обробку можуть бути встановлені дослідно-статистичним методом або визначені з використанням розрахунково-аналітичного методу.

Дослідно-статистичний метод застосовують для звичайних деталей середньої точності в умовах одиничного та серійного виробництва. Цей метод прискорює процес проектування технологічного процесу обробки деталей, але не враховує конкретні умови обробки даних поверхонь, що призводить до завищення припусків на обробку.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків застосовують в умовах великосерійного та масового виробництва, а також в умовах одиничного виробництва при обробці великих та особливо відповідальних деталей.

Після визначення мінімальних проміжних припусків необхідно визначити граничні проміжні (міжперехідні) розміри. Проміжними (міжперехідними) розмірами називають розміри, що одержуються на кожному технологічному переході.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок, що виникають за конкретних умов отримання заготовок та їх обробки, визначенні величини елементів, складових припуску та їх підсумовування.

До факторів, що визначають величину припуску належать:

- висота мікронерівностей профілю R_{Z-1} , отримана на попередньому переході обробки даної поверхні. Величина R_{Z-1} залежить від методу, режимів та умов виконання попередньої обробки;

- стан та глибина поверхневого шару T_{i-1} , отримані на попередньому технологічному переході. Цей шар, який відрізняється від основного металу за механічними властивостями, наявності залишкових напруг і структури, включається до припуску не завжди. Різні метали в залежності від виду та режимів обробки мають різну величину зміненого шару. Сталеві поковки та штамповані заготовки мають безвуглецевий поверхневий шар. Цей шар знижує межу витривалості металу, тому його слід видалити при механічній обробці;

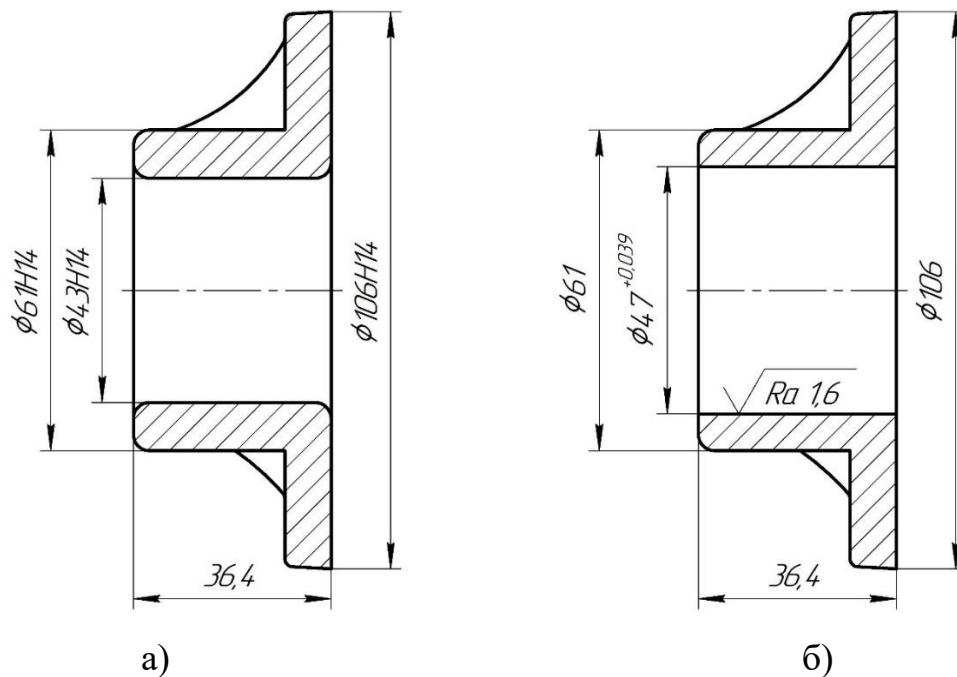
- сумарне значення просторових відхилень ρ_{i-1} у розташуванні оброблюваної поверхні відносно базових поверхонь заготовки, що залишилися після виконання попереднього переходу. До мінімального припуску входять просторові відхилення, що мають самостійні значення, не пов'язані з допуском на розмір, що виконується. Вони можуть бути задані безпосередньо, як допустима кривизна валу, короблення поверхонь, зміщення та уведення отвору, непаралельність осей, неперпендикулярність, радіальне та торцеве биття та інші, а також допуском на розташування, поверхні або осі, координуючим розміром. Причинами

просторових відхилень можуть бути: просторові похибки виготовлення ливарних форм та штампів; деформації деталі у процесі обробки; похибки взаємного розташування робочих елементів верстата.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із завданням та вихідними даними згідно варіанту (рисунок 5.1., 5.2).

Варіант 1



а – спрощений ескіз заготовки; б – ескіз деталі

Рисунок 5.1 – Деталь маточина

Варіант 2

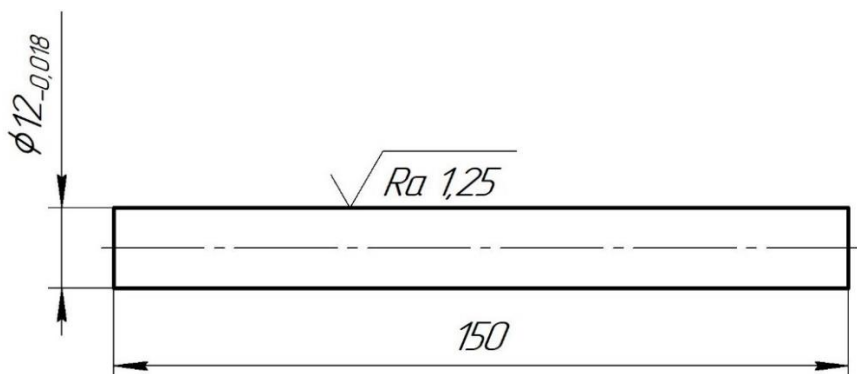


Рисунок 5.2 – Деталь вал

2. Визначити маршрут обробки поверхні. В деталі маточина розглядається токарна обробка отвору $\varnothing 47^{+0,039}$, а в деталі вал – токарна обробка зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 12_{-0,018}$. На основі аналізу креслень обраної деталі та заготовки, а також користуючись таблицями 1, 2 додатку В визначити маршрут обробки поверхні та занести його до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на обробку поверхні

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R_z	T	ρ				$2z_{min}$	d_p	δ	d_{min}
Заготовка										
Всього:										

3. Визначити складові елементи припуску: R_z , T, ρ .

3.1. Якість поверхні характеризується значеннями мікронерівностей R_z та дефектного шару T. За таблицею 5.2 визначити якість поверхні заготовки в залежності від способу її виготовлення та занести значення до таблиці 5.1.

Параметри якості поверхні по технологічним переходам прийнятого маршруту обробки визначити за таблицями 5.3 та 5.4.

Таблиця 5.2 – Якість поверхні заготовки

Вид заготовки	Квалітет	R_z , мкм	T, мкм
1	2	3	4
Відливки в циліндр	12 – 14	200	300
Відливки в оболонкових формах	12 – 14	40	260
Відливки під тиском	9 – 12	20	140
Відливання по виплавляємим моделям	6 – 12	30	170

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4
Прокат, діаметром, мм:			
5 – 25		150	150
26 – 75		150	250
80 – 150		200	300
160 – 250		300	400
калібрований шліфований	6 – 9	10	20

Таблиця 5.3 – Параметри якості, що досягаються після механічної обробки зовнішніх поверхонь деталей

Вид обробки	R _z , мкм	T, мкм
Чорнова обробка лезовим інструментом заготовок всіх видів	50	50
Чистова обробка лезовим інструментом	30	30
Тонка обробка лезовим інструментом	3	-

Таблиця 5.4 – Параметри якості, що досягаються після механічної обробки отворів

Вид обробки	R _z , мкм	T, мкм
Розточування:		
чорнове	50	50
чистове	20	25

3.2. Розрахувати сумарне значення просторових відхилень ρ , що залежить від виду заготовки та методу її базування.

3.2.1. Для заготовок типу тіл обертання, які закріплюються в патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець, сумарне значення просторових відхилень ρ визначається за формулою:

$$\rho_d = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} \quad (5.1)$$

де $\rho_{\text{кор}}$ – короблення отвору по відношенню до витримуюваного розміру:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_K \cdot l \quad (5.2)$$

де Δ_K – питома кривизна заготовки, мкм (таблиця 5.5);

l – довжина заготовки, мм

$\rho_{\text{зм}}$ - зміщення отвору по відношенню до витримуваного розміру (таблиця 5.6). Залежить від класу точності відливки та номінального розміру найтоншої її стінки:

$$\rho_{\text{зм}} = \delta \quad (5.3)$$

Таблиця 5.5 – Питома кривизна заготовки

Матеріал та стан	Діаметр заготовки, мм			
	5 – 25	25 – 50	50 – 75	75 – 120
Прокат:				
6-й квалітет	0,5	0,5		
9-й квалітет	1	0,75	0,5	
10-11-й квалітети	2	1	1	
12-й квалітет	3	2	1	
Відливки:				
плити	2 – 3			
корпуси	0,7 – 1			

Таблиця 5.6 – Допуски розмірів заготовки

Інтервал номінальних розмірів, мм	Допуск розмірів відливки (мм) в залежності від класу її точності						
	7	8	9	10	11	12	13
До 4	0,5	0,64	1,0	1,2	2,0	-	-
4-6	0,56	0,70	1,1	1,4	2,2	2,8	-
6-10	0,64	0,80	1,2	1,6	2,4	3,2	5,0
10-16	0,7	0,90	1,4	1,8	2,8	3,6	5,6
16-25	0,8	1,00	1,6	2,0	3,2	4,0	6,4

3.2.2. Для деталей типу вал, при їх закріпленні в центрах, сумарне значення просторових відхилень ρ заготовки визначається за формулою:

$$\rho_D = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2} \quad (5.4)$$

де $\rho_{зм} = 1$;

$$\rho_{кор} = \Delta_K \cdot \frac{l}{2} \quad (5.5)$$

$$\rho_{ц} = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} \quad (5.6)$$

де δ_3 – допуск на розмір заготовки, мкм. Визначається з таблиці 4.2 за граничними відхиленнями.

3.2.3. Залишкові просторові відхилення $\rho_{зал}$ на технологічних переходах прийнятого маршруту обробки розраховуються за формулою:

- при обробці отвору:

$$\rho_{зал} = k_y \cdot \rho_d \quad (5.7)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми (таблиця 5.7);

- при обробці зовнішньої циліндричної поверхні:

$$\rho_{зал} = k_y \cdot \rho_D \quad (5.8)$$

Розраховані значення просторових відхилень занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнта уточнення k_y

Вид механічної обробки	k_y
Чорнове точіння	0,06
Напівчистове точіння	0,05
Чистове точіння	0,04
Тонке точіння	0,02

4. Визначити мінімальні припуски $2z_{min}$ на обробку для кожного технологічного переходу за формулою:

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \quad (5.9)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – значеннями мікронерівностей поверхні на попередньому за розрахунковим переході;

T_{i-1} – величина дефектного шару поверхні на попередньому за розрахунковим переході;

ρ_{i-1} – значення просторових відхилень поверхні на попередньому за розрахунковим переході.

Розраховані значення мінімальних припусків занести до таблиці 5.1.

5. Подальший розрахунок припусків для обробки отворів та зовнішніх циліндричних поверхонь має ряд відмінностей. Розрахунок для внутрішніх циліндричних поверхонь виконується відповідно до порядку, викладеному в пункті 5.1, а розрахунок припусків для зовнішніх циліндричних поверхонь виконується за пунктом 5.2.

5.1. Порядок розрахунку для внутрішніх циліндричних поверхонь:

5.1.1. Для кінцевого переходу записати найбільший граничний розмір отвору деталі в стовпчик «Розрахунковий розмір d_p » таблиці 5.1.

5.1.2. Розрахунковий розмір d_p для кожного попереднього переходу визначається за формулою:

$$d_{p\ i-1} = d_{p\ i} - 2z_{i\ min} \quad (5.10)$$

5.1.3. В стовпчик «Допуск δ » записати допуск на розмір для кожного переходу, що було визначено в пункті 2 за таблицею 2 додатку В.

5.1.4. Визначити та занести до таблиці 5.1 найбільші граничні розміри d_{max} для кожного технологічного переходу. Для цього необхідно округлити розрахункові розміри d_p шляхом їх зменшення до того ж знаку десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.

5.1.5. Розрахувати та занести до таблиці 5.1 найменші граничні розміри d_{min} :

$$d_{min\ i} = d_{max\ i} - \delta_i \quad (5.11)$$

5.1.6. Розрахувати найменше граничне відхилення для кожного переходу за формулою:

$$2z_{min\ i}^{gp} = d_{max\ i} - d_{max\ i-1} \quad (5.12)$$

5.1.7. Розрахувати найбільше граничне відхилення для кожного переходу за формулою:

$$2z_{max\ i}^{gp} = d_{min\ i} - d_{min\ i-1} \quad (5.13)$$

5.2. Порядок розрахунку для зовнішніх циліндричних поверхонь:

5.2.1. Для кінцевого переходу записати найменший граничний розмір зовнішньої циліндричної поверхні деталі в стовпчик «Розрахунковий розмір d_p » таблиці 5.1.

5.2.2. Розрахунковий розмір d_p для кожного попереднього переходу визначається за формулою:

$$d_{p\ i-1} = d_{p\ i} + 2z_{i\ min} \quad (5.14)$$

5.2.3. В стовпчик «Допуск δ » таблиці 5.1 записати допуски на розміри для кожного переходу, які були визначені в пункті 2 за таблицею 1 додатку В.

5.2.4. Визначити та занести до таблиці 5.1 найменші граничні розміри d_{min} для кожного технологічного переходу. Для цього необхідно округлити розрахункові розміри d_p шляхом їх збільшення до того ж знаку десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу.

5.2.5. Розрахувати та занести до таблиці 5.1 найбільші граничні розміри d_{max} :

$$d_{max\ i} = d_{min\ i} + \delta_i \quad (5.15)$$

5.2.6. Розрахувати найбільше граничне відхилення для кожного переходу за формулою:

$$2z_{max\ i}^{rp} = d_{max\ i-1} - d_{max\ i} \quad (5.16)$$

5.2.7. Розрахувати найменше граничне відхилення для кожного переходу за формулою:

$$2z_{min\ i}^{rp} = d_{min\ i-1} - d_{min\ i} \quad (5.17)$$

6. Визначити загальні припуски:

$$2z_{max\ заг}^{rp} = 2z_{max\ 1}^{rp} + 2z_{max\ 2}^{rp} + \dots + 2z_{max\ i}^{rp} \quad (5.18)$$

$$2z_{min\ заг}^{rp} = 2z_{min\ 1}^{rp} + 2z_{min\ 2}^{rp} + \dots + 2z_{min\ i}^{rp} \quad (5.19)$$

7. Виконати перевірку правильності розрахунку за формулами:

$$2z_{\max i}^{\text{rp}} - 2z_{\min i}^{\text{rp}} = \delta_{i-1} - \delta_i \quad (5.20)$$

$$2z_{\max \text{ заг}}^{\text{rp}} - 2z_{\min \text{ заг}}^{\text{rp}} = \delta_z - \delta_d \quad (5.21)$$

де δ_z – допуск на розмір заготовки, мм;

δ_d – допуск на розмір деталі, мм.

8. Накреслити схему графічного розташування розрахованих припусків.

Приклади схем розташування припусків наведено в додатку Г.

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків.
3. Фактори, що визначають величину припуску.
4. Ескіз деталі.
5. Прийнятий маршрут обробки поверхні деталі.
6. Розрахунок припусків на обробку для поверхні обраної деталі.
7. Схема графічного розташування припусків.
8. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Що називають припуском?
2. Що називають якістю поверхні деталі?
3. До чого призводить призначення занижених припусків?
4. До чого призводить призначення надмірно великих припусків?
5. Які Ви знаєте види припусків?

6. Що таке проміжний припуск?
7. Що таке загальний припуск?
8. Які Ви знаєте методи визначення припусків?
9. Яка послідовність при розрахунково-аналітичному методі?
- 10.Що називають міжперехідним розміром?
- 11.Які фактори визначають величину припуску?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Дослідження імовірнісного методу досягнення точності складання складальної одиниці

Мета роботи - ознайомитися з особливостями і практичними можливостями імовірнісного методу при вирішенні складальних розмірних ланцюгів (СРЛ).

Обладнання та інструменти

1. Вузли для збирання 10-12 шт.
2. Вимірювальна плита.
3. Штангенрейсмус (0-300).

Загальні відомості

Багатоланцюгові СРЛ (а відповідно точність збирання складальної одиниці) можуть бути вирішені такими методами:

- повної взаємозамінності;
- неповної взаємозамінності (імовірнісним);
- пригонки;

- регулювання з підбором нерухомих компенсаторів;
- селективного складання (групової взаємозамінності);
- комбінованим (комбінація імовірнісного методу з методами пригонки, селективного складання, регулювання).

В даній роботі досліджується імовірнісний метод вирішення СРЛ і дається його оцінка в порівнянні з методом повної взаємозамінності.

Суть імовірнісного методу досягнення заданої точності складання полягає в тому, що точність вихідної замикаючої ланки СРЛ (точність складання складальної одиниці) досягається без будь-якого підбору складових ланок, які входять до складальної одиниці, у певного відсотка зібраних виробів. При цьому можливий відсоток браку встановлюють заздалегідь шляхом аналітичного розрахунку його прогнозованого значення. Таким чином, імовірнісний метод вирішення СРЛ передбачає випадки, коли у деякій частині зібраних складальних одиниць допуск замикаючої ланки дотримуватись не буде.

Використання імовірнісного методу дає можливість забезпечити задану точність складання (задану точність вихідної замикаючої ланки СРЛ) при умові, що допуски на ланки (деталі), що входять до складання, виявляються значно більшими, ніж при розрахунку методом повної взаємозамінності. Відбувається це тому, що при кількості складових ланок СРЛ більших п'яти ($n-1 > 5$, n - загальна кількість ланок СРЛ) малоімовірними виявляються випадки комбінації ланок з граничними або близькими до граничних і несприятливими для замикання ланцюга розмірами. При цьому в кожному конкретному випадку, встановивши або прийнявши закон розподілення розмірів кожної складової ланки, може бути заздалегідь визначена кількість (відсоток) випадків, коли точність вихідної замикаючої ланки не буде дотримана.

Проведемо дослідження для складальної одиниці, яка складена з семи деталей 1-7 (рисунок 6.1).

Технічна вимога, яка поставлена конструктором щодо точності його виготовлення - забезпечити проміжок між торцем верхнього диску 5 і торцем гайки 7 в межах $A_{\Delta} = (2,5 \pm 0,3)$ мм. Задача технолога по складанню полягає в

забезпеченні виконання необхідної умови. Користуючись правилом виявлення СРЛ, визначаємо графічно та аналітично СРЛ в формі замикаючої ланки для поставленої задачі:

$$A_{\Delta} = A_6 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 \quad (6.1)$$

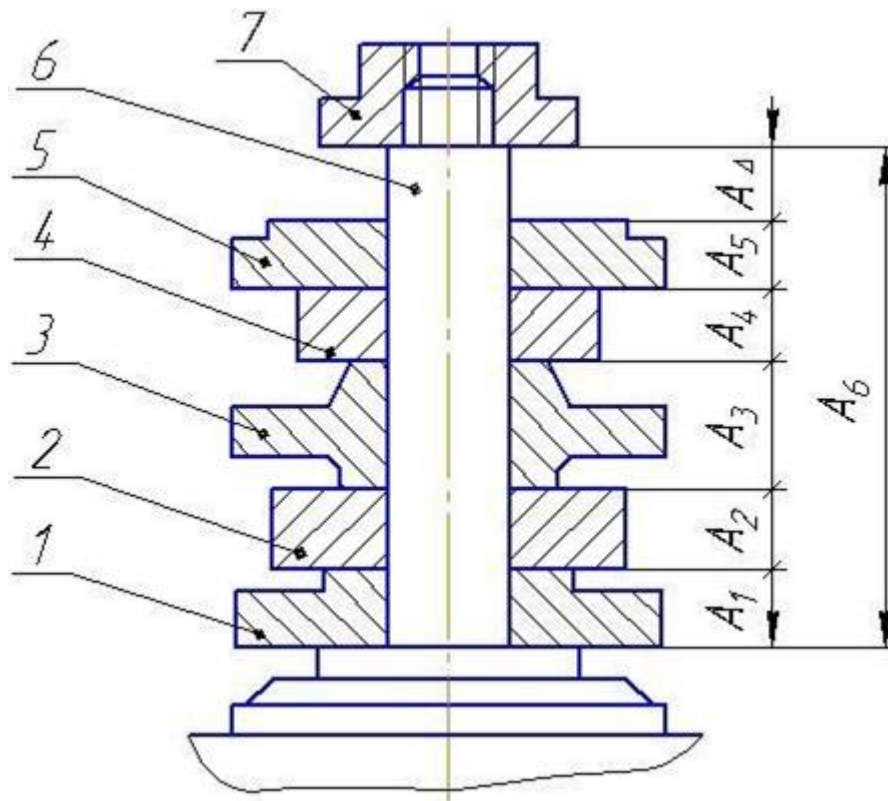


Рисунок 6.1 – Ескіз вузла з графічно виявленим СРЛ

При розв'язанні прямої задачі за методом повної взаємозамінності усереднений допуск $\delta A_{i \text{ сер}}$ на кожну ланку дорівнює:

$$\delta A_{i \text{ сер}} = \frac{\delta A_{\Delta}}{m - 1} = \frac{0,6}{6} = 0,1 \quad (6.2)$$

Тобто допуск на кожну складову ланку (за умови рівності допусків) не повинен в середньому перевищувати 0,1 мм. Тільки при таких допусках буде витримана вимога конструктора $A_{\Delta} = 2,5 \pm 0,3$ мм в усіх випадках.

