

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ  
ІЗ КУРСУ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»**

**2013**

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

---

**Кафедра технології виробництва**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ІЗ КУРСУ  
«ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»**

**Дніпропетровськ  
РВВ ДНУ  
2013**

Викладено зміст, порядок виконання й оформлення практичних робіт із курсу «Технологія машинобудування». До кожної роботи подано теоретичну інформацію щодо базових понять.

Основною метою розроблених методичних вказівок є надання студентам можливості поглибленого засвоєння важливих у технології машинобудування питань забезпечення точності механічної обробки та раціонального проектування технологічних процесів механоскладальних робіт.

Для студентів фізико-технічного факультету, які навчаються за напрямками «Авіа- та ракетобудування», «Інженерна механіка», «Матеріалознавство», «Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів», «Авіоніка».

## ПЕРЕДМОВА

Видання методичних вказівок до виконання практичних робіт із курсу «Технологія машинобудування» здійснено з метою покращити методичне забезпечення технологічної підготовки інженерів-механіків в Дніпропетровському національному університеті імені Олеся Гончара. Зміст методичних вказівок відповідає навчальним програмам з технологічної підготовки фахівців за напрямками «Авіа- та ракетобудування», «Інженерна механіка», «Матеріалознавство», «Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів», «Авіоніка».

У поданих вказівках до практичних робіт авторами представлені єдині наукові і практичні підходи до визначення жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь, аналізу причин виникнення похибок механічної обробки партії деталей та виробничих факторів, що впливають на їх величини, розрахунку оптимальних припусків на механічну обробку різного типу деталей. Також із позицій практичного застосування викладені рекомендації щодо розробки й оформлення технологічного процесу механічної обробки деталі та технологічної схеми складання як за складальним кресленням, так і за натурним виробом.

Основним завданням автори методичних вказівок вважають закріплення теоретичної та практичної бази знань з технології машинобудування у важливих питаннях раціонального проектування технологічних процесів механоскладальних робіт, забезпечення якості й точності механічної обробки виробів, оформлення технологічної документації.

Під час викладення матеріалу передбачалось, що користувачі методичних вказівок володіють основами математичного аналізу, фізики й теоретичної механіки, прослухали лекції з курсів «Деталі машин», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство».

У формуванні матеріалу до поданої редакції методичних вказівок важливу роль відіграла тісна співпраця колективу авторів з Державним підприємством «Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова».

## Практичне заняття 1

### ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ СИСТЕМИ ВЕРСТАТ – ПРИСТОСУВАННЯ – ІНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ

Мета роботи: вивчити закономірності виникнення похибок у процесі обточування зовнішніх поверхонь деталей зі змінною величиною припуску та визначити вплив на точність механічної обробки жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь.

#### Необхідні теоретичні відомості

Під точністю механічної обробки розуміють ступінь наближення виготовленої деталі до заданих номінальних розмірів, ідеальної геометричної форми, механічних і фізичних властивостей.

Геометрична точність деталей досягається, коли за результатами механічної обробки отримані деталі повністю відповідають кресленню за формою й розмірами. Однак виконати цю вимогу й отримати ідеальні деталі практично неможливо через похибки, що виникають як у процесі механічної обробки, так і через недосконалість засобів вимірювання.

У загальному випадку на точність обробки в металорізальних верстатах впливають такі основні фактори:

- 1) неточність пристосувань, що є наслідком неточності виготовлення їх основних деталей і вузлів та неточності складання останніх;
- 2) неточності виготовлення різального та допоміжного інструментів і ступінь їх зношення (спрацювання) за час роботи;
- 3) неточність встановлення інструментів і налагодження верстата на розмір;
- 4) похибки базування і встановлення оброблюваної деталі на верстаті або в технологічному пристосуванні;
- 5) деформації деталей верстата, оброблюваної деталі та інструмента під час обробки під впливом сили різання внаслідок їх недостатньої жорсткості та пружності системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь» (ВПД);
- 6) деформації оброблюваної деталі, деталей верстата і різального інструмента в процесі обробки, які виникають під впливом теплових явищ та внутрішніх напружень у матеріалі деталі;
- 7) погана якість поверхні деталі після обробки, яка може спричинити похибку під час вимірювань реальних розмірів деталі;
- 8) помилки в процесі вимірювання внаслідок неточності вимірювального інструмента, неправильного його використання, впливу температури тощо;
- 9) помилки виконавця роботи та ін.

Деформації, які виникають у технологічно пружній системі ВПД, як одне із джерел похибок механічної обробки, з'являються внаслідок того, що під час обробки деталей на металорізальних верстатах сили різання, затискання, тяжіння та інші впливають на деталі верстата, оброблювану деталь та різальний

інструмент, викликаючи їх пружне деформування, зміну величин зазорів у стиках, зміну положення різальної кромки інструмента відносно оброблюваної деталі тощо. Внаслідок цих явищ розміри оброблюваної деталі змінюються, з'являються відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, хвилястість та ін.), тобто знижується точність обробки й підвищується ймовірність утворення браку.

Існує два види деформацій, які виникають у технологічно пружній системі ВПД:

1) деформації окремих деталей верстата, пристосувань, оброблюваних деталей та інструментів, розміри яких можна визначити досить точно, застосовуючи методи науки про опір матеріалів;

2) деформації в місцях з'єднання деталей і вузлів, які є результатом нерівності стикових з'єднань, пружних вигинів деталей у верстатах та зміни зазорів між ними. У зв'язку з цим змінюється взаємне розташування частин верстата і всієї системи, що суттєво впливає на точність обробки. Ці питання не можуть бути вирішені звичайними методами науки про опір матеріалів і є предметом спеціальних досліджень.