За умовами задачі:

$$A_1 = 14 \pm 0,2; \quad A_2 = 12 \pm 0,2; \quad A_3 = 15 \pm 0,2; \\ A_4 = 8 \pm 0,2; \quad A_5 = 12 \pm 0,2; \quad A_6 = 63,5 \pm 0,2$$

Як показали попередні заміри, всі деталі мають однаковий розкид розмірів в межах $\pm 0,2$ мм, тобто розсіяння розмірів становить $\omega A_i = 0,4$ мм, і криві щільності їх розподілу наближуються до закону нормального розподілу.

Таким чином, при розрахунку СРЛ методом повної взаємозамінності при таких розсіюваннях складових ланок забезпечити замикаючу ланку в заданих межах не вдається, тому що використовуючи правило додавання допусків (полів розсіювання) при методі повної взаємозамінності, отримуємо:

$$\omega A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \omega A_i = \sum_1^6 0,4 = 2,4 \text{ мм} \quad (6.3)$$

що значно перевищує потрібне значення допуску.

Використовуючи імовірнісний метод вирішення поставленої задачі, записуємо рівняння розсіювання замикаючої ланки:

$$\omega A_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 \omega A_i^2} \quad (6.4)$$

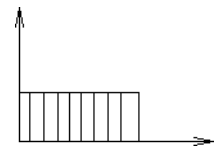
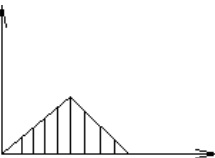
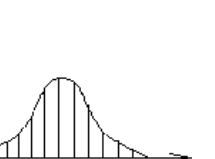
де t_{Δ} - коефіцієнт ризику, який відповідає певному відсотку очікуваного браку (Р%) за точністю замикаючої ланки при умові нормального закону розподілу розмірів цієї ланки (таблиця 6.1);

λ_i - коефіцієнт, який характеризує закон розподілу i -тої складової ланки (таблиця 6.2).

Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнту ризику і очікуваного відсотку браку

t_{Δ}	1.0	1.65	2.0	2.57	3.0	3.29	3.89
P%	33	10	4,5	1,0	0,27	0,1	0,01

Таблиця 6.2 – Значення коефіцієнту λ_i^2 для різних законів розподілу

Форма кривої	Назва закону	λ_i^2
1	2	3
	Рівної вірогідності	1/3
	Рівнобічного трикутника	1/6
	Нормального розподілу	1/9

Прийнявши певний закон розподілу для кожної складової ланки і знаючи точність виконання їх розмірів ωA_{Δ} , знайдемо значення t_{Δ} з рівняння (6.4) для умови $\omega A_0 = \delta A_{\Delta}$.

$$t_{\Delta} = \frac{\delta A_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 \omega A_i^2}} \quad (6.5)$$

а за знайденим значенням t_{Δ} можна встановити можливий відсоток браку

(див. таблицю 6.1).

Порядок виконання роботи

1. Накреслити ескіз складальної одиниці з графічним зображенням СРЛ для поставленої задачі (див. рисунок 6.1).

2. Записати рівняння СРЛ (6.1) в формі замикаючої ланки. Розв'язати пряму задачу за відомими значеннями розмірних параметрів всіх складових ланок A_1, A_2, \dots, A_6 методом повної взаємозамінності.

3. Встановити виконання заданої вимоги точності збирання складальної одиниці при вирішенні СРЛ методом повної взаємозамінності, порівнюючи отримані значення A_Δ із заданим конструктором зазором $A_\Delta = (2,5 \pm 0,3)$ мм.

4. Обравши закони розподілу складових ланок СРЛ за таблицею 6.2 (для розрахунків рекомендується нормальний закон) і відповідні їм значення коефіцієнтів λ_i , визначити за формулою (6.5) коефіцієнт ризику t_Δ .

5. За таблицею 1 для знайденого значення t_Δ через лінійну інтерполяцію або шляхом побудови графіка $P\% = f(t_\Delta)$ визначити очікуваний відсоток браку $P\%$.

6. У відповідності із складальним кресленням (рисунок 6.1) без будь-якого підбору деталей, які входять до складальної одиниці, зібрати не менше ніж 10 складальних одиниць.

7. Штангенрейсмусом замірити величину зазору (замикаючої ланки A_Δ) в усіх складальних одиницях. Значення занести в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати вимірювання зазорів

Номер складальної одиниці	1	2	...	10	Брак	
					Кількість складальних одиниць	%
Розмір A_6						
Розмір ΣA_i						
Значення A_Δ						

8. Визначити відсоток браку, як співвідношення кількості складальних одиниць, у яких не додержані вимоги по точності ланки A_{Δ} , до загальної кількості вузлів. Порівняти практично отриманий відсоток браку з розрахунковим.

9. Побудувати полігон щільності розподілу вимірних величин (рисунок 6.2).

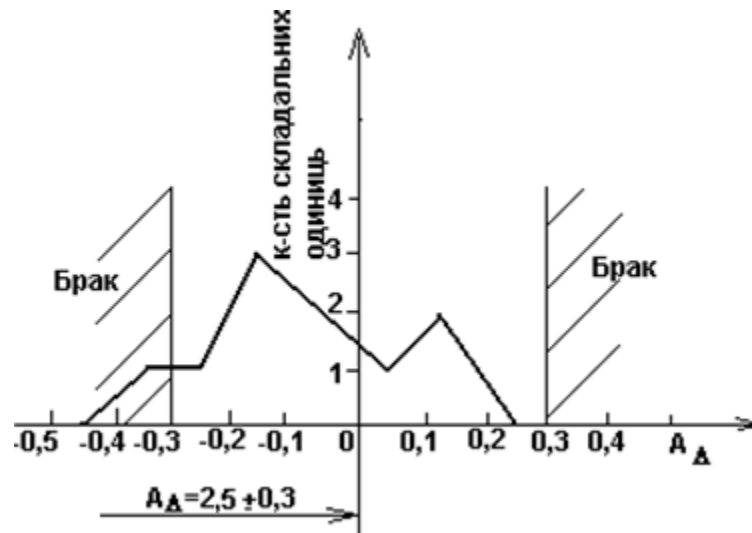


Рисунок 6.2 – Полігон щільності розподілу зазорів A_{Δ} для складальних одиниць

10. Розібрати всі вузли і вибрати деталі, які позначені однією лункою, і окремо деталі, які позначені двома лунками. Деталі з однією лункою-позначкою виконані з мінімальним розміром збільшуючої ланки A_6 і з максимальними розмірами всіх зменшуючих ланок A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 . Деталі з двома лунками-позначками виконані з максимальними розмірами усіх зменшуючих ланок.

11. Скласти одну складальну одиницю з деталей з однією лункою-позначкою, іншу – з двома лунками-позначками. Це відповідає найнесприятливій комбінації розмірів деталей при їх складанні.

12. Штангенрейсмусом виміряти розмір A_{Δ} , в складальних одиницях. Вимірні значення A_{Δ} , занести до таблиці 6.4.

Порівняти вимірні значення зазорів із заданими конструктором.

Зробити висновки про придатність складальних одиниць.

Таблиця 6.4 – Результати вимірювання A_{Δ}

Розмір $A_{\Delta\text{вим}}$ у складальних одиниць, зібраних з деталей, мм		A_{Δ} , за кресленням, мм
з одним отвором	з двома отворами	
		$A_{\Delta} = 2,5 \pm 0,3$

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Технологічне оснащення.
3. Методи вирішення багатоланцюгових СРЛ.
4. Ескіз вузла.
5. Вирішення задачі методом повної взаємозамінності.
6. Вирішення задачі методом неповної взаємозамінності.
7. Результати вимірювання проміжків.
8. Побудова полігона щільності розподілу проміжків.
9. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте суть імовірнісного методу складання.
2. Визначте кількість ланок СРЛ, при якій доцільно використовувати імовірнісний метод досягнення точності складання.
3. Запишіть формулу для визначення величини допуску замикаючої ланки (поля розсіювання) при імовірнісному методі розрахунку СРЛ.
4. Наведіть порядок розрахунку розмірних ланцюгів. Записати рівняння.
5. Сформулюйте переваги імовірнісного методу складання в порівнянні з методом повної взаємозамінності.
6. Визначте і обґрунтуйте при якому законі розподілу складових ланок відсоток імовірного браку буде найбільшим, а при якому – найменшим.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Технологічне забезпечення якості обробки окремих поверхонь деталі

Мета роботи - аналіз варіантів проектування технологічних маршрутів обробки поверхонь деталей машин, вивчення та дослідження окремих етапів та методів механічної обробки.

Обладнання та інструменти

1. Токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20.
2. Широкоуніверсальний фрезерний верстат мод. 676П.
3. Вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н135.
4. Координатно-розточувальний верстат мод. 2А430.
5. Затискні пристрої.
6. Різальні інструменти.
7. Вимірювальні інструменти.
8. Хронометр.
9. Заготовки.

Загальні відомості

Розробка технологічного процесу обробки деталі починається з визначення технологом окремих методів обробки конкретних поверхонь деталі, що підлягають механічній обробці. Вибір технологічного маршруту обробки окремої поверхні починається з вибору метода кінцевої обробки, який повинен забезпечити досягнення заданих показників точності та шорсткості з мінімальними витратами. Методи попередньої обробки визначають або спираючись на логічно обґрунтовану послідовність (наприклад перед «чистовим шліфуванням слід виконувати чорнове»), або на виробничий досвід

проектування аналогічних технологічних процесів.

Величина необхідного уточнення визначається як:

$$\varepsilon_{\text{необ}} = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}} \quad (7.1)$$

де $Td_{\text{заг}}$, - допуск даної поверхні в заготовці, мм;

$Td_{\text{дет}}$ - допуск даної поверхні в деталі, мм.

Фактичне уточнення дорівнює:

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (7.2)$$

де ε_i – часткові уточнення по переходах:

$$\varepsilon_i = \frac{Td_{i-1}}{Td_i} \quad (7.3)$$

де Td_{i-1} - допуск попереднього переходу, мм;

Td_i – допуск переходу, що виконується, мм.

Правильність вибраного маршруту перевіряють співвідношенням $\varepsilon_{\text{необ}}$ та $\varepsilon_{\text{факт}}$, яке повинно мати вигляд:

$$\varepsilon_{\text{факт}} \geq \varepsilon_{\text{необ}} \quad (7.4)$$

Досягнення запланованих показників кожного i -го методу технологічного маршруту, в тому числі і мінімальної собівартості, можливе лише при умові вибору оптимальних параметрів обробки на тому чи іншому верстаті. Для цього необхідно виконати наступні умови:

- розрахувати мінімально можливий припуск на механічну обробку;
- обрати оптимальні режими обробки;
- визначити фактичні втрати часу на виконання даного методу обробки;
- провести структурний аналіз операції з метою зменшення основного, допоміжного часу, а також його непродуктивних витрат.

Отримання розмірів можливе двома методами: методом випробувальних проходів та вимірювань або методом автоматичного отримання розмірів.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва потрібна точність виробу досягається методом пробних проходів та вимірювань. Налагодження верстата по пробному проходу здійснюється для кожної нової деталі окремо: обробляють невелику ділянку поверхні заготовки, вимірюють отриманий розмір і коригують глибину різання. Для цього використовують лімби верстата, індикаторні упори або універсальні вимірювальні пристрої. Після досягнення розрахункового значення налагоджувального розміру обробляють всю поверхню.

Перевагою методу є його простота і незалежність від способу базування заготовки, недоліком - втрати робочого часу при налагодженні.

При використанні методу пробних проходів та вимірювань, керуючись технологічною документацією або власним досвідом, верстатник розподіляє припуск на механічну обробку на чорнову та чистову зони. Далі виконується поетапне налагодження верстата з поступовим наближенням точності розміру та шорсткості до необхідних. Послідовність розрахунків для виконання певної обробки поверхні:

- визначення загального припуску на обробку:

$$Z_{\text{заг}} = \frac{d_{\text{заг}} - d_{\text{дет}}}{2} \quad (7.5)$$

де $d_{\text{заг}}$ – діаметр (розмір) заготовки, мм;

$d_{\text{дет}}$ – діаметр (розмір) деталі, мм;

- розподіл загального припуску на частини, вибираючи при цьому припуск

на чистову, проміжну та чорнову обробки;

- визначення проміжних розмірів, які необхідно отримати після кожного етапу обробки. Наприклад, проміжний розмір після чорнового точіння зовнішньої циліндричної поверхні визначається за формулою:

$$d_{\text{пром}} = d_{\text{заг}} - 2Z_{\text{чорн}} \quad (7.6)$$

де $2Z_{\text{чорн}}$ – чорновий припуск на діаметр, мм;

- визначення налагоджувального розміру:

$$A_{\text{н}} = \frac{A_{\text{max}} + A_{\text{min}}}{2} + \omega_{\text{д}} \quad (7.7)$$

де A_{max} – максимальний граничний розмір за кресленням, мм;

A_{min} – мінімальний граничний розмір за кресленням, мм;

$\omega_{\text{д}}$ – поправка, яка враховує деформації в пружній технологічній системі і шорсткість поверхні еталонної деталі, по якій відбувається налагодження (визначається робочим в залежності від виду обробки; при обробці валів приймається знак мінус, при обробці отворів – знак плюс).

При налагодженні верстатів в умовах серійного та масового виробництва різальний інструмент встановлюється по різних калібрах та еталонах на нерухомому (статичному) верстаті. Цей метод досягнення точності називається методом автоматичного отримання розмірів. З метою скорочення часу налагодження встановлення інструменту здійснюється по деталі-еталону або спеціальному калібру, які розташовуються на верстаті на місці оброблюваної заготовки.

Інструмент підводиться до дотику з поверхнею еталону і закріплюється. Одночасно встановлюються відповідні упори на верстаті. При налагодженні верстата для обробки площинних заготовок з точними розмірами, як встановлювальний калібр, використовують спеціальні установи з щупами або

мірні плитки. У деяких випадках використовують індикаторні пристрої. Статичне налагодження може бути виконане кількома методами: по випробувальних заготовках за допомогою робочого калібру; по випробувальних заготовках за допомогою універсального вимірювального інструменту та т. ін. При статичному налагодженні про його якість судять за результатами обробки випробувальної партії деталей і за потреби проводять необхідне підналагодження (статичне або динамічне). Якщо вплив змінних систематичних похибок незначний, що має місце при невеликих партіях деталей, налагоджувальний розмір визначають як:

$$A_H = \frac{A_{max} + A_{min}}{2} \pm 0,5T_H \quad (7.8)$$

де T_H – допуск налагодження:

$$T_H = T_A - 6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) \quad (7.9)$$

де T_A – допуск розміру, що виконується;

σ – середнє квадратичне відхилення;

m – кількість випробувальних заготовок (приймається від 2 до 8).

В іншому випадку, коли вплив змінних похибок значний, для настроювання використовують як мінімальний, так і максимальний розміри, для групи деталей, величини яких визначають за формулами 7.10 та 7.11.

Мінімальний розмір для групи деталей:

$$A_{min\,gr} = A_{min} + 3\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) \quad (7.10)$$

Максимальний розмір для групи деталей:

$$A_{max\,gr} = A_{max} - b - 3\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) \quad (7.11)$$

де b – частина допуску, що призначена для компенсації спрацювання різального інструменту:

$$b = T_A - 6\sigma \cdot (1 + 1/\sqrt{m}) - T_H \quad (7.12)$$

Порядок виконання роботи

Робота виконується за варіантами: 1, 2, 3, 4.

1. Ознайомитись з вихідними даними для виконання роботи (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для виконання лабораторної роботи

Варі-ант	Поверхня	Розмір, допуск	Заготовка, допуск	Операція	Тип виробництва
1	Зовнішня обертання	X	X	Обточування чистове	Середньо-серійний
2	Внутрішня обертання	X	X	Зенкерування попереднє	Дрібносерійний
2	Площина	X	X	Фрезерування чистове	Багатосерійний
4	Отвір	X	X	Розточування попереднє	Одиничний

X – визначається викладачем

2. Керуючись даними (таблиця 7.1) вибрати метод кінцевої обробки. Обрати методи попередньої обробки і користуючись формулами (7.1), (7.2), (7.3) та (7.4) проаналізувати правильність обраного маршруту.

3. За даними таблиці 7.1 розробити задану операцію. З цією метою:

3.1. Обрати метод отримання розмірів (метод автоматичного отримання розмірів або метод випробувальних проходів та вимірювань).

3.2. За даними (таблиця 7.1) розрахувати мінімальні та максимальні припуски на обробку.

3.3. Розрахувати налагоджувальні розміри. При отриманні розмірів методом випробувальних проходів та вимірювань налагоджувальні розміри визначаються для переходів (проходів) за формулою 7.7. При застосуванні методу автоматичного отримання розмірів налагоджувальний розмір визначається за формулами 7.8-7.12.

3.4. Розрахувати режими різання:

3.4.1. Розрахувати довжину робочого ходу різального інструменту за формулою:

$$L = L_P + L_{\Pi} \quad (7.13)$$

де L_P – довжина різання, мм;

L_{Π} – довжина врізання та перебігу різального інструменту, мм. Для токарних операцій значення L_{Π} обрати із таблиці 1 додатку Д. Для операції зенкерування – із таблиці 2 (Додаток Д), для фрезерування – із таблиці 3 (додаток Д).

3.4.2. Визначити величину подачі. Для токарних операцій подача визначається за таблицями 1 та 2 додатку Е. Значення величини подачі при зенкеруванні (таблиці 4, 5 додатку Е) залежить від групи подачі, що визначається відповідно до таблиці 3 додатку Е.

Подача при фрезеруванні визначається за формулою:

$$S_O = S_Z \cdot z \quad (7.14)$$

де S_Z – подача на зуб, мм/зуб (таблиці 6, 7 додаток Е);

z – кількість зубців фрези.

3.4.3. Визначити стійкість різального інструменту. Для різців та зенкерів стійкість визначається за формулою:

$$T_P = T_M \cdot \lambda \quad (7.15)$$

де T_M – стійкість в хвилинах основного часу роботи верстату, хв. Для токарного інструменту T_M приймати відповідно до таблиці 1 додатку Ж, для зенкерів – таблиця 2 додатку Ж;

λ – коефіцієнт часу різання, що рівний відношенню довжини різання інструменту до загальної довжини робочого ходу шпинделя. Приймаємо $\lambda = 1$.

Стійкість різального інструменту при фрезеруванні визначається за формулою:

$$T_P = T_M \cdot \lambda \cdot K \quad (7.16)$$

де K – коефіцієнт, що враховує нерівномірність завантаження інструменту. Визначається відношенням глибини різання t до діаметру фрези d та приймається відповідно до таблиці 4 додатку Ж.

Стійкість в хвилинах основного часу роботи верстату T_M для фрез визначається за таблицею 3 додатку Ж.

3.4.4. Визначити швидкість різання за формулою:

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (7.17)$$

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв (таблиці 1-3 додатку Е);

K_1 – коефіцієнт, що залежить від марки оброблюваного матеріалу (таблиці 7, 10, 13 додатку Е);

K_2 – коефіцієнт, що залежить від інструментального матеріалу та подачі (таблиці 8, 11, 14 додатку Е);

K_3 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту T_P (таблиці 9, 12, 15 додатку Е).

Швидкості різання при різних видах обробки деталей із алюмінієвих сплавів приймаються відповідно до таблиць 4-6 додатку Е.

3.4.5 Визначити частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (7.18)$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні. При фрезеруванні D – діаметр фрези.

Визначити дійсну частоту обертання шпинделя n_d . Для цього коригувати розраховану частоту, прийнявши найближче менше значення за паспортними даними верстату (таблиця 7.2).

Таблиця 7.2 – Ряд частот обертання шпинделя, об/хв

Назва та модель верстата	Ряд частот обертання шпинделя, об/хв
Токарно-гвинторізний 16К20	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600
Вертикально-свердлильний 2Н135	31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400
Вертикально-фрезерний 6Т13	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600

3.4.6. Визначити хвилинну подачу при токарній обробці та зенкеруванні за формулою:

$$S_{хв} = S_0 \cdot n_d \quad (7.19)$$

Хвилинна подача при фрезеруванні визначається за формулою:

$$S_{хв} = S_z \cdot z \cdot n_d \quad (7.20)$$

Скоригувати значення хвилинної подачі за паспортними даними верстату.

3.4. Під керівництвом учбового майстра самостійно виконати налагодження верстата і накреслити схему налагодження.

3.5. Розрахувати витрати основного часу.

Основний час при точінні визначається за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_o \cdot n_d} \quad (7.21)$$

Основний час при зенкеруванні та фрезеруванні визначається за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_{XB}} \quad (7.22)$$

3.6. Виконати хронометраж операції.

3.6.1. Підготовка до проведення хронометражу:

- ознайомитися зі змістом операції та організацією робочого місця;
- розподілити операцію на окремі складові частини і визначити фіксовані точки – чіткі ознаки, що визначають моменти початку та кінця кожного елементу операції (дотик руки до деталі або її відняття і т. ін.);
- підготувати лист спостережень, до якого необхідно занести елементи операції згідно з визначеними фіксованими точками (таблиця 7.3).