З вищесказаного очевидно, що жорсткість пружної системи має велике значення для точності обробки деталей на металорізальних верстатах і потребує більш детального вивчення.

В загальному випадку під жорсткістю пружної системи розуміють здатність системи протидіяти впливу сил, які намагаються її деформувати. Як уже зазначалось, велика (достатня) жорсткість системи ВПД – одна з основних умов досягнення точності під час механічної обробки. У разі відсутності достатньої жорсткості під впливом сил різання та інших сил система деформується, що призводить до зміни форми оброблюваної деталі (невідповідності розмірів).

Більше того, з жорсткістю системи ВПД пов'язане ще одне небажане явище — вібрацій деталі, інструмента, деталей верстата та пристосування в процесі механічної обробки. Системи ВПД, які мають велику жорсткість, можуть працювати за більш високих режимів різання без появи вібрацій, що забезпечує їм велику продуктивність.

В основу даної роботи покладений динамічний метод визначення жорсткості системи ВПД в умовах, максимально наближених до промислових.

Жорсткістю пружної системи ВПД називається відношення радіальної складової сили різання ( $P_y$ ), спрямованої по нормалі до оброблюваної поверхні, до зсуву різальної кромки інструмента ( $y$ ), встановленого на розмір відносно деталі та відрахованого в тому ж напрямку:

$$j_c = \frac{P_y}{y}, \quad (1.1)$$

де  $j_c$  – жорсткість системи, Н/м;  $P_y$  – радіальна складова сили різання, Н;  $y$  – зсув різальної кромки інструмента (деформація пружної системи), м.

Аналогічно визначається жорсткість окремих елементів технологічно-пружної системи: супорта ( $j_{\text{суп}}$ ), передньої бабки ( $j_{\text{п.б.}}$ ), задньої бабки ( $j_{\text{з.б.}}$ ),

пристосування ( $j_{пр}$ ), оброблюваної деталі ( $j_{дет}$ ) та ін.

Величина, зворотна жорсткості, називається податливістю пружної системи ( $\omega$ ):

$$\omega = \frac{1}{j_c} \quad (1.2)$$

Відповідно величина деформації пружної системи ВПД дорівнює

$$y = \frac{P_y}{j_c} = \omega \cdot P_y \quad (1.3)$$

Радіальна складова сили різання визначається за такою формулою:

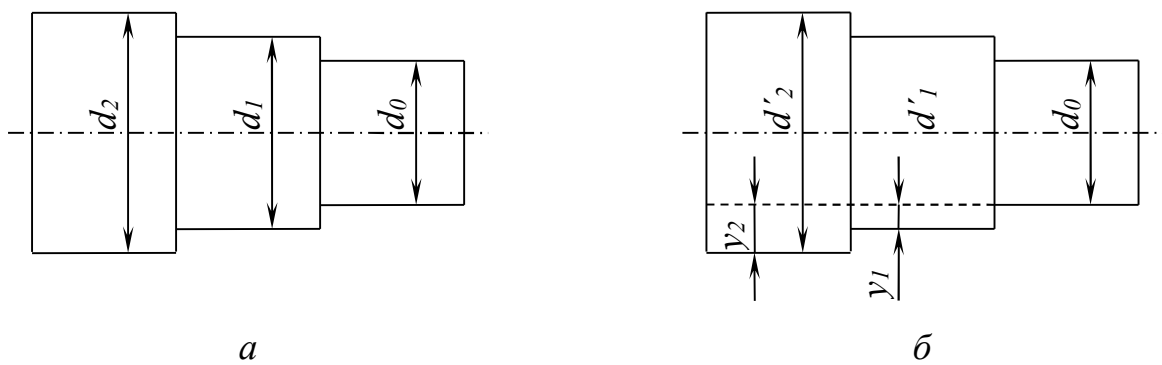
$$P_y = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} \cdot t, \quad (1.4)$$

де  $A = \frac{P_y}{P_z}$  (1.5) та залежить від геометрії різального інструмента;  $P_z$  – головна

складова сили різання, Н;  $C_P$  – поправковий коефіцієнт, який характеризує матеріал заготовки та умови обробки (вибирають з довідника);  $S$  – подача на один оберт шпинделя верстата, мм/об;  $t$  – глибина різання, мм.

З формул (1.3) і (1.4) випливає, що в разі зміни глибини різання змінюється радіальна складова сили різання ( $P_y$ ), а отже, і величина деформації пружної системи ВПД ( $y$ ).

Визначення жорсткості системи ВПД токарного верстата ґрунтоване на обточуванні заготовки зі змінним припуском без зміни положення різця відносно осі деталі.



**Рис. 1. Схема оброблюваної заготовки:**

*a* – форма заготовки; *б* – схема впливу форми заготовки на кінцеві розміри й форму деталі

Припуск на першому ступені:

$$b_1 = (d_1 - d_0) / 2. \quad (1.6)$$

Припуск на другому ступені:

$$b_2 = (d_2 - d_0) / 2. \quad (1.7)$$

У процесі різання внаслідок пружних деформацій системи ВПД форма заготовки буде копіюватись на деталь (рис. 1, *a*), внаслідок чого вона стане східчастою (рис.1, *б*).