Таблиця 7.3 – Лист спостережень

Елементи операції (фіксовані точки)	Поточний час, с	Номер і час спостережень, с			Сумарна тривалість спостережень, с	Число спостережень	Середня арифметична величина
	Тривалість спостережень, с	1	2	3			
Взяти заготовку, встановити, закріпити на верстаті (момент дотику рукою заготовки – момент відняття руки)	П	20					
	Т	20					
Включити верстат	П	24					
	Т	4					
Підвести інструмент	П	30					
	Т	6					
і т. ін.							

3.6.2. Провести вимірювання за поточним часом без зупинки стрілки секундоміра, необхідно лише встигати записувати показання секундоміра на кінець кожного елемента технологічної операції.

3.6.3. Визначити тривалість кожного спостереження (елемента) шляхом віднімання поточного часу кожного попереднього елемента від поточного часу кожного наступного елемента.

3.6.4. Визначити оперативний час виконання операції, як суму виконання кожного елемента операції.

4. Провести аналіз структурних складових операції і розробити рекомендації з їх оптимізації.

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Технологічне оснащення.
3. Вихідні дані для роботи.
4. Вибір методу кінцевої обробки та його обґрунтування.
5. Маршрут обробки поверхні і розрахунки, що підтверджують його оптимальність.
6. Вибір методу отримання розмірів.
7. Розрахунки налагоджувальних розмірів.
8. Розрахунки режимів різання.
9. Схема налагодження операції.
10. Розрахунки основного та допоміжного часу по елементах.
11. Хронометражна карта і результати вимірювань.
12. Пропозиції, щодо удосконалення структури операції.
13. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Навести послідовність вибору технологічного маршруту обробки окремої поверхні.
2. Дати визначення необхідного, фактичного, часткового уточнень.
3. Методи забезпечення заданої точності розмірів.
4. Визначення припуску на обробку. Види припусків.
5. Призначення хронометражу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Дослідження впливу розмірного зношування інструмента на точність обробки при роботі на настроєних верстатах

Мета роботи - ознайомитись з впливом спрацювання інструмента на точність обробки при роботі на настроєних верстатах при автоматичному отриманні заданої точності. Дослідити розмірну стійкість інструмента для вибраних умов обробки на прикладі обробки деталей на токарних верстатах. Встановити вплив розмірної стійкості інструмента на задану точність обробки.

Обладнання та інструменти

1. Токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20.
2. Патрон трикулачковий; обертальний центр до задньої бабки з конусом Морзе № 4.
3. Різець прохідний правий з кутом в плані $\varphi = 45^\circ$; матеріал різальної частини Т15К6.
4. Заготовка – вал довжиною $l = 500$ мм , діаметром 120 мм, (сталь 45).
5. Пристрій для вимірювання розмірного зносу різця.

6. Ванночка з водою ($t = 20^{\circ}\text{C}$).
7. Штангенциркуль.
8. Захисні окуляри.
9. Калькулятор.

Загальні відомості

Під точністю обробки в технології машинобудування розуміють ступінь відповідності геометричних параметрів виготовлення деталей геометричним параметрам заданого зразка. Як правило, зразок задається кресленням деталі. Точність обробки деталей – це показник, що включає диференційовані показники: точність розміру; точність геометричної форми окремих поверхонь; точність відносних поворотів та взаємного положення поверхонь; хвилястість і шорсткість поверхонь. Кожен з цих показників характеризується відповідними числовими характеристиками, які дозволяють оцінювати та порівнювати отриману точність обробки з заданою точністю.

В процесі обробки деталей на технологічну систему діє множина постійних та випадкових факторів, що впливають на точність обробки, а тому досягти абсолютної точності неможливо.

Одним із основних технологічних факторів, який викликає похибки механічної обробки є, так званий, розмірний знос інструмента та неточність виготовлення вимірювального інструмента. Відомо, що інструмент в процесі роботи спрацьовується (зношується). Знос інструмента, як складне фізико-хімічне явище, залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу, властивостей його поверхневого шару, режимів різання, матеріалів та геометрії ріжучої частини інструмента, виду та способу подачі МОР та багатьох інших факторів.

З геометричної точки зору знос можна розглядати як зміну вихідної геометрії ріжучої частини інструмента, яка викликає в свою чергу зміну точності розмірів та форми оброблюваних поверхонь, а також шорсткості останніх.

Критеріями зносу можуть бути величини фасок зносу по поверхні ріжучої частини інструмента, погіршення шорсткості оброблюваних поверхонь, збільшення зусиль різання, розмірний знос інструмента та інші.

Під розмірним зносом інструмента розуміють знос в напрямку по нормалі до оброблюваної поверхні. Цей критерій найбільш важливий при дослідженні точності обробки, особливо на фінішних операціях.

В процесі різання розмірний знос інструмента протікає нерівномірно (рисунок 8.1).

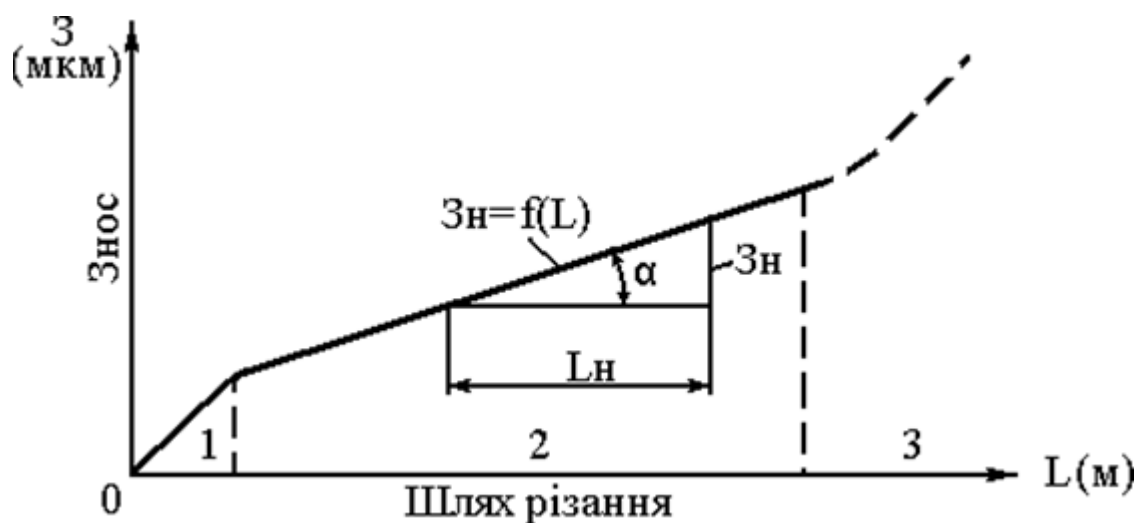


Рисунок 8.1 – Залежність розмірного зносу інструмента від шляху різання

Крива зносу складається з трьох відрізків:

- відрізок 1 – характеризує найбільший розмірний знос;
- відрізок 2 – відповідає нормальному зносу інструмента Z_n . Це найбільш тривалий відрізок, знос інструмента на якому можливо розрахувати пропорційно часу його роботи, тобто залежність розмірного зносу інструмента від шляху різання можливо розрахувати, як ($Z_n = f(L)$). При цьому кут нахилу прямої визначає інтенсивність зносу;
- відрізок 3 – характеризується швидким зносом інструмента, що приводить до руйнування леза. Доводити інструмент до руйнування недоцільно. Необхідно своєчасно, з метою збільшення терміну служби інструмента, провести його заточування.

При дослідженні точності обробки технолога найбільше цікавить другий відрізок кривої зносу інструмента, який може бути охарактеризований відносним зносом Z_B , тобто зносом ріжучого інструмента на 1000 м (1 км) шляху різання в мкм/км.

$$Z_B = \frac{1000 \cdot Z_H}{L_H} \quad (8.1)$$

де Z_H – розмірний знос інструмента в мкм на другому відрізку за деякий шлях різання L_H ;

L_H – шлях різання в кілометрах на другому відрізку кривої зносу інструмента, на якому встановлено Z_H .

При обробці деталей на настроєних верстатах розміри та похибки форми оброблюваних поверхонь будуть змінюватись внаслідок розмірного зносу інструмента, і в деякий момент часу обробки стануть близькими до границі встановленого допуску. При «вузьких» допусках, що характерно для чистових методів обробки, доводиться верстат підналагоджувати за час стійкості одного інструмента. Задача підналагодження міститься в тому, щоб розміри оброблюваних деталей знаходились в межах встановленого допуску. Настроювання інструмента можна проводити вручну чи за допомогою різноманітних пристроїв та механізмів, що діють автоматично. При обробці партії деталей на настроєних верстатах методом автоматичного отримання розмірів необхідно поле розсіювання ω розташувати всередині встановленого конструктором допуску T таким чином, щоб забезпечити компенсацію технологічних похибок, головним чином зносу інструмента протягом великого проміжку часу t_Σ (рисунок 8.2).



Рисунок 8.2 – Графік зміни розмірів оброблюваних деталей внаслідок зносу інструмента

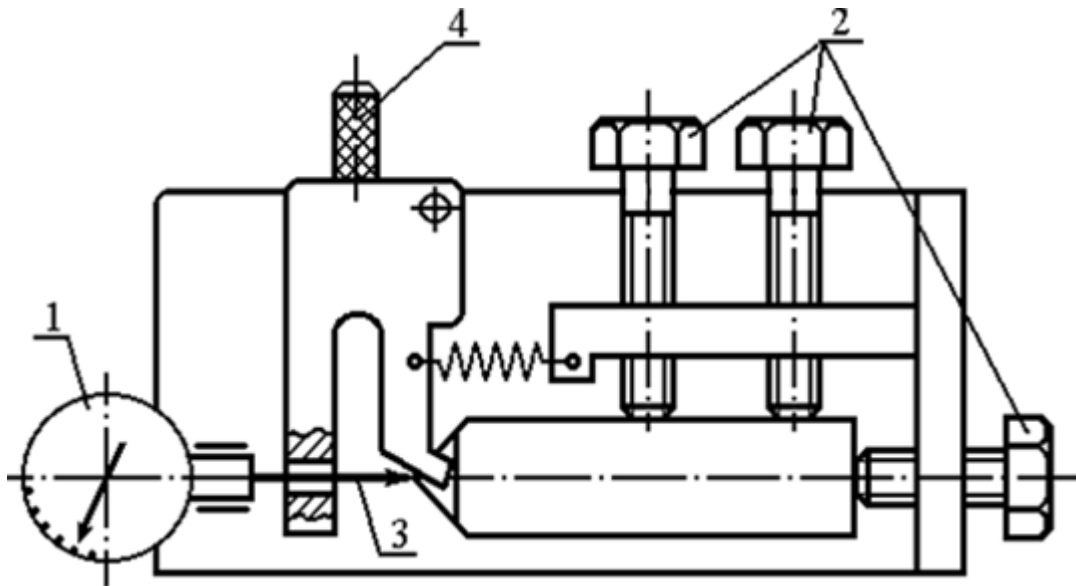
На графіку по осі ординат відкладають розміри оброблюваних деталей або середній розмір груп послідовно оброблюваних деталей, а по осі абсцис номери деталей, час обробки чи інший параметр, що характеризує протікання процесу.

Як тільки розміри оброблюваних деталей підходять до контрольної границі, необхідно провести підналагодження. Вибір контрольних границь визначається з теорії ймовірності для конкретних умов обробки на основі техніко-економічного розрахунку. Розширення контрольних границь збільшує час між сусідніми підналагодженнями та одночасно можливість появи браку, а тому в кожному конкретному випадку обирають найбільш економічний варіант. Зміщення налагоджувального розміру до координати середини поля допуску приводить, як видно з рисунку 8.2, до зменшення часу між підналагодженнями.

Щоб уникнути складних розрахунків, в даній лабораторній роботі умовно приймаються контрольні границі, які відстоять (знаходяться) від границь поля допуску на 10% величини допуску, а за налагоджувальний розмір – одну з контрольних границь (для валу – нижню). Знаючи величину допустимого зносу $z_{\Sigma} = 0,8T$ та відносного зносу інструмента, знайденого для конкретних умов обробки експериментально, можна визначити періодичність підналагоджень інструменту, яка може бути виражена в штуках при заданих

розмірах оброблюваних поверхонь, або часом роботи різця, або пройденим ним шляхом різання.

Для вимірювання розмірного зносу інструмента використовують контрольний пристрій з мікронним індикатором 1 (рисунок 8.3).



1 – індикатор; 2 – опори; 3 – ніжка індикатора; 4 – важіль

Рисунок 8.3 – Пристрій для виміру розмірного зносу різця

Перед установкою різця на верстат необхідно налагодити контрольний пристрій. Для цього різець, попередньо охолоджений в ванночці з водою, опорною поверхнею встановлюють в пристрої і регулюючими опорами 2 добиваються того, щоб вимірювальна ніжка індикатора 3 строго знаходилась на вершині різця. Перед встановленням та зняттям різця вимірювальну ніжку індикатора необхідно відводити важелем 4. Ніжка індикатора повинна упиратися в вершину різця з натягом не менше 0,1 мм. При вимірюванні необхідно слідкувати за тим, щоб кожного разу різець займав однакове положення. Для цього його грані при вимірюванні необхідно підтискати до установочних елементів 2 контрольного пристрою.

Порядок виконання роботи

1. Встановити та закріпити заготовку на верстаті.

2. Опустити різець в ванночку з водою та охолодити його протягом $3 \div 5$ хв.
3. Встановити різець в контрольний пристрій, як показано на рисунку 8.3, налагодити індикатор на нуль.

4. Встановити та закріпити різець в різцетримачі; вершина різця повинна знаходитися на рівні заготовки.

5. Відповідно до нормативів режимів різання при обробці деталей із сталі різцями з пластинками твердого сплаву для глибини різання $t = (0,2 \div 0,4)$ мм вибрати за паспортними даними верстата подачу S_o в діапазоні $S_o = (0,1 \div 0,8)$ мм/об та швидкість різання V в діапазоні $V = (40 \div 60)$ м/хв.

Визначити частоту обертання шпинделя, хв^{-1} ;

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} \quad (8.2)$$

де D_3 - діаметр заготовки, мм.

Скоригувати за паспортними даними верстата n_p (прийняти найближче менше значення n) та встановити n на верстаті.

Знайти дійсну швидкість різання, м/хв.:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n}{1000} \quad (8.3)$$

6. За вибраними режимами різання обточити заготовку протягом 2-х хв.
7. Зняти різець з верстата, охолодити його протягом $3 \div 5$ хв. в ванночці, заміряти величину зносу за вказаний проміжок часу роботи інструменту.
8. Повторити прийоми пунктів 6 та 7 для 4, 6, 8, 10 хвилин роботи інструмента. Дані занести до таблиці 8.1.
9. Визначити шлях різання в метрах за $T_i = 2, 4, 6, 8, 10$ хвилин за формулою:

$$L_i = V_D \cdot T_i \quad (8.4)$$

Дані занести до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Експериментальні дані

Час роботи інструменту, хв	T_i	2	4	6	8	10
Знос інструменту, мкм	Z_i					
Шлях різання, м	L_i					

10. Побудувати графік розмірного зносу інструмента в координатах: по осі ординат відкладати знос Z_i , а по осі абсцис – довжину різання L_i .

11. На відрізку нормального зносу визначити величину нормального зносу за формулою:

$$Z_B = \frac{Z_H \cdot 1000}{L_H}, \text{ мкм/км} \quad (8.5)$$

12. Для заданого викладачем допуску на розмір встановити допустиму величину зносу:

$$Z_\Sigma = 0,8T \quad (8.6)$$

13. Для заданих викладачем розмірів оброблюваних деталей та вибраних режимів і умов обробки визначити періодичність підналагоджень в штуках. Відомо, що похибка обробки від зносу інструменту визначається рівнянням:

$$\Delta Z = Z_H + Z_B \frac{\pi \cdot d_D \cdot L_D \cdot N_{шт}}{10^6 \cdot S_o} \quad (8.7)$$

де Z_H – розмірний знос, мкм/км;

Z_B – відносний знос (інтенсивність зносу), мкм/км, що відповідає 1000м шляху різання;

d_D – діаметр обробки (деталі), мм;

L_D – довжина обробки (деталі), мм;

$N_{шт}$ – число оброблених поверхонь (деталей), штук;

S_o – подача різця, мм/об.

Приймаючи для спрощення $Z_H = Z_B$ і враховуючи, що допустима величина зносу не повинна перевищувати похибку обробки, тобто $Z_\Sigma \leq \Delta Z$, одержимо:

$$Z_\Sigma = Z_B \cdot \left(1 + \frac{\pi \cdot d_D \cdot L_D \cdot N_{шт}}{10^6 \cdot S_o} \right) \quad (8.8)$$

Перетворивши це рівняння та розв'язавши його відносно $N_{шт}$, одержимо формулу для визначення періодичності підналагоджень в штуках.

$$N_{шт} = \frac{(Z_\Sigma - Z_B) \cdot S_o \cdot 10^6}{Z_B \cdot \pi \cdot d_D \cdot L_D} \quad (8.9)$$

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Технологічне оснащення.
3. Поняття про розмірний та відносний знос, крива розмірного зносу (рисунок 8.1).
4. Схема обробки заготовки на верстаті.
5. Схема вимірювання розмірного зносу інструмента.
6. Призначення та розрахунки режимів різання t , S , n , V_D .

7. Результати вимірювань та розрахунків, зведені до таблиці 8.1.
8. Графік залежності розмірного зносу від шляху різання – $Z_i = f(L_i)$.
9. Визначення періодичності підналагоджень в штуках.
10. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Поняття точності обробки.
2. Показники точності, на які впливає знос інструмента.
3. Критерії зносу.
4. Причини зносу різального інструменту.
5. Поняття розмірного зносу інструменту.
6. Графік зносу різального інструменту.
7. Поняття відносного зносу.
8. Поняття контрольних границь допуску та величини допустимого зносу.
9. Визначення періодичності підналагоджень різального інструменту.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Розрахунок складального розмірного ланцюга при прямій задачі методом повної взаємозамінності

Мета роботи - ознайомитися з методом повної взаємозамінності, оволодіти навичками розрахунку прямої задачі складального розмірного ланцюга.

Загальні відомості

Розмірний ланцюг – це сукупність взаємопов'язаних розмірів, які утворюють замкнений контур і визначають взаємне положення поверхонь (або

осей) однієї чи декількох деталей. Замкнутість розмірного ланцюга призводить до того, що розміри, які входять до нього, не можуть призначатись незалежно, тобто значення та точність хоча б одного з розмірів визначаються за рахунок інших.

За областю використання розмірні ланцюги поділяють на: технологічні, конструкторські, вимірювальні.

Технологічні розмірні ланцюги вирішують задачу по забезпеченню точності при виготовленні деталей, встановлюючи зв'язок розмірів деталі на різних етапах технологічного процесу.

Конструкторський розмірний ланцюг визначає відстані між поверхнями або осями поверхонь деталей у виробі. При розробці технологічних процесів складання, конструкторські розмірні ланцюги ще називають складальними.

Вимірювальний розмірний ланцюг визначає зв'язок між ланками, які впливають на точність вимірювання.

Розміри, що утворюють розмірний ланцюг, називаються ланками. Ланка, до якої пред'являються основні вимоги щодо точності є вихідною. В процесі обробки або складання виробу вихідна ланка є останньою, що замикає розмірний ланцюг, тому називається замикаючою (A_{Δ}). З точки зору формоутворення замикаюча ланка безпосередньо не виконується, а є результатом виготовлення всіх інших ланок ланцюга.

Всі інші ланки розмірного ланцюга називаються складовими (A_1, A_2, \dots, A_i), зі зміною яких змінюється і замикаюча ланка. До складу будь-якого розмірного ланцюга входить одна замикаюча ланка та дві чи більше складові ланки.

Складові ланки поділяються на збільшувальні та зменшувальні. Збільшувальна ланка (\vec{A}_i) – ланка, при збільшенні якої замикаюча ланка теж збільшується. Зменшувальна ланка (\overleftarrow{A}_i) – ланка, при збільшенні якої замикаюча ланка зменшується.

Метод повної взаємозамінності – метод, при якому необхідна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у всіх складених вузлах без

будь-якого підбору, регулювання чи припасування складальних одиниць за будь-якого поєднання розмірів складових ланок.

Розрахунок розмірного ланцюга зводиться до визначення допусків та граничних відхилень всіх його ланок. При цьому вирішується два типи задач:

- пряма задача;
- зворотна задача.

Пряма задача полягає в тому, що за заданим номінальним розміром та допуском (граничними відхиленнями) замикаючої ланки визначаються номінальні розміри, допуски та граничні відхилення всіх складових ланок розмірного ланцюга.

Зворотна задача полягає у тому, що за встановленими номінальними розмірами, допусками та граничними відхиленнями складових ланок визначаються номінальний розмір, допуск і граничні відхилення замикаючої ланки.

Пряму задачу можна вирішити двома методами:

- методом рівності допусків;
- методом допусків одного квалітету.

Метод рівності допусків доцільно застосовувати для розрахунку розмірного ланцюга, ланки якого мають невеликий розбіг (приблизно однакові) номінальні розміри. В такому випадку, допуски складових ланок призначають однаковими. У випадку великого розбігу номінальних розмірів складових ланок, даний метод застосовувати недопустимо через значний розбіг призначаємих квалітетів точності елементів розмірного ланцюга.

Метод допусків одного квалітету застосовується, якщо всі складові розміри ланцюга можуть бути виконані з допуском одного квалітету, при цьому допуски на розміри залежать від номінальних значень розмірів. За цим методом розраховуються розмірні ланцюги із великим розбігом номінальних розмірів складових ланок.

При даному методі розрахунку, допуск δ для розмірів від 1 до 500 мм визначається виразом:

$$\delta = a \cdot i \quad (9.1)$$

де a – число одиниць допуску для кожного квалітету, яке встановлює взаємозв'язок допуску із квалітетом;

i - величина одиниці поля допуску, що пов'язує допуск з номінальними розмірами ланок, в мкм:

$$i = 0,45\sqrt[3]{A} + 0,001A \quad (9.2)$$

де A – номінальний розмір, мм.

Взаємозв'язок одиниць допуску i та квалітетів точності наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Значення допусків

Позначення квалітету	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>	<i>IT9</i>	<i>IT10</i>	<i>IT11</i>	<i>IT12</i>	<i>IT13</i>	<i>IT14</i>	<i>IT15</i>	<i>IT16</i>
Значення допуску	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$	$250i$	$400i$	$640i$	$1000i$

Величини одиниць полів допуску i для розмірів до 400 мм наведено в таблиці 9.2.

Номінальне значення замикаючої ланки визначається за формулою:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n A_{jзб} - \sum_{j=1}^m A_{jзм} \quad (9.3)$$

де n – кількість збільшувальних ланок;

m – кількість зменшувальних ланок;

$A_{jзб}$ – номінальні розміри збільшувальних ланок, мм;

$A_{jзм}$ – номінальні розміри зменшувальних ланок, мм.

Таблиця 9.2 – Значення одиниці допуску i

Інтервали номінальних розмірів, мм	3	3 6	6 10	10 18	18 30	30 50	50 80	80 120	120 180	180 250	250 315	315 400
Значення i , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54

Середня точність розмірного ланцюга визначається, як відношення:

$$a_{cp} = \frac{\delta A_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{k-1} i_j} \quad (9.4)$$

де k – кількість ланок складального розмірного ланцюга;

i_j – величина одиниці поля допуску номінального розміру (таблиця 9.2).

Допуск розміру замикаючої ланки рівний сумі допусків складових ланок:

$$\delta A_{\Delta} = \sum_{j=1}^{k-1} \delta A_j \quad (9.5)$$

Верхнє відхилення замикаючої ланки:

$$ES(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n ES(A_{jзб}) - \sum_{j=1}^m EI(A_{jзм}) \quad (9.6)$$

де ES – верхнє відхилення допуску на розмір ланки, мкм;

EI – нижнє відхилення допуску на розмір ланки, мкм.

Нижнє відхилення замикаючої ланки:

$$EI(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n EI(A_{jзб}) - \sum_{j=1}^m ES(A_{jзм}) \quad (9.7)$$

Провести дослідження для складальної одиниці – вузла редуктора (рисунок 9.1). Методом повної взаємозамінності застосовуючи допуски одного квалітету, розрахувати допуски та відхилення складових ланок. Технічна вимога, яка висувається щодо точності складання вузла - забезпечити зазор $A_{\Delta} = 0,2^{+0,25}$ мм між торцем кришки та зовнішнім кільцем підшипника.

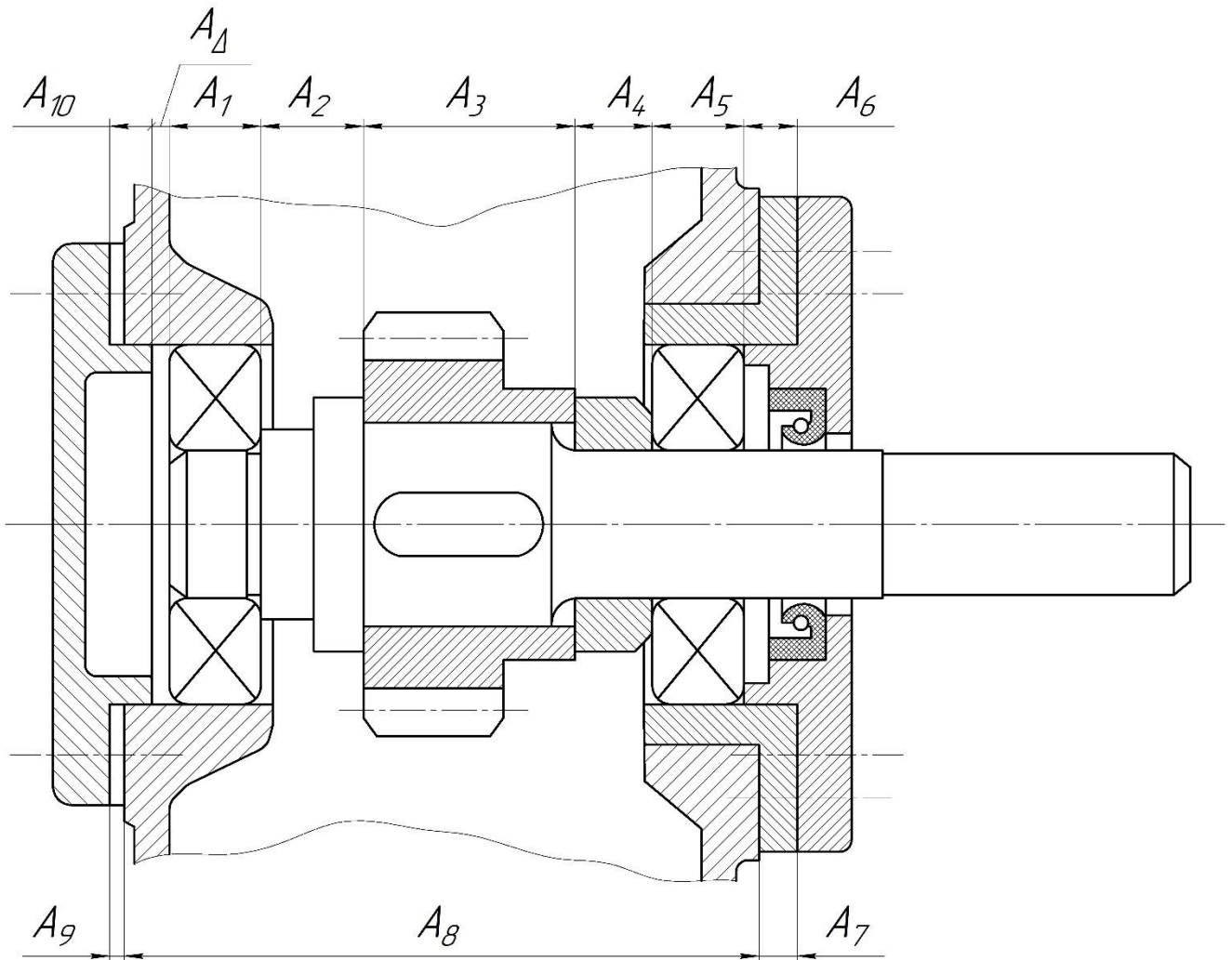


Рисунок 9.1 – Схема вузла редуктора

Номінальні розміри ланок:

$A_1 = 19$ мм;	$A_2 = 20$ мм;	$A_3 = 42$ мм;	$A_4 = 20$ мм;
$A_5 = 19$ мм;	$A_6 = 10$ мм;	$A_7 = 8$ мм;	$A_8 = 130$ мм;
$A_9 = 2,2$ мм;	$A_{10} = 10$ мм.		

Порядок виконання роботи

1. Накреслити ескіз складальної одиниці з графічним зображенням складального розмірного ланцюга для поставленої задачі (див. рисунок 9.1).
2. Визначити збільшувальні (\vec{A}_j) та зменшувальні (\overleftarrow{A}_j) ланки та проставити відповідні позначення на схемі складального розмірного ланцюга.
3. Записати рівняння складального розмірного ланцюга вузла редуктора в формі замикаючої ланки за формулою (9.3) в загальному вигляді та в номінальному.
4. Відповідно до таблиці 9.2 визначити значення одиниці допуску i для номінального розміру кожної складової ланки розмірного ланцюга. Значення i та номінальні розміри занести до таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 – Результати розрахунку

Ланка	Номінальний розмір, мм	i , мкм	ІТ	T , мкм	$ES(A_j)$, мкм	$EI(A_j)$, мкм	C_j , мкм
A_Δ							
A_1							
A_2							
...							
A_{10}							

5. Розрахувати середню точність розмірного ланцюга a_{cp} за формулою (9.4).
6. За знайденим значенням a_{cp} , використовуючи таблицю 9.1, визначити квалітет, за яким повинні бути виконані розміри, що утворюють складальний розмірний ланцюг. Розраховане значення a_{cp} може не співпадати ні з одним зі стандартних значень допуску (таблиця 9.1). В такому випадку можна застосовувати допуски різних (найближчих) квалітетів, враховуючи технологічні умови. Квалітети (ІТ), що призначено для кожного розміру, занести до таблиці 9.3.

7. Головна умова правильного призначення допусків T – допуск замикаючої ланки це сума допусків всіх інших ланок ланцюга (9.5). Для дотримання цієї рівності, необхідно одну із ланок призначити коригуючою. За коригуючу ланку беруть той розмір деталі, який можливо виготовити більш просто та економічно. Призначаємо ланку A_9 (товщину прокладки) коригуючою.

8. З таблиці допусків (додаток Л) за визначеними квалітетами точності знайти допуски T на складові ланки, крім ланки A_9 , та записати їх до таблиці 9.3.

9. Визначити допуск коригуючої ланки розрахувавши рівняння (9.5) відносно A_9 .

10. За таблицею допусків ISO (додаток М) визначити граничні відхилення (верхнє – ES та нижнє – EI) складових ланок, за винятком ланки A_9 . Граничні відхилення на розміри, що відносяться до валів назначати по h , на розміри, що відносяться до отворів – по H ; на інші – $\pm \frac{IT}{2}$. Граничні відхилення записати в таблицю 9.3.

11. За рівнянням (9.6) визначити верхнє граничне відхилення коригуючої ланки A_9 . Значення відхилень складових ланок підставляються у формулу обов'язково зі знаком (+) або (-) відповідно до посадки.

12. За рівнянням (9.7) визначити нижнє граничне відхилення EI коригуючої ланки A_9 .

13. Виконати перевірочний розрахунок за формулою координати середини поля допуску замикаючої ланки:

$$C_{\Delta} = \sum_{j=1}^n C_{jзб} - \sum_{j=1}^m C_{jзм} \quad (9.8)$$

де $C_{jзб}$, $C_{jзм}$ – координати середини кожного поля допуску. Приймаються зі своїм знаком (+) або (-):

$$C_j = \frac{(ES) + (EI)}{2} \quad (9.9)$$

Зробити висновок про вірність розрахунку.

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Сутність методу повної взаємозамінності.
3. Сутність прямої задачі та її методи.
4. Ескіз вузла зі схемою розмірного ланцюга.
5. Вирішення задачі методом повної взаємозамінності застосовуючи допуски одного квалітету.
6. Таблиця результатів розрахунку.
7. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Сутність методу повної взаємозамінності.
2. Дайте визначення поняття розмірний ланцюг. Які є види розмірних ланцюгів?
3. Що є складовими розмірного ланцюга?
4. Які існують види ланок?
5. Що означає збільшувальна ланка?
6. Що означає зменшувальна ланка?
7. Сутність прямої задачі розрахунку розмірного ланцюга.
8. Сутність зворотної задачі розрахунку розмірного ланцюга.
9. Методи вирішення прямої задачі.
10. Сутність методу рівності допусків.
11. Сутність методу допусків одного квалітету.
12. Наведіть порядок розрахунку методом допусків одного квалітету.
13. Що таке коригуюча ланка? Умови її призначення.
14. Яка існує залежність між допуском розміру замикаючої ланки та допусками складових ланок?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Розрахунок технологічного розмірного ланцюга

Мета роботи - ознайомитися з принципом побудови технологічних розмірних ланцюгів, оволодіти навичками їх розрахунку.

Загальні відомості

Метою виконання технологічних розмірних розрахунків є забезпечення необхідної якості проєктуємого технологічного процесу при мінімальних витратах матеріалу. Ця мета досягається за рахунок визначення оптимальних розмірів заготовки та операційних розмірів. Однією із сучасних методик розрахунку припусків та операційних розмірів є розмірний аналіз технологічного процесу. Розмірний аналіз – сукупність методів заснованих на теорії розмірних ланцюгів, що пов'язують розмірні параметри заготовки на всіх стадіях технологічного процесу.

Технологічний розмірний ланцюг – розмірний ланцюг, який забезпечує потрібну відстань або відносний поворот між поверхнями деталі при виконанні операцій механічної обробки, при налагодженні верстата або при розрахунках міжопераційних розмірів.

Ланками технологічного розмірного ланцюга можуть бути: розміри заготовки, операційні розміри, припуски, відстані між поверхнями, діаметри внутрішніх та зовнішніх циліндричних поверхонь, відстані між осями циліндричних поверхонь, відхилення від співвісності, відстані від осей циліндричних поверхонь до плоских поверхонь.

Замикаючу ланку розмірного ланцюга знаходять, виходячи із завдання, що виникає при конструюванні виробу, його виготовленні або вимірюваннях. Тому спочатку має бути поставлена і чітко сформульована задача, вирішення якої необхідне для забезпечення відповідності конструкції виробу його службовому

призначенню, забезпечення необхідної точності виробу при виготовленні або оцінюванні його точності вимірюванням. При конструюванні виробу перехід від формулювання завдання до знаходження замикаючої ланки полягає у виявленні такого лінійного або кутового розміру, від значення якого повністю залежить вирішення конструкторської задачі.

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів, що відображають зв'язок операцій при отриманні розміру деталі, рекомендується починати з останньої операції, на якій одержується розмір, що витримується.

При цьому можуть мати місце два варіанти:

- завдання забезпечення точності розміру вирішується в межах останньої операції (у тих випадках, коли в ролі однієї з технологічних баз використовується поверхня, від якої задано розмір). У цьому випадку точність розміру, який витримується, досягається за допомогою розмірного ланцюга системи верстат-притосування-інструмент-деталь (ВПД) цієї операції;

- розмір, який витримується, буде замикаючою ланкою триланкового розмірного ланцюга, в якому однією із складових ланок є відстань (поворот) між кінцевим положенням різального інструменту і технологічною базою деталі, а другою складовою ланкою - розмір, отриманий на одній з попередніх операцій.

Розглядаючи його як замикаючу ланку розмірного ланцюга, яка виникає на попередній операції, можна зустріти як перший, так і другий варіанти.

Розгляд розмірних зав'язків завершується операцією, на якій розмір, що одержується виходить як замикаюча ланка розмірного ланцюга системи ВПД.

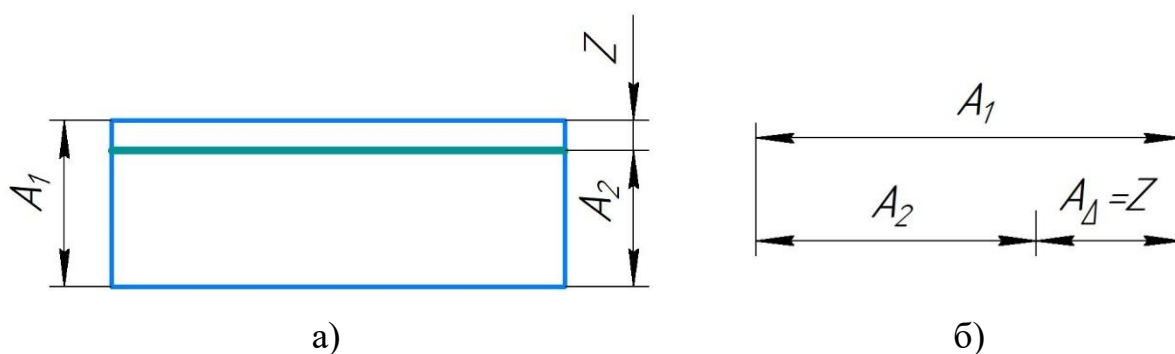
Розрахунки технологічних розмірних ланцюгів – це складний творчий процес, який базується на глибокому аналізі розмірної схеми технологічного процесу (операції).

В залежності від кількості складових ланок, розрізняють два способи розрахунку технологічних розмірних ланцюгів. Якщо складових ланок не більше чотирьох, розмірний ланцюг розраховують способом максимуму-мінімуму. Даний спосіб враховує тільки граничні відхилення ланок розмірного ланцюга і найнесприятливіші їх поєднання. Якщо складових ланок п'ять або більше, слід

застосовувати імовірнісний спосіб, який враховує розсіювання розмірів та ймовірність різних сполучень відхилень складових ланок розмірного ланцюга.

Методика розрахунків технологічних розмірних ланцюгів залежить від того, чи останньою ланкою ланцюга є розмір припуску (рисунок 10.1), чи конструкторський розмір (рисунок 10.2).

При фрезеруванні площини (рисунок 10.1, а) установчою базою є нижня площина заготовки. Складовими ланками технологічного розмірного ланцюга даної операції є розмір заготовки до обробки A_1 та розмір деталі після обробки A_2 . Припуск Z є замикаючою ланкою тому, що величина припуску залежить від величини складових ланок.



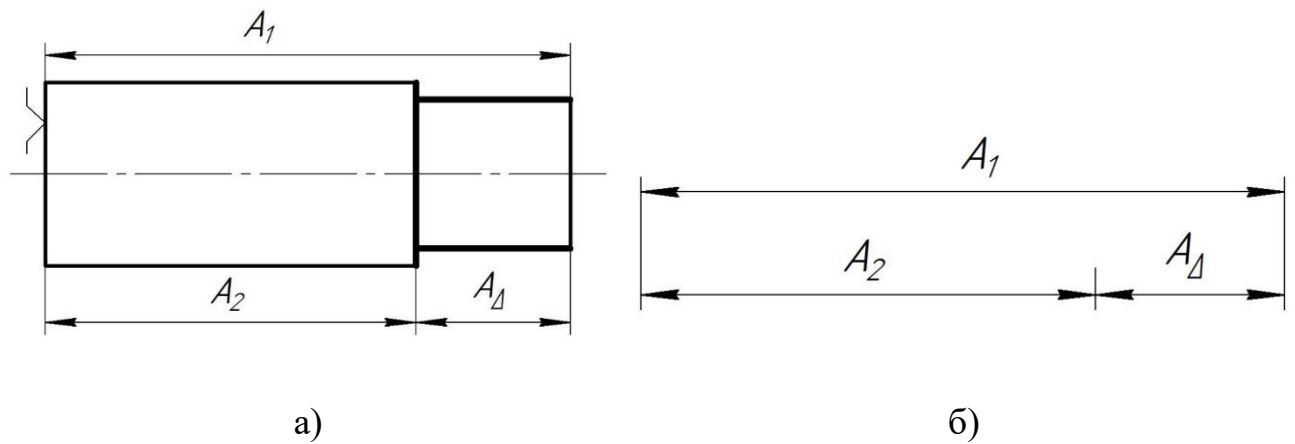
а – заготовка із припуском під фрезерування; б – технологічний розмірний ланцюг

Рисунок 10.1 – Схема обробки деталі

Прикладом розмірного ланцюга в якому замикаючою ланкою є конструкторський розмір слугує схема обробки ступінчастого валу (рисунок 10.2, а) на токарній операції. Технологічною базою є лівий торець деталі. Розмір A_1 отримується або на попередній операції, або на стадії отримання заготовки. Розмір A_2 забезпечується з певною точністю, яка залежить від точності даної технологічної операції. Розмір A_3 безпосередньо в ході технологічного процесу не забезпечується, він отримується за рахунок розмірів A_1 та A_2 , тобто є замикаючою ланкою A_{Δ} .

При зміні базування ступінчастого валу, прийнявши за базу правий торець деталі, всі розміри деталі будуть отримуватись безпосередньо під час виконання технологічного процесу (рисунок 10.3). Оскільки, при роботі на налагодженому

верстаті безпосередньо витримуються розміри від технологічних баз до оброблюваної поверхні з точністю похибки методу обробки.



а – ескіз токарної операції; б – технологічний розмірний ланцюг

Рисунок 10.2 – Схема обробки деталі

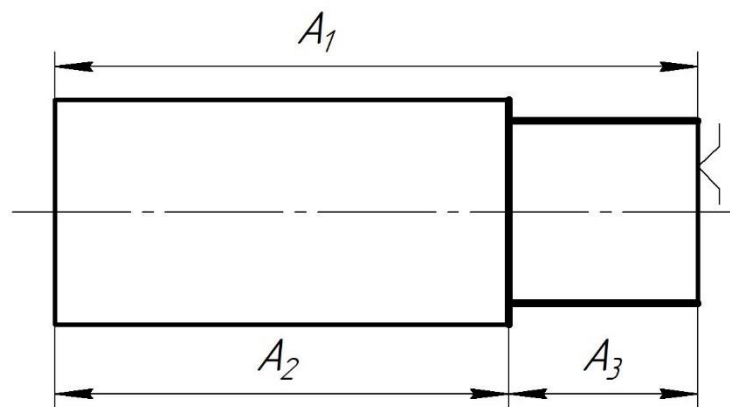


Рисунок 10.3 – Ескіз токарної операції

Якщо останньою ланкою розмірного ланцюга є конструкторський розмір, то розрахунки такого ланцюга зводяться до визначення номінального розміру, допуску та граничних відхилень розміру, що знаходять і який становить ланка за відомим значенням номінальних розмірів допусків і граничних відхилень замикаючої та складових ланок розмірного ланцюга. Завдання такого типу виникають при визначенні технологічних розмірів з метою забезпечення розміру на кресленні, який безпосередньо не виконується при обробці. Зазвичай останньою ланкою технологічного розмірного ланцюга є розмір на кресленні або поворот з регламентованим допуском, які безпосередньо не витримуються при

обробці, виходячи з мінімального значення якого потрібно встановити операційні розміри для всіх етапів обробки даних взаємопов'язаних поверхонь.