Деформація пружної системи на першому ступені дорівнює

$$y_1 = \frac{d'_1 - d_0}{2}. \quad (1.8)$$

Деформація на другому ступені дорівнює

$$y_2 = \frac{d'_2 - d_0}{2}. \quad (1.9)$$

Беручи до уваги, що жорсткість системи уздовж двох ступенів не змінюється, формулу (1.3) можна записати у такий спосіб:

$$y_1 = \frac{P_{y1}}{j_c} \text{ або } y_2 = \frac{P_{y2}}{j_c}.$$

Глибина різання на першому ступені дорівнює

$$t_1 = b_1 - y_1. \quad (1.10)$$

Глибина різання на другому ступені

$$t_2 = b_2 - y_2. \quad (1.11)$$

З формул (1.4), (1.10) і (1.11) маємо

$$P_{y1} = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} \cdot t_1 = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} (b_1 - y_1); \quad (1.12)$$

$$P_{y2} = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} \cdot t_2 = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} (b_2 - y_2). \quad (1.13)$$

Позначивши  $\Delta_{\text{заг}} = d_2 - d_1$  (1.14), а  $\Delta_{\text{дет}} = d'_2 - d'_1$  (1.15), складемо рівняння

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{дет}} = d'_2 - d'_1 = 2(y_2 - y_1) &= 2 \left( \frac{P_{y2}}{j_c} - \frac{P_{y1}}{j_c} \right) = 2 \left( \frac{A \cdot C_P \cdot S^{0,78} \cdot t_2}{j_c} - \frac{A \cdot C_P \cdot S^{0,78} \cdot t_1}{j_c} \right) = \\ &= \frac{2A \cdot C_P \cdot S^{0,78}}{j_c} \cdot (t_2 - t_1) = \frac{2A \cdot C_P \cdot S^{0,78}}{j_c} (b_2 - b_1 - y_2 - y_1) = \\ &= \frac{2A \cdot C_P \cdot S^{0,78}}{j_c} \left( \frac{\Delta_{\text{заг}}}{2} - \frac{\Delta_{\text{дет}}}{2} \right) = \frac{A \cdot C_P \cdot S^{0,78}}{j_c} (\Delta_{\text{заг}} - \Delta_{\text{дет}}) \end{aligned} \quad (1.16)$$

Поділивши обидві частини (1.16) на  $\Delta_{\text{дет}}$

$$1 = \frac{A \cdot C_P \cdot S^{0,78}}{j_c} (\varepsilon - 1)$$

і знаючи, що  $\frac{\Delta_{\text{заг}}}{\Delta_{\text{дет}}} = \varepsilon$  (1.17), визначимо жорсткість системи:

$$j_c = A \cdot C_P \cdot S^{0,78} (\varepsilon - 1). \quad (1.18)$$

### Порядок виконання роботи

Обладнання – токарний верстат типу 16K20.

Різальний інструмент – прохідний різець з головним кутом у плані  $\varphi = 45^\circ$ , матеріал різальної частини різця – Т15К6.

Режим роботи:  $n = 600$  об/хв;  $s = 0,15$  мм/об.

Матеріал заготовки – сталь 45.

Вимірювальний інструмент – мікрометр.



1. Виконати тричі вимірювання діаметрів  $d_1$  і  $d_2$  на заготовці – результати записати у відповідні стовпці розрахункової таблиці.

2. Проточити на токарному верстаті заготовку на діаметр  $d_0$ . Після проточування в отриманій деталі виміряти тричі діаметри  $d'_1$  ( на місці першого східця заготовки) і  $d'_2$  (на місці другого східця заготовки). Результати цього виміру також занести в розрахункову таблицю.

3. За результатами вимірювань за формулами (1.14) і (1.15) визначити  $\Delta_{\text{заг}}$  і  $\Delta_{\text{дет}}$ .

4. Визначити  $\epsilon$  та  $j_c$  жорсткість для кожного вимірювання за формулами (1.17) і (1.18).

Для заданого прохідного різця і заготовки зі сталі 45 взяти, що  $A = 0,45$ ,  $C_P = 184$ , а при подачі  $s = 0,15$  мм/об формула (1.18) матиме вигляд

$$j_c = 188,78(\epsilon - 1), \text{ Н/мм.}$$

5. Розрахувати середнє значення жорсткості використаної при виконанні роботи технологічної системи ВПД.

Розрахункова таблиця

№ з/П	$d_1$	$d_2$	$\Delta_{\text{заг}}$	$d'_1$	$d'_2$	$\Delta_{\text{дет}}$	$\epsilon$
1.							
2.							
3.							

### **Звіт про виконану роботу повинен містити:**

- необхідні теоретичні пояснення;
- схему обробки східчастого і гладкого валів із вказівкою всіх розмірів, матеріалу, режимів обробки, найменування та моделі верстата, матеріалу й геометрії інструмента;
- заповнену розрахункову таблицю та відповідні розрахунки;
- висновки про роботу.

### **Список рекомендованої літератури**

Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. Т.1 / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.

Кован, В.М. Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник / В.М.Кован. – М.: Машиностроение, 1965.– 466 с.

## Практичне заняття 2

### АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ ПОХИБОК ОБРОБКИ ПАРТІЇ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи: практично ознайомитися зі статистичним методом аналізу виробничих похибок.

#### Необхідні теоретичні відомості

У процесі виробництва неможливо отримати всю продукцію абсолютно тотожною за якісними показниками. Навіть якщо партія деталей виготовлена за незмінним технологічним процесом на одному й тому ж обладнанні, в процесі контролю цих деталей виявляються коливання їх параметрів.

Відхилення фактичних параметрів виготовленої деталі від заданих розрахункових називають виробничою похибкою.