Номінальне значення технологічного розміру збільшувальної ланки:

$$\overrightarrow{A_T} = \sum_{j=1}^{m-1} \overleftarrow{A_j} - \sum_{j=1}^{n-1} \overrightarrow{A_j} + A_{\Delta} \quad (10.1)$$

де n – кількість збільшувальних ланок;

m – кількість зменшувальних ланок;

$\overrightarrow{A_j}, \overleftarrow{A_j}$ – номінальні розміри відповідно збільшувальних та зменшувальних ланок, мм.

Номінальне значення технологічного розміру зменшувальної ланки:

$$\overleftarrow{A_T} = \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A_j} - \sum_{j=1}^{m-1} \overleftarrow{A_j} - A_{\Delta} \quad (10.2)$$

Допуск технологічного розміру:

$$T_{A_T} = T_{A_{\Delta}} - \sum_{j=1}^{n+m-1} T_{A_j} \quad (10.3)$$

де $T_{A_{\Delta}}$ – допуск замикаючої ланки;

T_{A_j} – допуск складової ланки.

Службове призначення деталі вал (рисунок 10.4) передбачає важливість розміру $110_{-0,6}$ мм. Відповідно до технологічного процесу обробки валу, вказаний розмір безпосередньо не витримується, а одержується шляхом забезпечення розмірів $50 \pm 0,05$ мм, $205_{-0,2}$ мм та розміру L при чистовому

точінні. Визначити, яким потрібно витримати розмір L та допуск на нього, щоб забезпечити точність розміру $110_{-0,6}$ мм.

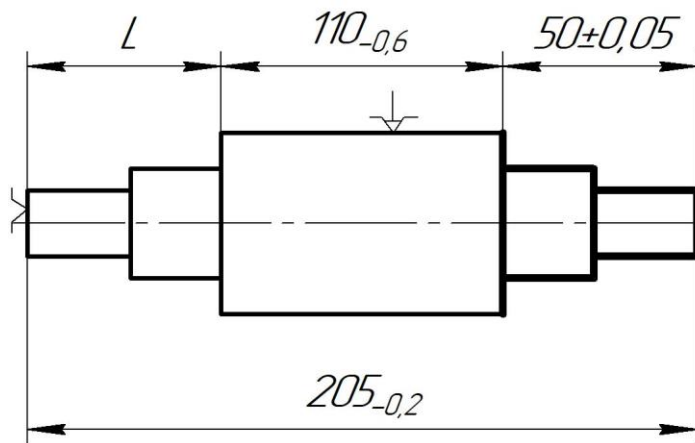


Рисунок 10.4 – Схема отримання повздовжніх розмірів валу

Порядок виконання роботи

1. Накреслити ескіз деталі вал (рисунок 10.4) та розробити для даної операції схему технологічного розмірного ланцюга на якій вказати складові ланки A_1, A_2, A_3 та замикаючу ланку A_Δ .

2. Визначити збільшувальні (\vec{A}_j) та зменшувальні (\overleftarrow{A}_j) ланки та проставити відповідні позначення на схемі технологічного розмірного ланцюга.

3. Розрахувати технологічний ланцюг методом максимуму-мінімуму.

3.1. Скласти рівняння рівноваги технологічного розмірного ланцюга за формулою (10.4) в загальному вигляді та в номінальному.

$$A_\Delta = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^m \overleftarrow{A}_j \quad (10.4)$$

3.2. Виходячи з рівняння (10.4) визначити номінальне значення A_T технологічного розміру L за однією з формул (10.1) або (10.2).

3.3. Визначити допуск, з яким повинен бути витриманий технологічний розмір L за формулою (10.3).

3.4 Виконати перевірку можливості виконання технологічного розміру із знайденим допуском. Повинна виконуватись умова:

$$T_{A_T} \geq \omega_M \quad (10.5)$$

де ω_M – допуск для відповідного методу обробки (додаток Н).

Якщо умова виконується, рішення задачі продовжують. Якщо ж, умова не виконується, і $T_{A_T} < \omega_M$, це є свідченням того, що технологічний процес не забезпечує потрібну точність. В такому випадку, рішення задачі необхідно продовжити тільки після внесення одного з корективів:

- зменшення допусків на складові ланки, застосувавши точніші методи обробки;
- розширення допуску замикаючої ланки;
- зміни послідовності обробки;
- зміни схеми простановки розмірів деталі;
- вибору інших технологічних баз.

3.5. Визначити координату середини поля допуску технологічного розміру L за формулою (10.6):

$$\Delta_{O_{\Delta\Delta}} = \sum_{j=1}^n \Delta_{\overrightarrow{A_j}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} \Delta_{\overleftarrow{A_j}} \quad (10.6)$$

де $\Delta_{O_{\Delta\Delta}}$ – координати середини поля допуску замикаючої ланки розмірного ланцюга;

$\Delta_{\overrightarrow{A_j}}$ – координати середини поля допуску збільшувальної ланки розмірного ланцюга;

$\Delta_{\overleftarrow{A_j}}$ – координати середини поля допуску зменшувальної ланки розмірного ланцюга.

Координати середини поля допуску приймаються зі своїм знаком (+) або (-).

3.6. Визначити верхнє $\Delta_{B_{AT}}$ та нижнє $\Delta_{H_{AT}}$ відхилення технологічного розміру L за рівняннями (10.7) та (10.8) відповідно:

$$\Delta_{B_{AT}} = \Delta_{O_{AT}} + 0,5T_{AT} \quad (10.7)$$

$$\Delta_{H_{AT}} = \Delta_{O_{AT}} - 0,5T_{AT} \quad (10.8)$$

3.7. Перевірити правильність розв'язку. Повинні виконуватись умови (10.9) та (10.10):

$$\Delta_{B_{AT}} > \Delta_{H_{AT}} \quad (10.9)$$

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_{j=1}^{m-1} T_{A_j} \quad (10.10)$$

4. Зробити висновок про величину та допуск технологічного розміру L .

Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені наступні дані:

1. Найменування та мета роботи.
2. Сутність технологічного розмірного ланцюга.
3. Методи виявлення ланок розмірного ланцюга.
4. Способи розрахунку технологічних розмірних ланцюгів.
5. Ескіз валу зі схемою розмірного ланцюга.
6. Розрахунок технологічного розмірного ланцюга.
7. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Що називають технологічним розмірним ланцюгом?
2. Які існують ланки розмірних ланцюгів?
3. Що може виступати в якості ланок технологічного розмірного ланцюга?
4. Як кількість ланок ланцюга впливає на його розрахунок?
5. Дайте характеристику розрахунку способом максимуму-мінімуму.
6. Дайте характеристику імовірнісного способу розрахунку.
7. Які параметри можуть виступати в якості останньої ланки ланцюга?
8. Наведіть порядок розрахунку способом максимуму-мінімуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буц Б.Д. Розрахунок режимів різання металів: навч. посібн. / Б. Д. Буц, В. Є. Приходько, Ю. В. Ткачов. – Д.: РВВДНУ, 2005. – 76 с.
2. Горбатюк Є.О. Технологія машинобудування: навч. посібн. / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів: «Новий Світ - 2000», 2012. – 358 с.
3. Дерібо, О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с.
4. Дерібо, О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 114 с.
5. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.
6. Малафєєв Ю.М. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування» / Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 201 с.
7. Паливода Ю.Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
8. Савуляк, В. В. Складальні процеси в машинобудуванні : навчальний посібник / укладач: В. В. Савуляк – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с.
9. Савчук В. І. Наукові основи складання машин : навчальний посібник / В. І. Савчук, О. В. Івченко, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов ; за загальною редакцією А. В. Євтухова. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 277 с.

10. Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин. Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм навчання напрямку 131 - Прикладна механіка / Укл.: Павленко І.І., Артюхов А.М.; Підгаєцький М.М., Сторожук М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 60 с.
11. Технологія обробки типових деталей: навчальний посібник / Г.П. Кремнев, В.М. Колесник, Ф.В. Новіков, І.О. Рябенков. – Х.: Видавництво «С.А.М.», 2014. – 156 с.
12. Технологія обробки типових деталей та складання машин. Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм навчання «Прикладна механіка» / Укл.: Павленко І.І., Артюхов А.М., Підгаєцький М.М., Сторожук М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 72 с.

ДОДАТОК А

Варіант 1

Пневмоциліндр

Пневмоциліндр використовують в якості силового вузла в механізмах приводу затискних пристроїв при тиску стисненого повітря 0,4...0,6 МПа. Для нормальної роботи циліндр рекомендується перевіряти на міцність при тиску 0,9 МПа. Він повинен бути герметичним при тиску стисненого повітря 0,6 МПа. Тиск, що забезпечує початок руху поршня, не повинен перевищувати 0,2 МПа.

Деталі складальної одиниці

Поз.	Назва деталі	Кількість	Матеріал
1	Кришка задня	1	СЧ18
2	Гільза	1	Сталь 35
3	Поршень	1	СЧ 24
4	Втулка	1	Бронза
5	Кришка передня	1	СЧ 18
6	Фланець	1	Ст. 3
7	Шток	1	Ст.3
8	Гвинт 2 М6х12	4	
9	Гайка М12	4	
10	Гайка М20	1	
11	Кільце 018-022-40-1-3	1	
12	Кільце 120-125-30-2-3	2	
13	Кільце 115-125-50-2-3	1	
14	Манжета 30х50	1	
15	Шайба 12 65Г	4	
16	Шайба 3.20	1	
17	Шпилька АМ12х110(15/30)	4	

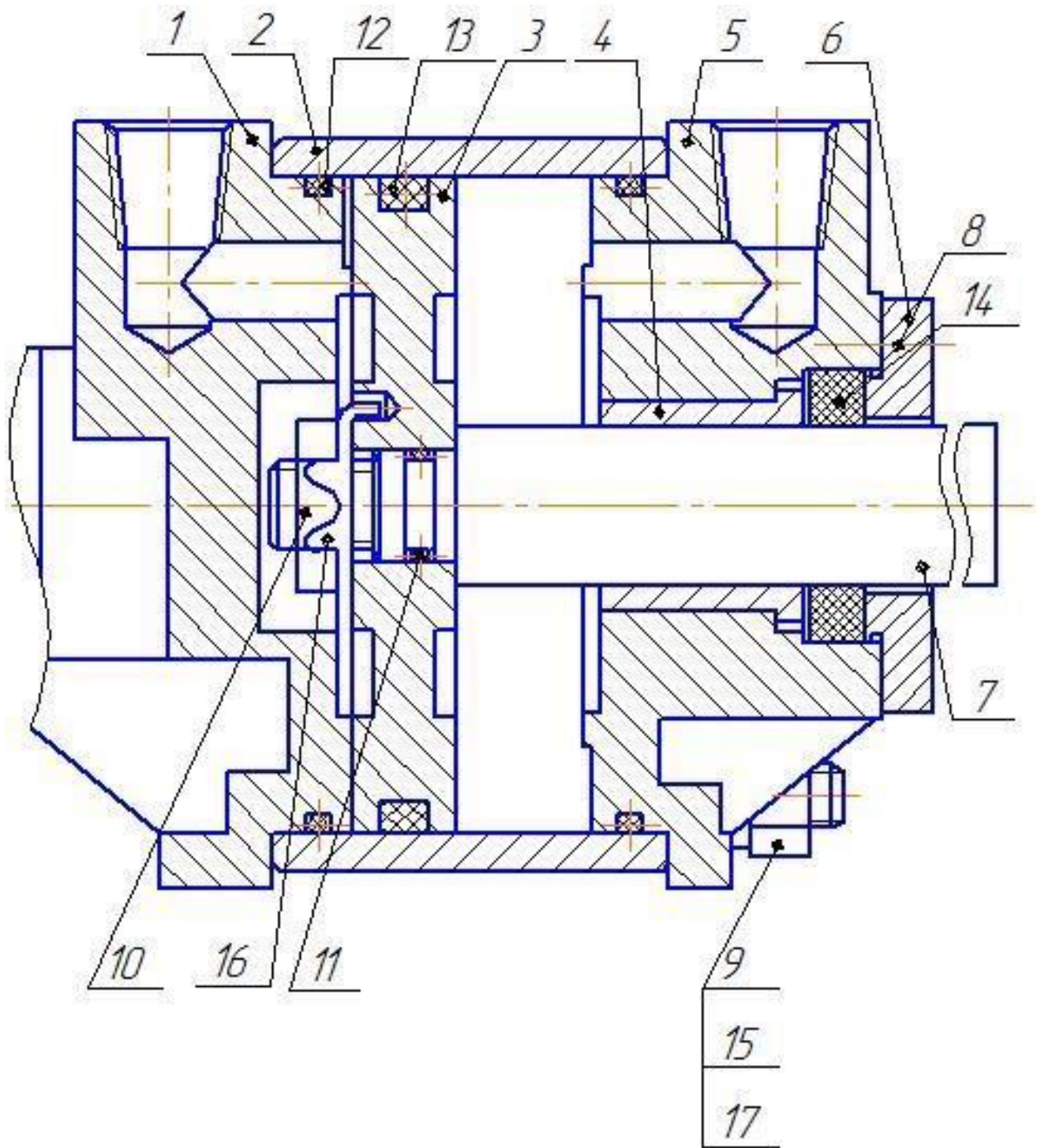


Рисунок 1 – Пневмоциліндр

Варіант 2

Насос шестеренний

Насос даної конструкції використовується для подачі рідини під високим тиском (до 0,03 Па) і може бути використаний для подачі рідини будь-якої в'язкості. При роботі насосу в момент виходу зубців шестерень 3 із зачеплення створюється розрідження, внаслідок чого рідина поступає в зону всмоктування і в западинах між зубцями переноситься в зону нагнітання. Тут вона витискується з западин зубцями, які входять в зачеплення. При цьому тиск зростає, в результаті чого рідина поступає в трубопровід.

Деталі складальної одиниці

Поз.	Назва деталі	Кількість	Матеріал
1	Кришка	1	СЧ15
2	Корпус	1	СЧ15
3	Шестерня $m=3; z=12$	1	Сталь 45
4	Кронштейн	1	СЧ15
5	Втулка	1	БрАЖ 9-4
6	Кільце повстяне	1	
7	Втулка	1	Ст.3
8	Втулка	3	БрАЖ 9-4
9	Вал	1	Сталь 45
10	Гайка накидна	1	Ст.3
11	Вал	1	Сталь 45
12	Шайба	1	Ст.3
13	Болт М5х25	1	
14	Гвинт 2М6х55	6	
15	Шайба 6 65Г	1	
16	Шпонка 4х14	1	
17	Штифт 5х6х56	2	

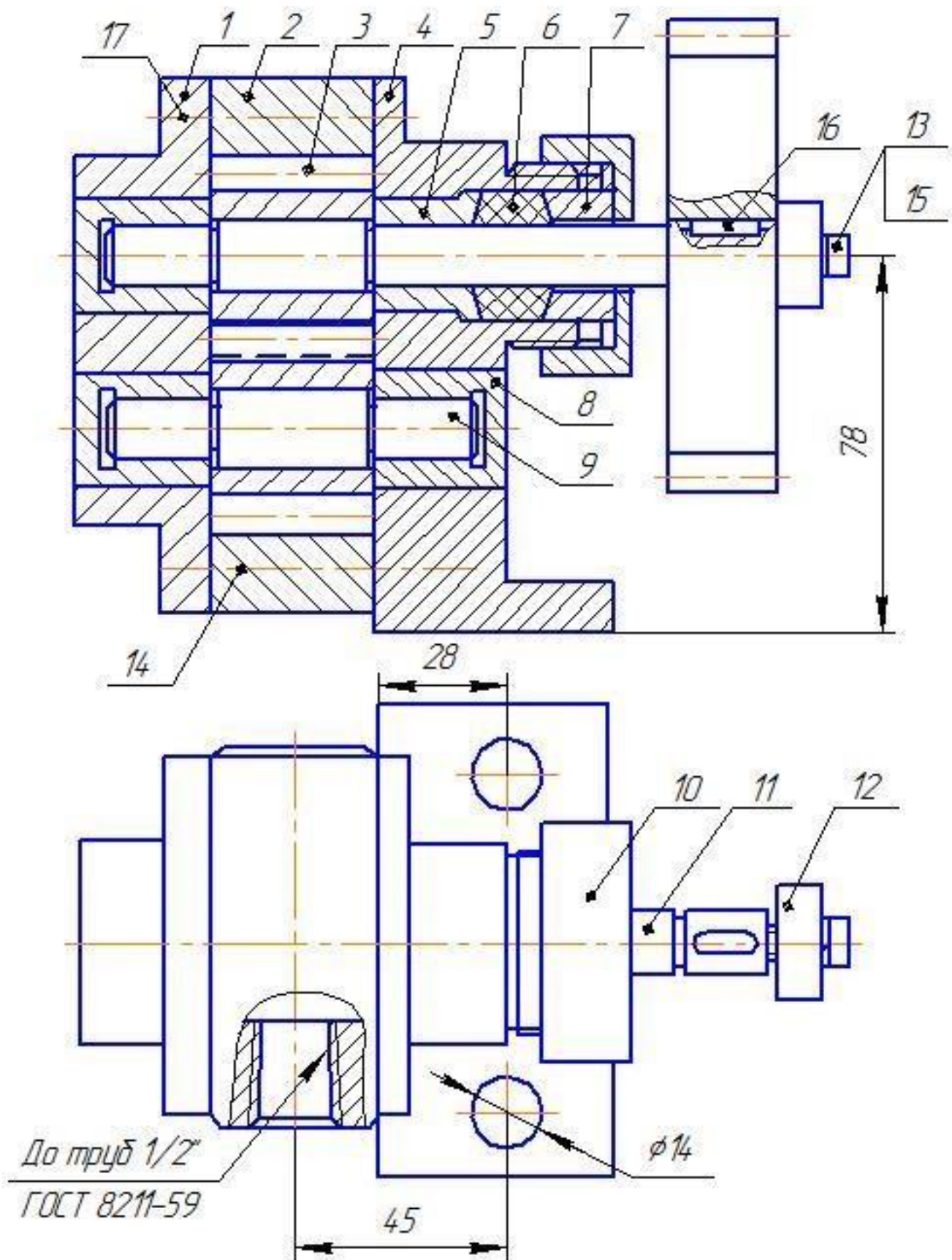


Рисунок 2 – Насос шестеренный

ДОДАТОК Б

Варіант 1

Гідроциліндр

Гідроциліндр призначений для управління навісною системою бульдозеру. При подачі мастила в штокову порожнину поршень тисне на шток, переміщаючи його вліво. При цьому робоча рідина витискається через отвір у фланці 15. Робочий рух здійснюється при подачі мастила в безштокову порожнину.