Виробничі похибки викликаються комплексом похибок, які діють у процесі виробництва й зумовлюють похибку технологічного процесу. Причини виробничих похибок численні і різноманітні. Наприклад, до них можна віднести дефекти обладнання, коливання режимів різання під час механічної обробки, неоднорідність структури матеріалів, похибки вимірювальних інструментів та приладів тощо.

Виробничі похибки поділяють на дві групи:

1. Систематичні – похибки, які виникають під дією цілком визначених факторів і мають закономірний характер. Вони можуть бути постійними або змінними.

Похибка, яка постійно повторюється під час обробки кожної деталі даної партії, називається постійною систематичною похибкою. Наприклад: похибки, які виникають внаслідок неточності налагодження обладнання і різального інструмента на отримання потрібного розміру, неточності форм або розмірів різального інструмента та ін.

Похибка, яка систематично повторюється під час кожної обробки нової деталі, але змінюється за своєю величиною, називається змінною систематичною похибкою. Вона виникає, наприклад, у процесі розмірного зносу різального інструмента, елементів верстата, пристроїв та ін.

2. Випадкові – похибки, які для різних деталей партії мають різну величину і напрямок (знак), причому їх поява не підпорядковується ніяким закономірностям. До випадкових похибок належать похибки, які виникають внаслідок різної твердості заготовок, коливань припуску по довжині оброблюваної поверхні, неточності закріплення заготовок.

Похибка, що виникає в результаті дії всіх вищевказаних похибок (систематичних і випадкових), називається результуючою (сумарною) похибкою.

Маючи статистичні дані щодо виробничих похибок, можна об'єктивно вирішити питання підвищення технологічної точності виготовлення виробів і робити розрахунки на точність ще в процесі проектування технологічного процесу. Для розрахунку точності технологічного процесу й оцінки величин

результуючої похибки і складових її елементів застосовують два методи: розрахунково-аналітичний і статистичний.

Розрахунково-аналітичний метод полягає у виявленні та визначенні окремих складових сумарної похибки залежно від факторів, які обумовлюють їх появу. Цей метод не виключає можливості застосування статистичних методів аналізу й розрахунку. Для визначення результуючої похибки розрахунково-аналітичний метод ще не набув поширення через відсутність вичерпних розрахункових і експериментальних даних, які б дозволили визначити вплив усіх окремих складових похибок на результуючу похибку конкретних технологічних процесів.

Статистичний метод аналізу виробничих похибок ґрунтований на аналізі результатів вимірювання однієї або декількох партій однакових виробів і дозволяє отримати дані, які характеризують похибку, що виникає в результаті взаємодії ряду факторів. Таким чином, статистичний метод дозволяє визначити результуючу похибку, але не дає можливості виявити причинні залежності.

Велике значення для результатів дослідження мають не тільки засоби і методи, але й техніка вимірювань. Необхідно ретельно додержуватися таких самих умов проведення дослідів і вимірювань. Зміна значень параметрів деталей, що коливається у визначених межах, називається варіацією (розсіюванням), а послідовність значень вимірюваного параметра для партії або вибірка деталей, розташованих у порядку зростання від  $X_{\min}$  до  $X_{\max}$  так, щоб  $X_{\min} \leq X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n \leq X_{\max}$ , називається варіаційним рядом.

Цей ряд відображує закономірності відповідного технологічного процесу. Варіаційний ряд, виражений графічно, дозволяє отримати криву розподілення виробничих похибок параметрів виробу. Обчислювання характеристик розподілення похибок простіше й зручніше робити не за даними варіаційного ряду, а за результатами, попередньо згрупованими в інтервали значень параметра, який нас цікавить. Виникає необхідність переходу від варіаційного до інтервального ряду розподілу похибок.

Варіаційний ряд, поданий у вигляді послідовно розташованих інтервалів змін параметра, називається інтервальним рядом. Для переходу до інтервального ряду за протоколом вимірювання параметрів елементів знаходять два значення, які відповідають максимальним крайнім відхиленням від номіналу, тобто  $X_{\min}$  і  $X_{\max}$ . Використовуючи ці значення, знаходять розмах варіювання

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (2.1)$$

Кількість інтервалів обирають такою, щоб на кожний інтервал у середньому припадало не менше десятої частки від загальної кількості спостережень досліджуваного параметра, тобто  $P = 0,2n$  (2.2), де  $n$  – кількість елементів у дослідній партії.

Ширина інтервалу визначається з виразу  $\Delta X = R/0,2n - 1$  (2.3).

Таким чином, вихідний варіаційний ряд, де надані результати вимірювання партії деталей у кількості  $n$  штук, замінюють інтервальним рядом розподілення, який містить у кінцевому підсумку всього  $P$  значень (за числом інтервалів ознаки, яку варіюють).

Для більшої наочності застосовують графічне зображення інтервальних

рядів розподілу. Для цього будують гістограму або полігон розподілу похибок.

Побудова інтервального ряду у вигляді гістограми ґрунтована на припущенні, що щільність частоти залишається постійною всередині кожного інтервалу і змінюється стрибком на кінцях інтервалу. Будується гістограма таким чином: на осі абсцис відкладають інтервали значень досліджуваного параметра, над кожним із яких будується прямокутник, площа якого пропорційна частоті в цьому інтервалі. Оскільки всі інтервали мають однакову ширину, то висоти прямокутників стають пропорційними частотам. Прийняте вище припущення для побудови гістограми перевертає реальний характер розподілу похибок досліджуваного параметра, і тим сильніше, чим більша ширина інтервалів.

Більш наближеним до дійсності є припущення щодо рівномірної зміни щільності частоти від інтервалу до інтервалу. Така думка приводить нас до необхідності зображення інтервальних рядів у вигляді полігонів розподілу. Для цього з середини кожного інтервалу необхідно провести ординати, висоти яких пропорційні частотам, а кінці ординат з'єднати ламаною лінією.

Очевидно, що в разі дослідження великої кількості деталей і великої кількості інтервалів гістограма або полігон розподілу буде наближатись до теоретичної форми кривої нормального розподілу.

За наявності тільки випадкових похибок крива розподілу має симетричну форму і простягається в обидва боки у нескінченність, асимптотично наближуючись до осі абсцис.

Систематичні похибки в межах даного налагодження обладнання не впливають на форму кривої розподілу, викликаючи тільки зсув усієї кривої вдовж осі абсцис.

Практика показує, що в більшості технологічних процесів виробничі похибки розподіляються за законом Гаусса, який також називають законом нормального розподілу. Розподіл за цим законом математично виражається формулою

$$y = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.4)$$

де  $y$  – частота виникнення похибок;  $\varphi(x)$  – щільність розподілу;  $(x_i - \bar{x})$  – відхилення дійсних розмірів від середніх (центра розподілу);  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення, яке є мірою розсіювання відхилень.

Центр розподілу ( $\bar{x}$ ) визначається як середнє арифметичне значення досліджуваного параметра:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^P x_i \cdot m_i}{n}, \quad (2.5)$$

де  $i$  – номер інтервалу;  $P$  – кількість інтервалів;  $x_i$  – середнє значення досліджуваного параметра відповідає середині інтервалу;  $m_i$  – частота значень у даному інтервалі.

Середнє квадратичне відхилення обчислюється за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^P (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}{n-1}}. \quad (2.6)$$

Із рівнянь кривої нормального розподілу (2.4) випливає, що середнє квадратичне відхилення ( $\sigma$ ) – єдиний параметр, який визначає форму кривої нормального розподілу, причому чим воно менше, тим менш розтягнута крива, менше розсіювання розмірів і навпаки. Таким чином, величина  $\sigma$  визначає розсіювання розмірів і характеризує ступінь впливу випадкових похибок.

Під час обчислювання середнього квадратичного відхилення для зменшення помилки вводять поправку (поправка Шаппарта)

$$\sigma' = \sigma - \Delta x / 12. \quad (2.7)$$

На основі досліджень встановлено, що в інтервалі  $x = \pm 0,36\sigma$  знаходиться 35% всіх параметрів контрольованих виробів, при  $x = \pm 0,76\sigma$  – 50%, а при  $x = \pm 3\sigma$  – 99,7%. В останньому випадку крива нормального розподілу майже зливається з віссю абсцис, тобто відхилення дійсних параметрів деталей від середніх знаходяться в межах  $\pm 3\sigma$ .

Дослідження рівняння нормального розподілу (2.4) показує, що відповідна цьому рівнянню крива (рис. 2), симетрична відносно осі, яка проходить через центр розподілу ( $\bar{x}$ ), на якій знаходиться максимум кривої

$$y_{\max} = \varphi_{\max} = \frac{0,4n\Delta x}{\sigma}. \quad (2.8)$$

Точки перегину кривої розташовані на відстані  $\pm\sigma$  від цієї осі і мають ординати:

$$y_{\pm\sigma} = y_{\max} = \frac{0,24n\Delta x}{\sigma}, \quad (2.9)$$

де ( $n\Delta x$ ) – масштабний фактор.

За відомими межами полів допусків на вихідні параметри виробу можливість отримання придатних виробів можна визначити шляхом їх порівняння з фактичними кривими розподілу. При цьому під придатними слід розуміти такі вироби, які після їх виготовлення задовольняють вимогам технічних умов (ТУ) без додаткових операцій доведення, підбору та регулювання.

Із теорії ймовірностей відомо, що загальна площа, описана кривою нормального розподілення, дорівнює

$$S_{\text{заг}} = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = 1. \quad (2.10)$$

Процент придатності виробів може бути визначений як відношення площі фігури, створеної кривою та межами поля допуску, до загальної площі, описаної кривою (рис. 2), тобто:

$$\frac{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \varphi(N) dN}{S_{\text{заг}}} 100\% = \left( \int_{N_{\min}}^{N_{\max}} \varphi(N) dN \right) 100\%, \quad (2.11)$$

де  $N_{\max}$  і  $N_{\min}$  – найбільш та найменш допустимі значення досліджуваного параметра за ТУ.

Аналогічно можна визначити ймовірність отримання виробів, які виходять за межі поля допуску за ТУ, тобто ймовірність отримання браку.

Відносно кривих розподілення центр поля допуску може бути поєднаний або зміщений відносно розподілу. Величина зміщення центра поля визначається формулою

$$\Delta = \bar{x} - \frac{N_{\max} - N_{\min}}{2}, \quad (2.12)$$

де  $\bar{x}$  – абсциса центра поля розподілу (середнє арифметичне значення досліджуваного параметра).