Деталі складальної одиниці

Поз.	Назва	Кількість	Матеріал
1	Корпус	1	Сталь 45
2	Шток	1	Сталь 45
3	Поршень	1	Ст.5
4	Кільце ущільнюоче	1	Гума
5	Втулка	1	Бронза
6	Кришка	1	Ст.3
7	Вкладиш	2	Сталь 45
8	Болт М10х25	6	
9	Гайка М24	1	
10	Кільце 040-045-30	2	Гума
11	Кільце 040-048-50	1	Гума
12	Кільце 060-075-50	3	Гума
13	Шайба 65Г	1	
14	Шплінт 2,5х20	1	
15	Фланець	1	Ст.3

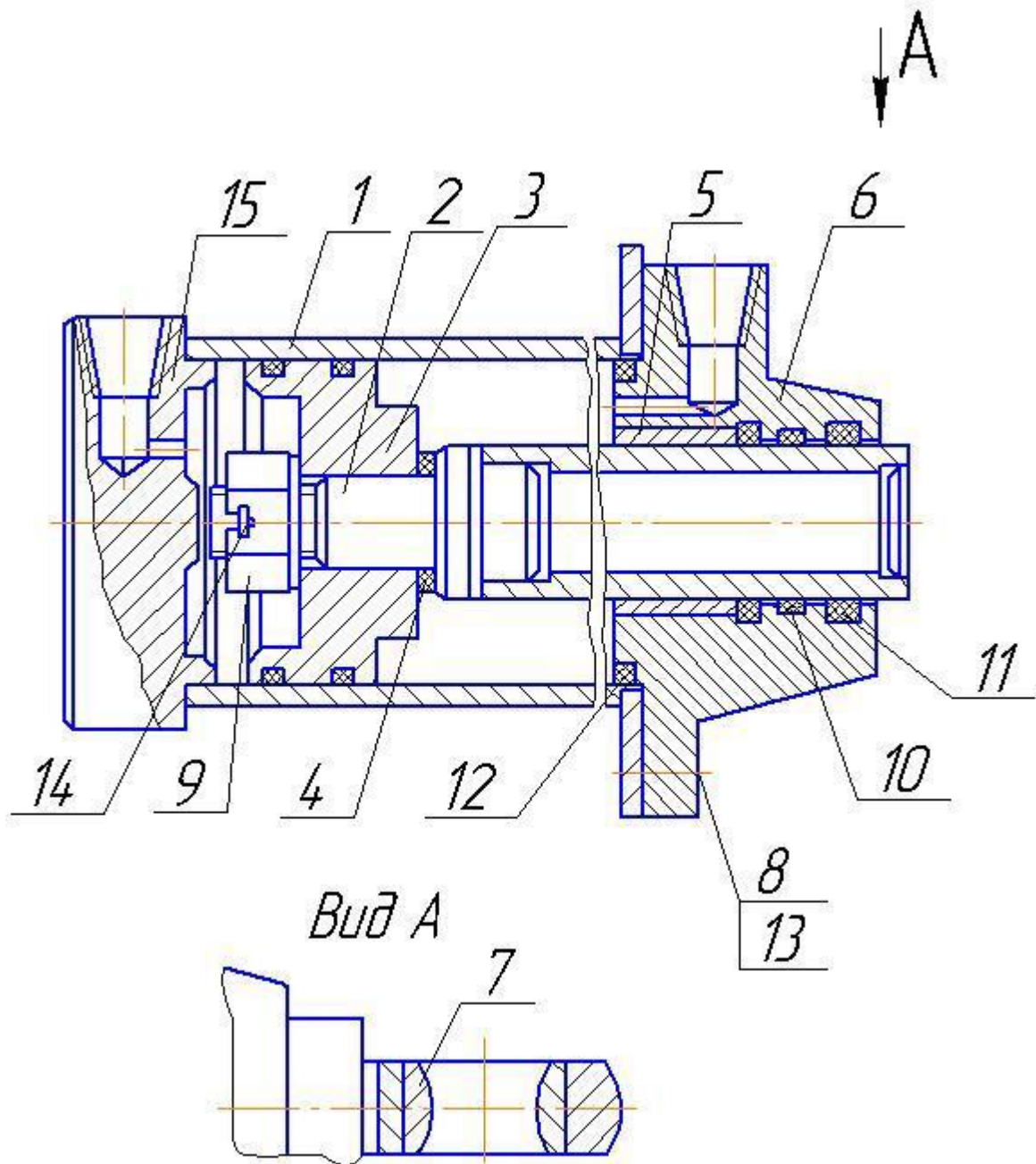


Рисунок 1 – Гідроциліндр

Варіант 2

Насос шестеренний

Насос шестеренний даної конструкції використовується для подачі рідини під тиском до 0,07 Па. Робочі шестерні насосу обертаються в протилежних напрямках. Зубці шестерень виходять із зачеплення, створюють знижений тиск, в результаті чого мастильна рідина потрапляє до зони всмоктування і в западинах між зубцями шестерень переноситься (по периферії) до зони нагнітання, де витискується зубцями, що входять в зачеплення. В зоні нагнітання створюється підвищений тиск, під дією якого мастильна рідина надходить до трубопроводу. Насос має зворотній клапан, який спрацьовує при перевищенні тиску.

Деталі складальної одиниці

Поз.	Найменування	Кількість	Матеріал
1	Корпус	1	СЧ 15
2	Валик ведучий	1	Сталь 40
3	Валик	1	Сталь 40
4	Колесо зубчасте $z=10$, $m=3,5$	1	Сталь 45
5	Кришка	1	СЧ 15
6	Заглушка	1	Сталь 20
7	Пружина $d=1$, $n=12$, $H=48$	1	Сталь 65Г
8	Стрижень	1	Сталь 30
9	Прокладка	1	Пароніт
10	Клапан	1	Сталь 40
11	Прокладка $s=0,2$	1	Фольга
12	Болт М6х25	8	
13	Шайба 6 65Г	8	
14	Кулька d5	2	
15	Штифт 8х6х30	2	
16	Манжета 18х42	2	З кожухом

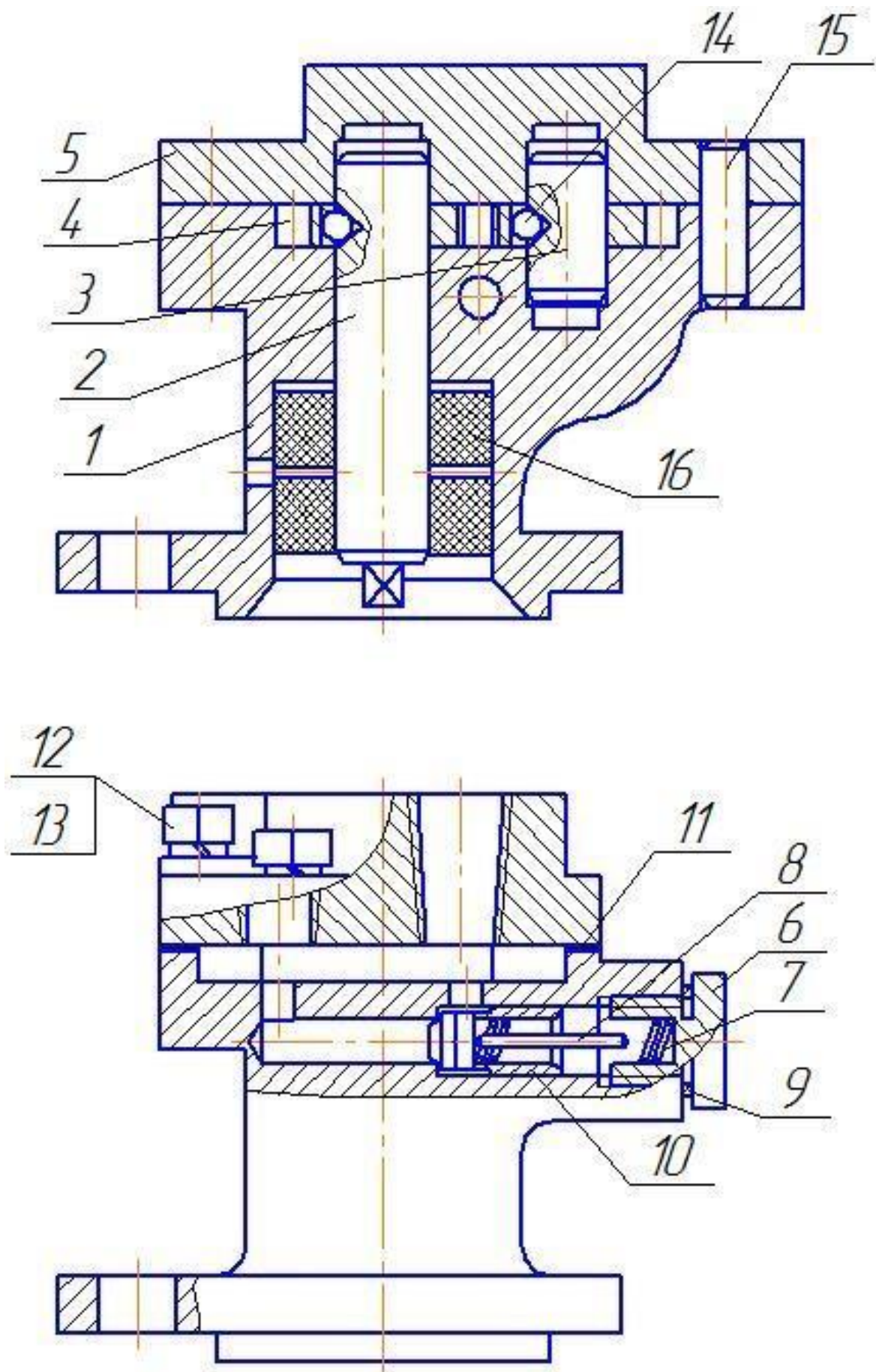


Рисунок 2 – Насос шестеренный

ДОДАТОК В

Таблиця 1 – Точність та якість поверхонь при обробці зовнішніх
циліндричних поверхонь

Обробка	Параметр шорсткості поверхні R _a , мкм	Глибина дефектного поверхневого шару, мкм	Квалітет допуску розміру	Технологічні допуски (мкм) на розмір при номінальних діаметрах поверхні, мм						
				Від 3 до 6	Від 6 до 10	Від 10 до 18	Від 18 до 30	Від 30 до 50	Від 50 до 80	Від 80 до 120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обточування: чорнове напівчистове або однократне чистове тонке	50-6,3	120- 60	14	-	-	-	-	620	740	870
			13	180	220	270	330	390	460	540
			12	120	150	180	210	250	300	350
	25-1,6	50- 20	13	180	220	270	330	390	460	540
			12	120	150	180	210	250	300	350
			11	75	90	110	130	160	190	220
	6,3- 0,4	30- 20	10	48	58	70	84	100	120	140
			9	30	36	43	52	62	74	87
			8	18	22	27	33	39	46	57
	1,6- 0,2	10-5	9	30	36	43	52	62	74	87
			8	18	22	27	33	39	46	57
			7	12	15	18	21	25	30	35
			6	8	9	11	13	16	19	22
Шліфування: попереднє чистове тонке	6,3- 0,4	20	9	30	36	43	52	62	74	87
			8	18	22	27	33	39	46	57
	3,2- 0,2	15-5	7	12	15	18	21	25	30	35
			6	8	9	11	13	16	19	22
	1,6- 0,1	5	6	8	9	11	13	16	19	22
			5	5	6	8	9	11	13	15
Притирання, суперфінішування	0,8- 0,1	5-3	5	5	6	8	9	11	13	15
			4	4	4	5	6	7	8	10
Обкатування, алмазне вигладжування	0,8- 0,1	5-3	5	5	6	8	9	11	13	15
			4	4	4	5	6	7	8	10

Таблиця 2 – Точність та якість поверхні при обробці отворів

Обробка	Параметр шорсткості поверхні R _a , мкм	Глибина дефектного поверхнього шару, мкм	Квалітет допуску розміру	Технологічні допуски (мкм) на розмір при номінальних діаметрах поверхні, мм						
				Від 3 до 6	Від 6 до 10	Від 10 до 18	Від 18 до 30	Від 30 до 50	Від 50 до 80	Від 80 до 120
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Свердління та розсвердлення	25-0,8	70- 15	13	-	-	270	330	390	460	-
			12	-	-	180	210	250	300	
			11	75	90	110	130	160	190	
			10	48	58	70	84	100	120	
			9	30	36	43	52	62	74	
Зенкерування: чорнове	25-6,3	50- 20	13	-	-	270	330	390	460	540
			12	-	-	180	210	250	300	350
однократне литого або прошитого отвору;	25-0,4	50- 20	13	-	-	270	330	390	460	540
			12	-	-	180	210	250	300	350
			11	-	-	110	130	160	190	220
			10	-	-	70	84	100	120	140
чистове після чорнового або свердління	25-0,4	50- 20	9	-	-	43	52	62	74	87
			8	-	-	27	33	39	46	57
Розвірчування: нормальне	12,5- 0,8	25- 15	11	75	90	110	130	160	190	220
			10	48	58	70	84	100	120	140
точне	6,3- 0,4	15-5	9	30	36	43	52	62	74	87
			8	18	22	27	33	39	46	57
			7	12	15	18	21	25	30	35
тонке	3,2- 0,1	10-5	6	8	9	11	13	16	19	22
			5	5	6	8	9	11	13	15
Протягування: чорнове литого або прошитого отвору	12,5- 0,8	25- 10	11	-	-	-	-	160	190	220
			10	-	-	-	-	100	120	140

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
чистове після чорнового або після свердління	6,3- 0,2	10-5	9		-	43	52	62	74	87
			8			27	33	39	46	57
			7			18	21	25	30	35
			6			11	13	16	19	22
Розточування: чорнове	25-1,6	50- 20	13	180	220	270	330	390	460	540
			12	120	150	180	210	250	300	350
			11	75	90	110	130	160	190	220
чистове	6,3- 0,4	25- 10	10	48	58	70	84	100	120	140
			9	30	36	43	52	36	74	87
			8	18	22	27	33	39	46	57
тонке	3,2- 1,6	10-5	7	12	15	18	21	25	30	35
			6	8	9	11	13	16	19	22
			5	5	6	8	9	11	13	15
Шліфування: попереднє	6,3- 0,4	25- 10	9	-	-	43	52	62	74	87
			8	-	-	27	33	39	46	57
чистове	3,2- 0,2	20-5	7	-	-	18	21	25	30	35
			6	-	-	11	13	16	19	22
тонке	1,6- 0,1	10-5	5	-	-	8	9	11	13	15
Притирання, хонінгування	1,6- 0,1	5-3	5	5	6	8	9	11	13	15
			4	4	4	5	6	7	8	10
Розкочування, калібрування, алмазне вигладжування	6,3- 0,1	-	10	-	58	70	84	100	120	140
			9	-	36	43	52	62	74	87
			8	-	22	27	33	39	46	57
			7	-	15	18	21	25	30	35

Примітка:

1. Наведені в таблиці дані відносяться до деталей із сталі. Для деталей з чавуну або кольорових сплавів допуски на розмір приймати відповідно на один квалітет точніші.

2. Допуски на розмір дійсні для поверхонь з $l/d < 2$. При $l/d = 2 \dots 10$ допуски приймати відповідно на один-два квалітети грубіші.

ДОДАТОК Г

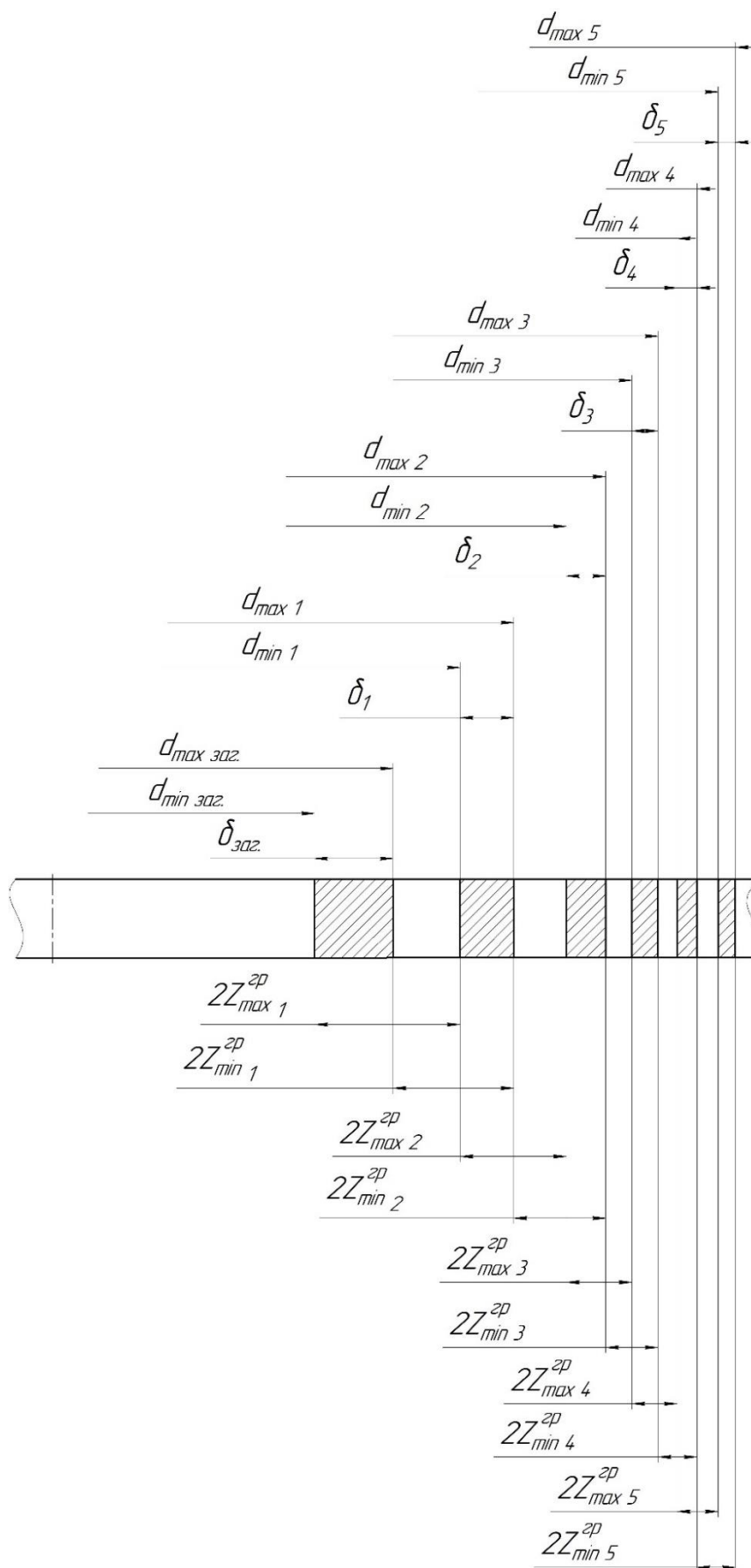


Рисунок 1 – Схема графічного розташування припусків внутрішньої циліндричних поверхні

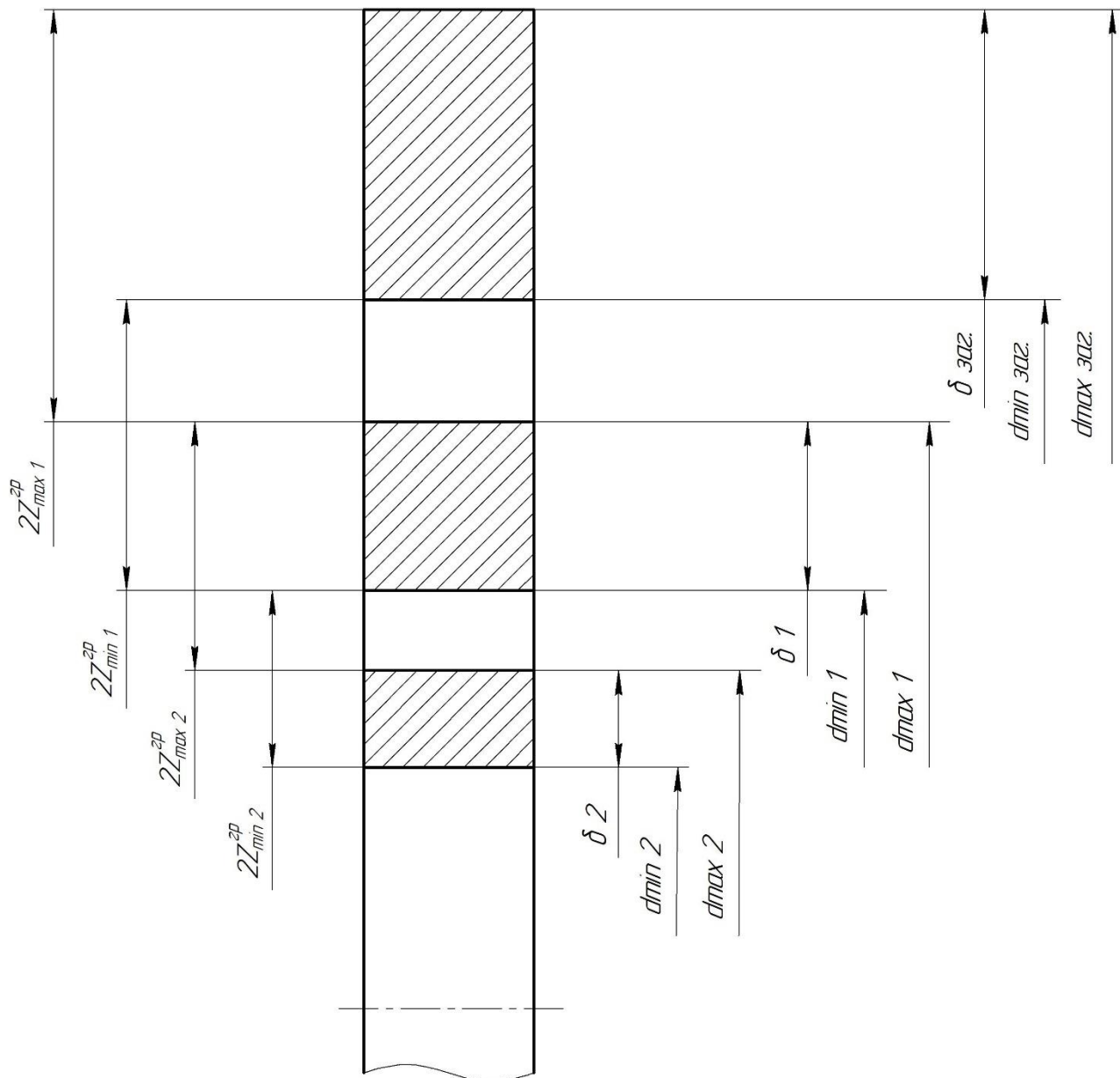


Рисунок 2 – Схема графічного розташування припусків зовнішньої
циліндричних поверхні

ДОДАТОК Д

Таблиця 1 – Довжина врізання та перебігу L_{Π} під час токарної обробки

Вид заготовки	Вид токарної обробки	
	на прохід	в упор
Прокат	4	2
Поковка, відливка	6	3

Таблиця 2 – Довжина врізання та перебігу L_{Π} під час обробки отворів

Операція	Діаметр різального інструменту, мм									
	2,5	6	10	16	20	25	32	40	50	60
Зенкерування отворів:										
наскрізних	-	-	-	3	4	5	5	6	6	8
глухих	-	-	-	2	2	2	2	3	3	4