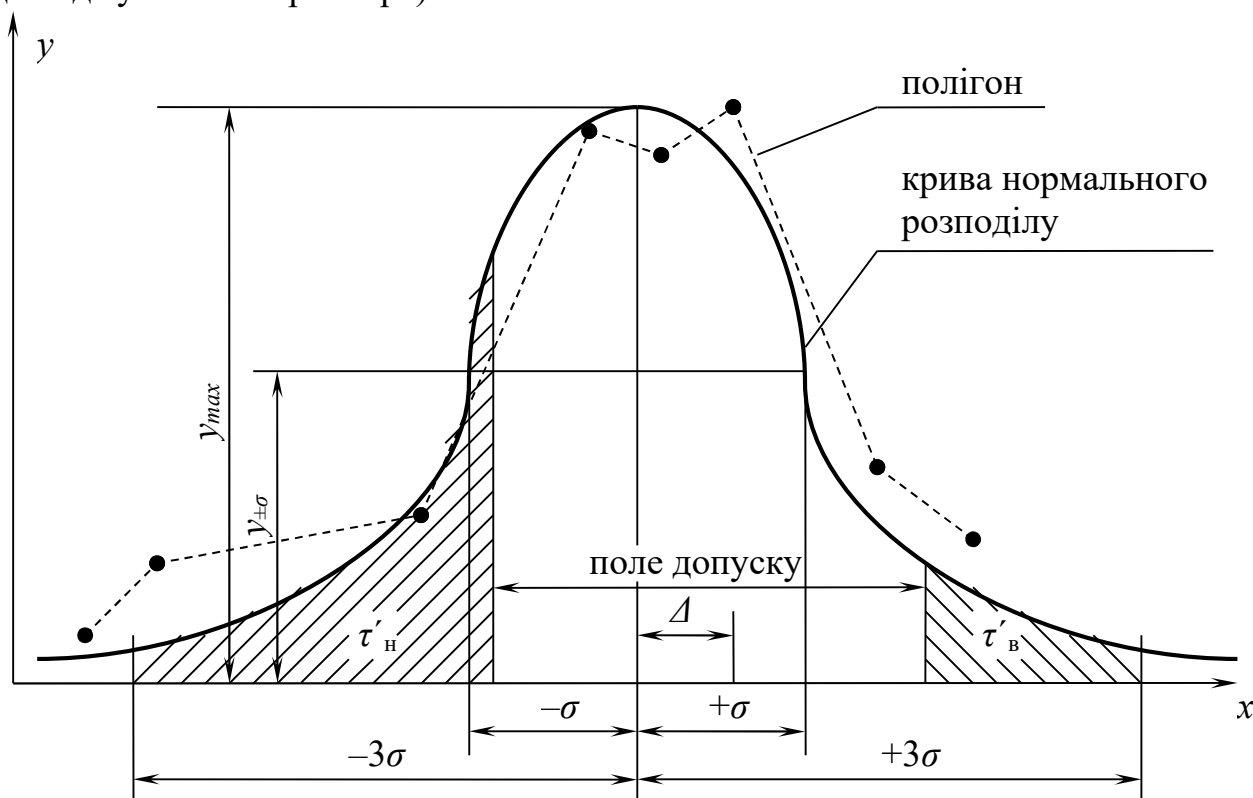


Рис. 2. Полігон та крива нормального розподілу

Ймовірність отримання браку у випадку зміщення центра поля допуску ( $\tau'$ ) дорівнює:

– по верхній межі допуску:

$$\tau'_{B} = \left( 0,5 - \frac{\Phi(Z_{B})}{2} \right) 100\%; \quad (2.13)$$

– по нижній межі:

$$\tau'_{H} = \left( 0,5 - \frac{\Phi(Z_{H})}{2} \right) 100\%. \quad (2.14)$$

У цих формулах  $Z_{B}$  і  $Z_{H}$  розраховуються як

$$Z_{B} = \left| \frac{N_{\max} - \bar{x}}{\sigma} \right|; \quad (2.15)$$

$$Z_H = \left| \frac{N_{\min} - \bar{x}}{\sigma} \right|. \quad (2.16)$$

Ймовірність отримання браку у випадку поєднання центра поля розподілу з серединою поля допуску ( $\tau''$ ) дорівнює

$$\tau'' = \left( 1 - \frac{\Phi(N_{\max} - N_{\min})}{\sigma} \right) 100\%. \quad (2.17)$$

Значення інтервалу ймовірності  $\Phi(Z)$  наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Значення  $\Phi(Z)^*$

Значення $Z$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0080	0,0160	0,0240	0,0320	0,0398	0,0178	0,0558	0,0638	0,0718
0,1	0,0766	0,0876	0,0956	0,1034	0,1114	0,1192	0,1278	0,1350	0,1428	0,1506
0,2	0,1586	0,1664	0,1742	0,1818	0,1896	0,1974	0,2052	0,2328	0,2206	0,2282
0,3	0,2358	0,2434	0,2510	0,2586	0,2736	0,2812	0,2812	0,2836	0,2960	0,3034
0,4	0,3108	0,3182	0,2380	0,3328	0,3400	0,3472	0,3514	0,3616	0,3688	0,3758
0,5	0,3830	0,3900	0,3970	0,4038	0,4108	0,4176	0,4246	0,4314	0,4380	0,4448
0,6	0,4514	0,4582	0,4648	0,4714	0,4778	0,4844	0,4908	0,4472	0,5031	0,5098
0,7	0,5160	0,5222	0,5284	0,5345	0,5408	0,5468	0,5528	0,5588	0,5616	0,5407
0,8	0,5762	0,5820	0,5878	0,5934	0,5910	0,6046	0,6152	0,6156	0,6212	0,6266
0,9	0,6318	0,6372	0,6424	0,6476	0,6528	0,6578	0,6630	0,6680	0,6730	0,6778
1,0	0,6826	0,6876	0,6922	0,6970	0,7016	0,7162	0,7108	0,7151	0,7198	0,7242
1,1	0,7286	0,7330	0,7372	0,7416	0,7458	0,7498	0,7540	0,7580	0,7620	0,7660
1,2	0,7698	0,7738	0,7776	0,7814	0,7850	0,7888	0,7924	0,7960	0,7994	0,8030
1,3	0,8064	0,8098	0,8132	0,8164	0,8198	0,8330	0,8262	0,8294	0,8324	0,8364
1,4	0,8384	0,8414	0,8444	0,8472	0,8502	0,8530	0,8558	0,8584	0,8612	0,8638
1,5	0,8664	0,8690	0,8714	0,8740	0,8764	0,8788	0,8812	0,8936	0,8856	0,8882
1,6	0,8904	0,8926	0,8948	0,8958	0,8990	0,9010	0,9030	0,9050	0,9070	0,9090
1,7	0,9108	0,9128	0,9146	0,9164	0,9182	0,9198	0,9216	0,9232	0,9250	0,9286
1,8	0,9282	0,9298	0,9312	0,9328	0,9342	0,9356	0,9372	0,9386	0,9398	0,9412
1,9	0,9426	0,9438	0,9452	0,9464	0,9476	0,9438	0,9500	0,9512	0,9522	0,9534
2,0	0,9544	0,9556	0,9566	0,9576	0,9586	0,9596	0,9606	0,9616	0,9624	0,9634
2,1	0,9642	0,9652	0,9660	0,9668	0,9676	0,9684	0,9692	0,9700	0,9708	0,9714
2,2	0,9722	0,9728	0,9736	0,9742	0,9750	0,9756	0,9762	0,9768	0,9774	0,9780
2,3	0,9786	0,9792	0,9796	0,9802	0,9808	0,9812	0,9818	0,9823	0,9829	0,9834
2,4	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9858	0,9862	0,9864	0,9868	0,9872
2,5	0,9876	0,9880	0,9882	0,9886	0,9890	0,9892	0,9896	0,9898	0,9902	0,9904
2,6	0,9906	0,9910	0,9912	0,9914	0,9913	0,9920	0,9922	0,9924	0,9926	0,9928
2,7	0,9930	0,9932	0,9934	0,9936	0,9938	0,9940	0,9942	0,9943	0,9946	0,9948
2,8	0,9949	0,9950	0,9952	0,9954	0,9955	0,9956	0,9957	0,9958	0,9960	0,9962
2,9	0,9963	0,9964	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972
3,0	0,9973	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9978	0,9978	0,9979	0,9980	0,9980
3,1	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9983	0,9984	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985
3,2	0,9986	0,9986	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,3	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993	0,9993
3,4	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995

\* Перший стовпчик містить перші дві цифри значення  $Z$ , верхній рядок – третю цифру значення  $Z$  (другий символ після коми).

## Порядок виконання роботи

1. Зробити вимірювання партії деталей ( $n$ ) – дані вимірювань подати у вигляді варіаційного ряду.
2. Перетворити отриманий варіаційний ряд значень на інтервальний ряд, обравши інтервал варіювання ( $\Delta x$ ) та вказавши частоту повторення розмірів всередині кожного інтервалу  $m_i$ . Для зручності визначення характеристик розподілення послідовно в міру проведення розрахунків заповнювати розрахункову таблицю.
3. Побудувати за отриманими даними полігон розподілення похибок вимірюваного розміру.
4. Визначити середньоарифметичне значення розміру деталі даної партії ( $\bar{x}$ ) за формулою (2.5).
5. Обчислити середнє квадратичне відхилення ( $\sigma$ ) за формулою (2.6).
6. Побудувати криву нормального розподілення за характерними точками ( $y_{\max}$  та  $y_{\pm\sigma}$ ) і нанести поле розсіювання розмірів  $x_{\max} = \pm 3\sigma$ . На цей графік у прийнятному масштабі нанести поле допуску на вимірювальний розмір за ТУ (надається викладачем).
7. Визначити можливий відсоток браку в дослідженій партії деталей за заданим полем допуску за формулами (2.13), (2.14) або (2.17).
8. Дослідити вплив величини зсуву центра поля допуску відносно центра поля розсіювання на величину можливості отримання браку в разі постійного значення поля допуску.

Розрахункова таблиця

№ інтервалу	Середина інтервалу	Частота $m_i$	$x_i m_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i$
		$\Sigma m_i = n$	$\Sigma(x_i \cdot m_i)$			$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i$

### Звіт про виконану роботу повинен містити:

- необхідні теоретичні відомості;
- вхідні дані у вигляді варіаційного ряду;
- заповнену розрахункову таблицю та відповідні розрахунки;
- побудовані полігон та криву нормального розподілення;
- стислі висновки про роботу.

### Список рекомендованої літератури

Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. Т.1 / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656с.

Кован, В.М. Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник / В.М.Кован. – М.: Машиностроение, 1965.– 466 с.



## Практичне заняття 3

### РОЗРАХУНОК ПРИПУСКІВ І ОПЕРАЦІЙНИХ РОЗМІРІВ

Мета роботи: практично ознайомитися з методикою розрахунку міжопераційних припусків та зі встановленням допусків на операційні й граничні розміри заготовок.

#### Необхідні теоретичні відомості

Шар металу, який зрізують з поверхні заготовки для отримання форм і розмірів готової деталі, називається припуском. Припуски поділяються на загальні та міжопераційні.