Таблиця 3 – Довжина врізання та перебігу L_{Π} при фрезеруванні торцевими фрезами

Ширина фрезерування, мм	Діаметр фрези, мм										
	До 20	32	40	50	80	100	120	160	180	200	220
16	6	5	5	5	5	-	-	-	-	-	-
20	-	7	6	6	5	5	5	-	-	-	-
25	-	10	7	7	6	6	6	6	6	-	-
32	-	-	10	9	7	7	7	6	6	6	-
40	-	-	-	14	10	8	8	8	7	7	-
60	-	-	-	-	20	14	12	12	10	10	9
80	-	-	-	-	-	24	20	17	16	14	13
100	-	-	-	-	-	-	30	25	21	18	17
120	-	-	-	-	-	-	-	35	29	25	22
140	-	-	-	-	-	-	-	46	39	34	30
160	-	-	-	-	-	-	-	-	54	45	39
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	50
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60

ДОДАТОК Е

Таблиця 1 – Подача на оберт S_o при чорновому точінні та розточуванні

Тип різця	Значення S_o при обробці	
	Сталі та чавуну	Алюмінієвих сплавів
Різці, оснащені пластинами з твердого сплаву, при роботі з глибиною різання:		
- 2-4 мм	0,3-0,6	0,3-0,6
- 3-8 мм	0,4-0,8	0,4-0,8
Твердосплавні круглої форми	0,5-1	0,5-1
Різці зі змінними багатограними пластинами з твердого сплаву зі зносостійким покриттям	0,25-0,5	-
Різці зі змінними багатограними пластинами з кераміки	0,2-0,4	-

Таблиця 2 – Подача на оберт S_o при чистовому точінні та розточуванні

Оброблюваний матеріал	Точіння	Розточування
Алюмінієвий сплав	0,15-0,3	0,1-0,2

Таблиця 3 – Умови обробки та групи подач

Зміст обробки	Умови обробки	Група подачі
Зенкерування циліндричних отворів швидкорізальним інструментом	Чорнове зенкерування	I
	Зенкерування під нарізання різьби та чорнове розгортання	II
	Зенкерування з точністю по 10-11 квалітетам та під чистове розгортання	III
	Зенкерування при ускладнених умовах обробки	IV
Зенкерування циліндричних отворів твердосплавним інструментом	Чорнове зенкерування	II
	Зенкерування під нарізання різьби та чорнове розгортання	III

Таблиця 4 – Подача на оберт S_o при обробці сталі

Зміст обробки	Група подачі	Значення S_o при діаметрі обробки D в мм									
		4	6	8	10	12	16	20	25	32	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зенкерування циліндричних отворів	I	-	-	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65	0,7	0,75	0,9
	II	-	-	0,28	0,3	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7
	III	-	-	0,2	0,22	0,25	0,3	0,4	0,4	0,5	0,55
	IV	-	-	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,22	0,25	0,28
Зенкерування конічних отворів	-	-	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,2	0,23

Таблиця 5 – Подача на оберт S_o при обробці алюмінієвих сплавів

Зміст обробки	Група подачі	Значення S_o при діаметрі обробки D в мм									
		4	6	8	10	12	16	20	25	32	40
Зенкерування циліндричних отворів	I	-	-	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
	II	-	-	0,35	0,4	0,47	0,55	0,65	0,75	0,85	1,0
	III	-	-	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,7
	IV	-	-	0,2	0,23	0,25	0,28	0,3	0,33	0,37	0,4
Зенкерування конічних отворів	-	-	0,16	0,2	0,23	0,25	0,28	0,3	0,33	0,35	0,4

Таблиця 6 – Подача на зуб S_z при обробці сталі торцевими твердосплавними фрезами

Твердість оброблюваної сталі НВ	Значення S_z , мм/зуб	
	Чорнова обробка при $t = 2 - 6$ мм	Чистова обробка при $t \leq 2$ мм
До 230	0,12-0,25	0,1-0,2
230-280	0,1-0,22	
280-320	0,1-0,2	

Таблиця 7 – Подача на зуб S_z при обробці алюмінієвих сплавів торцевими твердосплавними та швидкорізальними фрезами

Фрезерування площин при обробці:	Значення S_z , мм/зуб
Чорновій $t = 2 - 4$ мм	0,12-0,25
Чистовій $t \leq 2$ мм	0,1-0,2

ДОДАТОК Ж

Таблиця 1 – Стійкість токарного інструменту

№ з/п	Група наладки	Характеристика	Рекомендовані значення T_M при кількості інструментів в наладці, хв							
			1	3	5	8	10	15	20	більше 20
1	Налагодження з рівномірним завантаженням інструментів	Діаметрі обточуваних (розточуваних) поверхонь відрізняються не більше ніж у 1-2 рази	50	150	200	300	350	400		
2	Налагодження з великою різницею в завантаженні інструментів	Діаметрі обточуваних (розточуваних) поверхонь відрізняються більше ніж у 2 рази		70	90	110	130	150	170	180
3	Середні налагодження за рівномірністю завантаження інструментів	Всі інші налагодження		100	140	200	230	260	300	350

Таблиця 2 – Стійкість зенкерів

Діаметр обробки, мм	Рекомендовані значення T_M при кількості інструментів в наладці, хв					
	1	3	5	8	10	більше 15
До 10	20	50	80	100	120	140
15	30	80	110	140	150	170
20	40	100	130	170	180	200
30	50	120	160	200	220	250
50	60	150	200	240	260	300

Таблиця 3 – Стійкість фрез T_M

Тип фрези	Значення T_M (хв) основного часу при діаметрі фрези						
	20	50	75	100	150	200	300
Торцева, дискова	40	80	100	120	150	200	300
Кінцева	40	60	-	-	-	-	-
Радіусна	-	60	80	100	-	-	-

Таблиця 4 – Коефіцієнт нерівномірності навантаження інструменту K

Тип фрези	Значення K для співвідношення t/d								
	до 0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Торцева	-	-	-	-	0,1	0,13	0,17	0,2	0,25
Дискова	-	-	0,05	0,08	0,12	-	-	-	-
Циліндрична, кінцева	0,05	0,07	0,1	-	-	-	-	-	-

ДОДАТОК К

Таблиця 1 – Швидкість різання при токарній обробці сталі

Значення S_0 , мм/об	Значення $V_{\text{табл}}$, м/хв, при точінні різцями								із кераміки $t = 1 - 4$ мм, $\varphi =$ $45 - 90^\circ$
	твердосплавними							круглими з $t < 2$ мм та $d =$ $10 - 20$ мм	
	зі змінними багатогранними пластинами та напайними								
	$t \leq 1$ мм	$t = 2 - 4$, мм			$t = 5 - 8$, мм				
$\varphi =$ 45 $- 90^\circ$	$\varphi =$ 45°	$\varphi =$ 60°	$\varphi =$ 90°	$\varphi =$ 45°	$\varphi =$ 60°	$\varphi =$ 90°			
До 0,2	220	205	205	195	205	195	175	235	380-440
0,3	205	190	175	165	180	175	145	215	280-320
0,4	190	175	165	160	165	160	135	200	230-260
0,5	180	160	150	150	150	140	125	190	-
0,6	175	150	145	140	140	135	120	180	-
0,8	165	140	135	130	125	120	105	165	-
1,0	-	-	-	-	-	-	-	145	-
1,5	-	-	-	-	-	-	-	135	-
2,0	-	-	-	-	-	-	-	120	-

Таблиця 2 – Швидкість різання при обробці отворів в сталених заготовках

Група подачі	Значення $V_{\text{табл}}$, м/хв, при зенкеруванні
I	21
II	22
III	24
IV	27

Таблиця 3 – Швидкість різання при фрезеруванні площини сталеної заготовки

Тип фрези	Метеріал інструменту	Глибина різання, мм	Значення $V_{\text{табл}}$, м/хв, при подачі на S_z , мм/зуб					
			до 0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2
Торцева	Твердий сплав	1	-	180	165	145	135	125
		3	-	160	145	130	120	110
		6	-	150	135	125	110	105

Таблиця 4 – Швидкість різання при токарній обробці алюмінієвих сплавів

Марка алюмінієвого сплаву	Значення V , м/хв
АМц, АМг, АМг4, АМг4,5	1000-1500
АМг3, АД31, АД33, Д16, Д1, Д18, АК4, АК8, АК6, АК6М2, АЛ3, АЛ5, АЛ7, АЛ9, АЛ10, АЛ13	600-800
АК9Т, АК10М2Н, АК12М2Н, АЛ2, АЛ4, АЛ25	400-600

Таблиця 5 – Швидкість різання при обробці отворів в заготовках із алюмінію

Марка алюмінієвого сплаву	Значення V , м/хв
АМц, АМг2, АМг4, АМг4,5	50-80
АМг3, АД31, АД33, Д16, Д1, Д18, АК4, АК8, АК6, АК6М2, АЛ3, АЛ5, АЛ7, АЛ9, АЛ10, АЛ13	40-60
АК9Т, АК10М2М, АК12М2М, АЛ2, АЛ4, АЛ25	30-45

Таблиця 6 – Швидкість різання при фрезеруванні площини алюмінієвих заготовок торцевими фрезами

Марка алюмінієвого сплаву	Значення V , м/хв
АК4, АК8, АК6, АК6М2, АЛ10, АЛ5, АЛ3, АЛ7, АЛ9	800-1500
АК9Т, АК10М2Н, АК12М2Н, АЛ2, АЛ4, АЛ25	600-1000

Таблиця 7 – Коефіцієнт K_1 при токарній обробці

Марка оброблюваної сталі	Значення K_1 при твердості деталі НВ			
	128-174	179-229	229-269	277-321
10, 15, 20, 25	1,25	1,15	-	-
30, 35, 40, 45, 50	1,15	1,0	0,9	0,85
60, 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г	-	1,0	0,85	0,85
15Х, 20Х	1,25	1,1	0,95	0,85
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 30ХМ, 38ХМА	-	1,0	0,9	0,8
15Г, 20Г, 25Г	1,2	1,15	1,05	-
30Г, 25Г2, 40Г, 45Г2, 50Г	1,1	1,0	0,9	0,9
16ХГ, 18ХГ, 18ХГМ, 18ХГТ, 20ХГР	1,2	1,1	0,95	0,85
30ХГТ, 35ХГ2, 40ХГР, 40ХФА, 50ХФА	-	0,95	0,85	0,8
15ХМ, 20ХМ, 20Х2М4А	1,2	1,1	0,95	0,85
20ХН, 12ХН3А, 20ХН, 20ХН3А	1,15	1,05	0,95	0,85

Таблиця 8 – Коефіцієнт K_2 , що залежить від твердого сплаву інструменту при токарній обробці

Група твердого сплаву	P10	P20	P20C	P30	P30C	P40
Значення K_2	1	0,8	1	0,65	0,85	0,5

Таблиця 9 – Коефіцієнт K_3 , що залежить від стійкості інструменту при токарній обробці

Значення K_1	Значення K_3 при стійкості T_p					
	До 15	30	45	60	120	180
1,5-1,2	1,6	1,3	1,12	1	0,75	0,6
1,15-0,85	1,4	1,2	1,08	1	0,78	0,65
До 0,8	1,3	1,15	1,06	1	0,8	0,7

Таблиця 10 – Коефіцієнт K_1 при зенкеруванні

Марка оброблюваної сталі	Значення K_1 при твердості деталі HB			
	128-174	179-229	229-269	277-321
10, 15, 20, 25	1,2	1,1	-	-
30, 35, 40, 45, 50	1,05	1,0	0,85	0,7
60, 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г	-	0,85	0,75	0,6
15Х, 20Х	1,3	1,0	0,8	0,7
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 30ХМ, 38ХМА	-	1,0	0,85	0,7
15Г, 20Г, 25Г	1,1	1,05	0,95	-
30Г, 25Г2, 40Г, 45Г2, 50Г	1,05	0,9	0,75	0,65
16ХГ, 18ХГ, 18ХГМ, 18ХГТ, 20ХГР	1,1	1,0	0,8	0,7
30ХГТ, 35ХГ2, 40ХГР, 40ХФА, 50ХФА	0,9	0,8	0,7	0,6
15ХМ, 20ХМ, 20Х2М4А	1,1	1,0	0,8	0,7
20ХН, 12ХН3А, 20ХН, 20ХН3А	1,05	0,9	0,8	0,65

Таблиця 11 – Коефіцієнт K_2 , що залежить від подачі при зенкеруванні

Відношення подач прийнятої до рекомендованої	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Значення K_2	0,95	1	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6

Таблиця 12 – Коефіцієнт K_3 , що залежить від стійкості зенкера

Зміст обробки	Значення K_3 при обробці інструментом зі стійкістю T_p										
	10	20	30	40	50	90	120	150	180	210	240
Зенкерування	1,5	1,35	1,25	1,2	1,1	1	0,95	0,9	0,8	0,75	0,7

Таблиця 13 – Коефіцієнт K_1 при фрезеруванні

Марка оброблюваної сталі	Значення K_1 при обробці інструментом							
	з твердого сплаву				зі швидкорізальної сталі			
	при твердості оброблюваного матеріалу НВ							
	128-174	179-229	229-269	277-321	128-174	179-229	229-269	277-321
10, 15, 20, 25	1,25	1,15	-	-	1,2	1,1	-	-
30, 35, 40, 45, 50	1,15	1,0	0,9	0,85	1,05	1,0	0,85	0,7
60, 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г	-	1,0	0,85	0,85	-	0,85	0,75	0,6
15Х, 20Х	1,25	1,1	0,95	0,85	1,3	1,0	0,8	0,7
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 30ХМ	-	1,0	0,9	0,8	-	1,0	0,85	0,7
15Г, 20Г, 25Г	1,2	1,15	1,05	-	1,1	1,05	0,95	-
30Г, 25Г2, 40Г, 45Г2, 50Г	1,1	1,0	0,9	0,9	1,05	0,9	0,75	0,65
16ХГ, 18ХГ, 18ХГМ, 18ХГТ, 20ХГР	1,2	1,1	0,95	0,85	1,1	1,0	0,8	0,7
30ХГТ, 35ХГ2, 40ХГР, 40ХФА	-	0,95	0,85	0,8	-	0,8	0,7	0,6
15ХМ, 20ХМ, 20Х2М4А	1,2	1,1	0,95	0,85	1,1	1,0	0,8	0,7
20ХН, 12ХН3А, 20ХН, 20ХН3А	1,15	1,05	0,95	0,85	1,05	0,9	0,8	0,65

Таблиця 14 – Коефіцієнт K_2 , що залежить від інструментального матеріалу при фрезеруванні

Інструментальний матеріал	Значення K_2	Інструментальний матеріал	Значення K_2
Швидкорізальна сталь		Твердий сплав	
базова Р6М5, Р18	1,0	Р20, Р25	1
легована кобальтом Р6М5К5	1,2	Р10, Р25С	1,15
зі зносостійким покриттям базова Р6М5, Р18	1,2	Р35С	0,8
зі зносостійким покриттям легована кобальтом Р6М5К5	1,4	Р40	0,65

Таблиця 15 – Коефіцієнт K_3 , що залежить від стійкості інструменту при фрезеруванні

Інструментальний матеріал	Значення K_3 при стійкості T_p					
	До 10	15	30	45	60	90
Твердий сплав при значенні коефіцієнта K_1 :						
1,5-1,2	1,55	1,25	1	0,87	0,8	0,7
1,1-0,85	1,4	1,2	1	0,9	0,85	0,75
0,8-0,55	1,3	1,15	1	0,92	0,87	0,8
Швидкорізальна сталь	1,0	0,85	0,7	0,65	0,6	0,55

ДОДАТОК Л

Значення допусків (мкм) для розмірів до 500 мм

Позначення допуску	Номинальні розміри, мм												
	До 3	3 до 6	6 до 10	10 до 18	18 до 30	30 до 50	50 до 80	80 до 120	120 до 180	180 до 250	250 до 315	315 до 400	400 до 500
<i>IT01</i>	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1,1	1,2	2	2,5	3	4
<i>IT0</i>	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
<i>IT1</i>	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
<i>IT2</i>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
<i>IT3</i>	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
<i>IT4</i>	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
<i>IT5</i>	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
<i>IT6</i>	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
<i>IT7</i>	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
<i>IT8</i>	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
<i>IT9</i>	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
<i>IT10</i>	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
<i>IT11</i>	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
<i>IT12</i>	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
<i>IT13</i>	140	180	220	270	320	390	460	540	630	720	810	890	970
<i>IT14</i>	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
<i>IT15</i>	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
<i>IT16</i>	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
<i>IT17</i>	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
<i>IT18</i>	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

ДОДАТОК М
ТАБЛИЦЯ ДОПУСКІВ ISO

Інтервал розмірів, мм		Квалітет 6											Квалітет 7											Квалітет 8													
		Поля допусків																																			
		H6	h6	g6	h6	j,6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	H7	e7	f7	h7	j,7	k7	m7	n7	s7	u7	H8	c8	d8	e8	f8	h8	j,8	u8	x8	z8				
Граничні відхилення, мкм																																					
Від 1 до 3	+6 0	-6 -12	-2 -8	0 -6	+3 -3	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14	-	+10 0	-14 -24	-6 -16	0 -10	+5 -5	+10 0	-	+14 +4	+24 +14	+28 +18	+14 0	-60 -74	-20 -34	-14 -28	-6 -20	0 -14	+7 -7	+32 +18	+34 +20	+40 +26					
Від 3 до 6	+8 0	-10 -18	-4 -12	0 -8	+4 -4	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19	-	+12 0	-20 -32	-10 -22	0 -12	+6 -6	+13 +1	+16 +8	+20 +8	+35 +23	+35 +23	+18 0	-70 -88	-30 -48	-20 -38	-10 -28	0 -18	+9 -9	+41 +23	+46 +28	+53 +35					
Від 6 до 10	+9 0	-13 -22	-5 -14	0 -9	+4,5 -4,5	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23	-	+15 0	-25 -40	-13 -28	0 -15	+7 -7	+16 +1	+21 +6	+25 +10	+38 +23	+43 +28	+22 0	-80 -102	-40 -62	-25 -47	-13 -35	0 -22	+11 -11	+50 +28	+56 +34	+64 +42					
Від 10 до 14	+11 0	-16 -27	-6 -17	0 -11	+5,5 -5,5	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28	-	+18 0	-32 -50	-16 -34	0 -18	+9 -9	+19 +1	+25 +7	+30 +12	+46 +28	+51 +33	+27 0	-95 -122	-50 -77	-32 -59	-16 -43	0 -13	+13 -13	+60 +33	+67 +40	+77 +50					
Від 14 до 18	+11 0	-16 -27	-6 -17	0 -11	+5,5 -5,5	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28	-	+18 0	-32 -50	-16 -34	0 -18	+9 -9	+19 +1	+25 +7	+30 +12	+46 +28	+51 +33	+27 0	-95 -122	-50 -77	-32 -59	-16 -43	0 -27	+13 -13	+60 +33	+67 +40	+77 +50					
Від 18 до 24	+13 0	-20 -33	-7 -20	0 -13	+6,5 -6,5	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35	-	+21 0	-40 -61	-20 -41	0 -21	+10 -10	+23 +2	+29 +8	+36 +15	+56 +35	+62 +48	+33 0	-110 -143	-65 -98	-40 -73	-20 -53	0 -33	+16 -16	+74 +41	+87 +54	+106 +73					
Від 24 до 30	+13 0	-20 -33	-7 -20	0 -13	+6,5 -6,5	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35	+54 +41	+25 0	-50 -75	-25 -50	0 -25	+12 -12	+27 +2	+34 +9	+42 +17	+68 +43	+85 +70	+39 0	-120 -130	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	+19 -19	+99 +60	+119 +80	+175 +136					
Від 30 до 40	+16 0	-25 -41	-9 -25	0 -16	+8,0 -8,0	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+64 +48	+25 0	-50 -75	-25 -50	0 -25	+12 -12	+27 +2	+34 +9	+42 +17	+68 +43	+85 +70	+39 0	-120 -130	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	+19 -19	+99 +60	+119 +80	+175 +136					
Від 40 до 50	+16 0	-25 -41	-9 -25	0 -16	+8,0 -8,0	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+64 +48	+25 0	-50 -75	-25 -50	0 -25	+12 -12	+27 +2	+34 +9	+42 +17	+68 +43	+85 +70	+39 0	-120 -130	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	+19 -19	+99 +60	+119 +80	+175 +136					
Від 50 до 65	+19 0	-30 -49	-10 -29	0 -19	+9,5 -9,5	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+51 +32	+60 +41	+72 +53	+85 +66	+30 0	-60 -90	-30 -60	0 -30	+15 -15	+32 +2	+41 +11	+50 +20	+83 +53	+117 +87	+46 0	-140 -186	-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	+23 -23	+133 +87	+168 +122	+218 +172					
Від 65 до 80	+19 0	-30 -49	-10 -29	0 -19	+9,5 -9,5	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+51 +32	+60 +41	+72 +53	+85 +66	+30 0	-60 -90	-30 -60	0 -30	+15 -15	+32 +2	+41 +11	+50 +20	+83 +53	+117 +87	+46 0	-140 -186	-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	+23 -23	+133 +87	+168 +122	+218 +172					
Від 80 до 100	+22 0	-36 -58	-12 -34	0 -22	+11 -11	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+73 +51	+93 +71	+113 +91	+35 0	-72 -107	-36 -71	0 -35	+17 -17	+38 +3	+48 +13	+58 +23	+106 +71	+159 +124	+54 0	-170 -224	-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	+27 -27	+178 +124	+232 +178	+312 +258					
Від 100 до 120	+22 0	-36 -58	-12 -34	0 -22	+11 -11	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+73 +51	+93 +71	+113 +91	+35 0	-72 -107	-36 -71	0 -35	+17 -17	+38 +3	+48 +13	+58 +23	+106 +71	+159 +124	+54 0	-170 -224	-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	+27 -27	+178 +124	+232 +178	+312 +258					
Від 120 до 140	+25 0	-43 -68	-14 -39	0 -25	+12,5 -12,5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+88 +63	+117 +92	+147 +122	+40 0	-85 -125	-43 -83	0 -40	+20 -20	+43 +3	+55 +15	+67 +27	+140 +100	+230 +190	+63 0	-210 -273	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	+31 -31	+253 +190	+343 +280	+478 +415					
Від 140 до 160	+25 0	-43 -68	-14 -39	0 -25	+12,5 -12,5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+88 +63	+117 +92	+147 +122	+40 0	-85 -125	-43 -83	0 -40	+20 -20	+43 +3	+55 +15	+67 +27	+140 +100	+230 +190	+63 0	-210 -273	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	+31 -31	+253 +190	+343 +280	+478 +415					
Від 160 до 180	+29 0	-50 -79	-15 -44	0 -29	+14,5 -14,5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+109 +80	+159 +130	+209 +180	+46 0	-100 -146	-50 -96	0 -46	+23 -23	+50 +4	+63 +17	+77 +31	+176 +130	+304 +258	+72 0	-260 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	+36 -36	+330 +258	+457 +385	+647 +575					
Від 180 до 200	+29 0	-50 -79	-15 -44	0 -29	+14,5 -14,5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+109 +80	+159 +130	+209 +180	+46 0	-100 -146	-50 -96	0 -46	+23 -23	+50 +4	+63 +17	+77 +31	+176 +130	+304 +258	+72 0	-260 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	+36 -36	+330 +258	+457 +385	+647 +575					
Від 200 до 225	+29 0	-50 -79	-15 -44	0 -29	+14,5 -14,5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+109 +80	+159 +130	+209 +180	+46 0	-100 -146	-50 -96	0 -46	+23 -23	+50 +4	+63 +17	+77 +31	+176 +130	+304 +258	+72 0	-260 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	+36 -36	+330 +258	+457 +385	+647 +575					
Від 225 до 250	+32 0	-56 -88	-17 -49	0 -32	+16 -16	+36 +4	+52 +20	+66 +34	+88 +56	+126 +98	+190 +170	+230 +240	+52 0	-110 -162	-56 -108	0 -52	+26 -26	+56 +4	+72 +20	+86 +34	+210 +170	+367 +350	+31 0	-300 -411	-190 -271	-110 -191	-56 -137	0 -81	+40 -40	+396 +350	+556 +525	+791 +790					
Від 250 до 280	+32 0	-56 -88	-17 -49	0 -32	+16 -16	+36 +4	+52 +20	+66 +34	+88 +56	+126 +98	+190 +170	+230 +240	+52 0	-110 -162	-56 -108	0 -52	+26 -26	+56 +4	+72 +20	+86 +34	+210 +170	+367 +350	+31 0	-300 -411	-190 -271	-110 -191	-56 -137	0 -81	+40 -40	+396 +350	+556 +525	+791 +790					
Від 280 до 315	+32 0	-56 -88	-17 -49	0 -32	+16 -16	+36 +4	+52 +20	+66 +34	+88 +56	+126 +98	+190 +170	+230 +240	+52 0	-110 -162	-56 -108	0 -52	+26 -26	+56 +4	+72 +20	+86 +34	+210 +170	+367 +350	+31 0	-300 -411	-190 -271	-110 -191	-56 -137	0 -81	+40 -40	+396 +350	+556 +525	+791 +790					
Від 315 до 355	+36 0	-62 -98	-18 -54	0 -36	+18,0 -18,0	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+98 +62	+144 +108	+226 +190	+304 +268	+57 0	-125 -182	-62 -119	0 -57	+28 -28	+61 +4	+78 +21	+94 +37	+247 +190	+447 +390	+89 0	-360 -449	-210 -299	-125 -214	-62 -151	0 -89	+44 -44	+479 +390	+679 +590	+989 +900					
Від 355 до 400	+36 0	-62 -98	-18 -54	0 -36	+18,0 -18,0	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+98 +62	+144 +108	+226 +190	+304 +268	+57 0	-125 -182	-62 -119	0 -57	+28 -28	+61 +4	+78 +21	+94 +37	+247 +190	+447 +390	+89 0	-360 -449	-210 -299	-125 -214	-62 -151	0 -89	+44 -44	+479 +390	+679 +590	+989 +900					
Від 400 до 450	+40 0	-68 -108	-20 -60	0 -40	+20,0 -20,0	+45 +5	+63 +23	+80 +40	+108 +68	+166 +126	+272 +232	+370 +330	+63 0	-135 -198	-68 -131	0 -63	+31 -31	+68 +5	+86 +23	+103 +40	+295 +232	+553 +490	+97 0	-440 -537	-230 -327	-135 -232	-68 -165	0 -97	+48 -48	+587 +490	+837 +740	+1197 +1100					
Від 450 до 500	+40 0	-68 -108	-20 -60	0 -40	+20,0 -20,0	+45 +5	+63 +23	+80 +40	+108 +68	+166 +126	+272 +232	+370 +330	+63 0	-135 -198	-68 -131	0 -63	+31 -31	+68 +5	+86 +23	+103 +40	+295 +232	+553 +490	+97 0	-440 -537	-230 -327	-135 -232	-68 -165	0 -97	+48 -48	+587 +490	+837 +740	+1197 +1100					

Інтервал розмірів, мм	Квалітет 9					Квалітет 10					Квалітет 11					Квалітет 12					Квалітет 13					Квалітет 14					Квалітет 15					Квалітет 16					Квалітет 17				
	Поля допусків																																												
	H9	d9	e9	f9	h9	j _s 9	H10	d10	h10	j _s 10	H11	a11	b11	c11	d11	h11	j _s 11	H12	b12	h12	j _s 12	H13	h13	j _s 13	H14	h14	j _s 14	H15	h15	j _s 15	H16	h16	j _s 16	H16	h16	j _s 16	H16	h16	j _s 16						
	Граничні відхилення, мкм																																												
від 1 до 3	+25 0	-20 -45	-14 -39	-6 -31	0 -25	+12 -12	+40 0	-20 -60	0 -40	+20 -20	+60 -330	-270 -200	-140 -120	-60 -80	-20 -60	0 -30	+30 +100	-140 -240	0 -100	+50 -50	+140 -140	0 -70	+70 +250	0 -250	+125 -125	+400 0	0 -400	+200 -200	+600 0	0 -600	+300 -300	+1000 0	-1000 0	+500 -500											
від 3 до 6	+30 0	-30 -60	-20 -50	-10 -40	0 -30	+15 -15	+48 0	-30 -78	0 -48	+24 -24	+75 -345	-270 -215	-140 -145	-70 -105	-30 -75	0 -37	+37 +120	-140 -260	0 -120	+60 -60	+180 0	+90 -90	+300 0	+150 -150	+480 0	+240 -480	+750 0	+375 -480	+1200 0	+375 -375	+1200 0	0 -1200	0 -600	+600 -600											
від 6 до 10	+36 0	-40 -76	-25 -61	-13 -49	0 -36	+18 -18	+58 0	-40 -98	0 -58	+29 -29	+90 -370	-280 -240	-150 -170	-80 -130	-40 -90	0 -45	+45 +150	-150 -300	0 -150	+75 -75	+220 0	+110 -110	+360 0	+180 -360	+580 0	+290 -580	+900 0	+450 -900	+1500 0	+450 -450	+1500 0	0 -1500	+750 -750												
від 10 до 14	+43 0	-50 -93	-32 -75	-16 -59	0 -43	+21 -21	+70 0	-50 -120	0 -70	+35 -35	+110 -400	-290 -260	-150 -205	-95 -160	-50 -110	0 -55	+55 +180	-150 -330	0 -180	+90 -90	+270 0	+135 -135	+430 0	+215 -430	+700 0	+350 -700	+1100 0	+550 -350	+1800 0	+550 -550	+1800 0	0 -1800	+900 -900												
від 14 до 18	+52 0	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52	+26 -26	+84 0	-65 -149	0 -84	+42 -42	+130 -430	-300 -290	-160 -240	-110 -195	-65 -130	0 -90	+65 +210	-160 -370	0 -210	+105 -105	+330 0	+165 -165	+250 0	+260 -520	+840 0	+420 -260	+1300 0	+650 -420	+2100 0	+650 -650	+2100 0	0 -2100	+1050 -1050												
від 18 до 24	+52 0	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52	+26 -26	+84 0	-65 -149	0 -84	+42 -42	+130 -430	-300 -290	-160 -240	-110 -195	-65 -130	0 -90	+65 +210	-160 -370	0 -210	+105 -105	+330 0	+165 -165	+250 0	+260 -520	+840 0	+420 -260	+1300 0	+650 -420	+2100 0	+650 -650	+2100 0	0 -2100	+1050 -1050												
від 24 до 30	+52 0	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52	+26 -26	+84 0	-65 -149	0 -84	+42 -42	+130 -430	-300 -290	-160 -240	-110 -195	-65 -130	0 -90	+65 +210	-160 -370	0 -210	+105 -105	+330 0	+165 -165	+250 0	+260 -520	+840 0	+420 -260	+1300 0	+650 -420	+2100 0	+650 -650	+2100 0	0 -2100	+1050 -1050												
від 30 до 40	+62 0	-80 -142	-50 -112	-25 -87	0 -62	+31 -31	+100 0	-80 -180	0 -100	+50 -50	+160 0	-470 -330	-280 -280	-80 -240	0 -160	+80 -80	+250 0	-180 -250	0 -125	+125 -125	+390 0	+195 -195	+620 0	+310 -620	+1000 0	+500 -1000	+1600 0	+800 -500	+2500 0	+800 -800	+2500 0	0 -2500	+1250 -1250												
від 40 до 50	+62 0	-80 -142	-50 -112	-25 -87	0 -62	+31 -31	+100 0	-80 -180	0 -100	+50 -50	+160 0	-470 -330	-280 -280	-80 -240	0 -160	+80 -80	+250 0	-180 -250	0 -125	+125 -125	+390 0	+195 -195	+620 0	+310 -620	+1000 0	+500 -1000	+1600 0	+800 -500	+2500 0	+800 -800	+2500 0	0 -2500	+1250 -1250												
від 50 до 65	+74 0	-100 -174	-60 -134	-30 -104	0 -74	+37 -37	+120 0	-100 -220	0 -120	+60 -60	+190 0	-340 -190	-140 -330	-100 -330	0 -190	+95 -95	+300 0	-490 -300	0 -150	+150 -150	+460 0	+230 -230	+740 0	+370 -740	+1200 0	+600 -1200	+1900 0	+950 -600	+3000 0	+950 -950	+3000 0	0 -3000	+1500 -1500												
від 65 до 80	+74 0	-100 -174	-60 -134	-30 -104	0 -74	+37 -37	+120 0	-100 -220	0 -120	+60 -60	+190 0	-340 -190	-140 -330	-100 -330	0 -190	+95 -95	+300 0	-490 -300	0 -150	+150 -150	+460 0	+230 -230	+740 0	+370 -740	+1200 0	+600 -1200	+1900 0	+950 -600	+3000 0	+950 -950	+3000 0	0 -3000	+1500 -1500												
від 80 до 100	+87 0	-120 -207	-72 -159	-36 -123	0 -87	+43 -43	+140 0	-120 -260	0 -140	+70 -70	+220 0	-600 -410	-220 -240	-170 -180	0 -340	+110 -110	+350 0	-570 -240	0 -350	+175 -175	+540 0	+270 -270	+870 0	+435 -435	+1400 0	+700 -1400	+2200 0	+1100 -700	+3500 0	+1100 -2200	+3500 0	0 -3500	+1750 -1750												
від 100 до 120	+87 0	-120 -207	-72 -159	-36 -123	0 -87	+43 -43	+140 0	-120 -260	0 -140	+70 -70	+220 0	-600 -410	-220 -240	-170 -180	0 -340	+110 -110	+350 0	-570 -240	0 -350	+175 -175	+540 0	+270 -270	+870 0	+435 -435	+1400 0	+700 -1400	+2200 0	+1100 -700	+3500 0	+1100 -2200	+3500 0	0 -3500	+1750 -1750												
від 120 до 140	+100 0	-145 -245	-85 -185	-43 -143	0 -100	+50 -50	+160 0	-145 -305	0 -160	+80 -80	+250 0	-520 -770	-280 -530	-210 -460	-145 -395	0 -250	+125 -125	+400 0	-280 -680	0 -400	+200 -200	+630 0	+315 -315	+1000 0	+500 -1000	+1600 0	+800 -800	+2500 0	+1250 -2500	+4000 0	+1250 -4000	+4000 0	0 -4000	+2000 -2000											
від 140 до 160	+100 0	-145 -245	-85 -185	-43 -143	0 -100	+50 -50	+160 0	-145 -305	0 -160	+80 -80	+250 0	-520 -770	-280 -530	-210 -460	-145 -395	0 -250	+125 -125	+400 0	-280 -680	0 -400	+200 -200	+630 0	+315 -315	+1000 0	+500 -1000	+1600 0	+800 -800	+2500 0	+1250 -2500	+4000 0	+1250 -4000	+4000 0	0 -4000	+2000 -2000											
від 160 до 180	+115 0	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115	+57 -57	+185 0	-170 -355	0 -185	+92 -92	+290 0	-740 -1030	-380 -670	-260 -550	-170 -450	0 -290	+145 -145	+460 0	-380 -840	0 -460	+230 -230	+720 0	+360 -360	+1150 0	+575 -1150	+1250 0	+925 -1850	+2900 0	+1450 -925	+4600 0	+1450 -2900	+4600 0	0 -4600	+2300 -2300											
від 180 до 200	+115 0	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115	+57 -57	+185 0	-170 -355	0 -185	+92 -92	+290 0	-740 -1030	-380 -670	-260 -550	-170 -450	0 -290	+145 -145	+460 0	-380 -840	0 -460	+230 -230	+720 0	+360 -360	+1150 0	+575 -1150	+1250 0	+925 -1850	+2900 0	+1450 -925	+4600 0	+1450 -2900	+4600 0	0 -4600	+2300 -2300											
від 200 до 225	+115 0	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115	+57 -57	+185 0	-170 -355	0 -185	+92 -92	+290 0	-740 -1030	-380 -670	-260 -550	-170 -450	0 -290	+145 -145	+460 0	-380 -840	0 -460	+230 -230	+720 0	+360 -360	+1150 0	+575 -1150	+1250 0	+925 -1850	+2900 0	+1450 -925	+4600 0	+1450 -2900	+4600 0	0 -4600	+2300 -2300											
від 225 до 250	+130 0	-190 -320	-110 -240	-56 -186	0 -130	+65 -65	+210 0	-190 -400	0 -210	+105 -105	+320 0	-1240 -1050	-800 -540	-620 -330	-190 -510	0 -320	+160 -160	+520 0	-1000 -540	0 -520	+260 -260	+810 0	+405 -405	+1300 0	+650 -1300	+2100 0	+1050 -650	+3200 0	+1600 -3200	+5200 0	+1600 -5200	+5200 0	0 -5200	+2600 -2600											
від 250 до 280	+130 0	-190 -320	-110 -240	-56 -186	0 -130	+65 -65	+210 0	-190 -400	0 -210	+105 -105	+320 0	-1240 -1050	-800 -540	-620 -330	-190 -510	0 -320	+160 -160	+520 0	-1000 -540	0 -520	+260 -260	+810 0	+405 -405	+1300 0	+650 -1300	+2100 0	+1050 -650	+3200 0	+1600 -3200	+5200 0	+1600 -5200	+5200 0	0 -5200	+2600 -2600											
від 280 до 315	+140 0	-210 -350	-125 -265	-62 -202	0 -140	+70 -70	+230 0	-210 -440	0 -230	+115 -115	+360 0	-1560 -1350	-960 -680	-720 -400	-210 -570	0 -360	+180 -180	+570 0	-1170 -680	0 -570	+285 -285	+890 0	+445 -445	+1400 0	+700 -1400	+2300 0	+1150 -2300	+3600 0	+1800 -3600	+5700 0	+1800 -5700	+5700 0	0 -5700	+2850 -2850											
від 315 до 355	+140 0	-210 -350	-125 -265	-62 -202	0 -140	+70 -70	+230 0	-210 -440	0 -230	+115 -115	+360 0	-1560 -1350	-960 -680	-720 -400	-210 -570	0 -360	+180 -180	+570 0	-1170 -680	0 -570	+285 -285	+890 0	+445 -445	+1400 0	+700 -1400	+2300 0	+1150 -2300	+3600 0	+1800 -3600	+5700 0	+1800 -5700	+5700 0	0 -5700	+2850 -2850											
від 355 до 400	+155 0	-230 -385	-135 -290	-68 -223	0 -155	+77 -77	+250 0	-230 -480	0 -250	+125 -125	+400 0	-1900 -1650	-1160 -840	-840 -490	-230 -630	0 -400	+200 -200	+630 0	-1390 -840	0 -630	+315 -315	+970 0	+485 -485	+1550 0	+775 -1550	+2500 0	+1250 -2500	+4000 0	+2000 -4000	+6300 0	+2000 -6300	+6300 0	0 -6300	+3150 -3150											
від 400 до 450	+155 0	-230 -385	-135 -290	-68 -223	0 -155	+77 -77	+250 0	-230 -480	0 -250	+125 -125	+400 0	-1900 -2050	-1160 -1240	-840 -890	-230 -400	0 -200	+200 -200	+630 0	-1390 -840	0 -630	+315 -315	+970 0	+485 -485	+1550 0	+775 -1550	+2500 0	+1250 -2500	+4000 0	+2000 -4000	+6300 0	+2000 -6300	+6300 0	0 -6300	+3150 -3150											

ДОДАТОК Н
Точність і шорсткість поверхні при обробці площин

Метод обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Квалітет (точність) розміру	Технологічні допуски, мкм, на розмір обробки до базової поверхні, мм								Граничні відхилення форми і розташування площин, мкм					
			До 80	Понад 80 до 180	Понад 180 до 260	Понад 260 до 500	понад 80	Понад 80 до 180	Понад 180 до 260	Понад 260 до 500	Відхилення від площинності і	Відхилення від паралельності і	Відхилення від площинності і	Відхилення від паралельності і	Відхилення від площинності і	Відхилення від паралельності і
			До 100x180				Понад 100x160 до 400x400				До 60x60		Понад 60x60 до 160x160		Понад 160x160 до 400x400	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Фрезерування і стругання:																
чорнове	40... 5,0	12	-	-	-	-	-	-	-	-	80	100	120	160	200	250
		11	-	-	-	-	200	260	300	380	40	60	100	100	160	160
		10	120	160	185	250	120	160	185	250	25	40	40	60	160	100
		9	60	80	90	100	-	-	-	-						
чистове	5,0... 0,65	11	-	-	-	-	-	-	-	-	40	60	60	100	100	160
		10	-	-	-	-	120	160	185	250	25	40	40	60	60	100
		9	80	80	90	120	60	80	90	120	16	25	25	40	40	60
		8	25	40	47	62	-	-	-	-						

тонке	2,5... 0,32	9	-	-	-	-	-	-	-	-	16	25	25	40	40	60
		8	25	40	47	62	25	40	47	62	10	16	16	25	25	40
		7	20	27	30	40	20	27	30	40	6	10	10	16	16	25
торцеве точіння і підрізання																
чорнове	40... 10,0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	80	100	120	160	200	250
		12	400	530	600	760	400	530	600	780	40	60	60	100	100	160
		11	200	260	300	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
чистове або одноразове	40... 1,25	12	-	-	-	-	-	-	-	-	80	100	120	160	200	250
		11	-	-	-	-	200	260	300	380	40	60	60	100	100	160
		10	120	160	185	250	120	160	185	185	25	40	40	60	60	100
		9	60	80	90	120	-	-	-	-	16	25	-	-	-	-
тонке	2,5... 0,08	8	25	40	47	62	25	40	47	62	6	10	10	16	16	25
		7	20	27	30	40	20	27	30	40	4	6	6	10	10	16
		6	13	18	20	25	13	18	20	25	2,5	4	4	6	6	10
Притирання, тонке шабрування	0,63... 0,08										1,6	2,5	2,5	4	4	6
		6	13	18	20	25	13	18	20	25	2,5	4	4	6	6	10
											1,0	1,6	1,6	1,6	2,5	4

Примітка.

1. Дані таблиці стосуються сталевих деталей. Для деталей з чавуну або кольорових сплавів граничні відхилення щодо точності можна приймати на один квалітет вищими.
2. Табличні дані відносять до обробки при базуванні на чистові бази і при використанні їх як вимірювальні бази. Якщо ці бази не збігаються, то табличні значення технологічних допусків необхідно збільшити на величину похибки базування.

Технологія обробки типових деталей та складання машин
Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве
машинобудування»

Укладачі: Скібінський О.І., Скібінський Я.О., Селехова В.М.

Кропивницький