Різниця розмірів заготовки й остаточно обробленої деталі визначає величину загального припуску:

– для зовнішніх поверхонь:

$$Z_0 = a_z - a_d, \quad (3.1)$$

– для внутрішніх поверхонь

$$Z_0 = a_d - a_z, \quad (3.2)$$

де  $Z_0$  – загальний припуск на обробку;  $a_z$  – розмір заготовки;  $a_d$  – розмір готової деталі.

Міжопераційним називається припуск, який зрізують під час виконання окремої операції або переходу:

– для зовнішніх поверхонь:

$$Z_i = a_{i-1} - a_i, \quad (3.3)$$

– для внутрішніх поверхонь:

$$Z_i = a_i - a_{i-1}, \quad (3.4)$$

де  $Z_i$  – припуск на виконуваний перехід;  $a_{i-1}$  – розмір, отриманий на суміжному попередньому переході;  $a_i$  – розмір, який повинен бути отриманий на виконуваному переході.

Загальний припуск на обробку дорівнює сумі міжопераційних припусків за всіма технологічними переходами процесу обробки від чорнової заготовки до готової деталі:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i. \quad (3.5)$$

Міжопераційні припуски на обробку й допуски на операційні розміри в кожному конкретному випадку повинні бути оптимальними, тобто достатніми для отримання деталі з заданими розмірами, але з найменшою вартістю обробки.

Наразі розрахунок припусків на механічну обробку по кожній операції технологічного процесу виконують методом, розробленим проф. В.М. Кованом. Цей метод базується на аналізі причин, що впливають на величини мінімальних припусків ( $Z_{\min}$ ), які на будь-якому технологічному переході завжди повинні забезпечувати виконання розмірів, форми і якості оброблюваної поверхні та

повністю ліквідувати дефекти і похибки попередньої обробки.

За методикою проф. В.М.Кована мінімальний припуск у разі автоматичного отримання розмірів дорівнює:

– для послідовної обробки протилежних поверхонь:

$$Z_{\min i} = R_{z i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i; \quad (3.6)$$

– для паралельної обробки протилежних поверхонь

$$2Z_{\min i} = 2(R_{z i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i); \quad (3.7)$$

– для зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання

$$2Z_{\min i} = 2\left(R_{z i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\right). \quad (3.8)$$

де  $R_{z i-1}$  – середня висота мікронерівностей поверхні, отриманих на попередньому переході;  $T_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого шару від попереднього переходу;  $\rho_{i-1}$  – величина просторових відхилень поверхонь деталей, які залишилися від попереднього переходу;  $\varepsilon_i$  – похибка встановлення деталі на виконуваному переході.

Шорсткість поверхні  $R_z$  залежить від способу отримання заготовки і ступеня точності обробки поверхні та призначається за довідковими таблицями.

У заготовках, отриманих методом лиття, можуть міститися раковини, піщані вclusions, а у штампованих заготовках можуть бути безвуглецевий шар, мікротріщини та інші дефекти.

Для отримання деталей більш високої якості необхідно під час кожного технологічного переходу механічної обробки заготовки враховувати виробничі похибки, які характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розміщення поверхонь. Усі ці відхилення повинні знаходитися в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Якість поверхонь заготовок, отриманих різними способами, а також після механічної обробки наведені в табл. 3 – 12.

Таблиця 3

Якість зовнішньої поверхні каліброваного прокату

Характеристика прокату	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
Гладковитягнутий	3	60	60
Шліфований	6	10	20

Таблиця 4

Якість зовнішньої поверхні гарячекатаного прокату

Діаметр $d$ , [мм]	Підвищена точність		Звичайна точність	
	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
До 25	100	100	1500	150
Від 25 до 75	100	150	150	250
Від 75 до 150	150	200	200	300
Від 150 до 250	250	300	300	400

Таблиця 5

## Якість зовнішньої поверхні поперечно-гвинтового прокату

Діаметр $d$ , мм	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм		Глибина дефектного шару $T$ , мкм
	Підвищена точність	Звичайна точність	
До 10	0,06	0,10	0,10
Від 10 до 18	0,10	0,18	0,18
Від 18 до 30	0,18	0,30	0,30
Від 30 до 50	0,30	0,50	0,50
Від 50 до 80	0,50	0,80	0,80
Від 80 до 120	0,80	1,20	1,20
Від 120 до 180	1,20	1,80	1,80
Від 180 до 220	1,80	2,20	2,20

Таблиця 6

## Точність і якість поверхні заготовок з прокату після механічної обробки

Спосіб обробки	Технологічний перехід	Квалітет	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
Обробка зовнішніх поверхонь					
Обточування гарячекатаного прокату (звичайної та підвищеної точності), каліброваного прокату 12-го квалітету точності	Обдирання *	14	2	120	120
	Чорнове	12	3	160	60
	Чистове або однократне **	11-10	4-5	30-20	30
	Тонке	9-8	7-8	6-3	-
Шліфування в центрах гарячекатаного прокату 12-го квалітету точності	Чорнове	9	6	10	20
	Чистове або однократне	8	7	6	12
	Тонке	7-6	8-10	3-0,8	6-2
Безцентрове шліфування каліброваних прутків 8 та 10-го квалітетів точності	Після термічної обробки (тонке)	6-5	8-10	3-0,8	-
	До термічної обробки (чистове)	7	7	6	12
Обробка торцевих поверхонь					
Підрізання	Чорнове	13	3	50	50
	Чистове	11	4	30	30
Шліфування	Однократне	6	6-7	5-10	-

\* Передусе чорновому обточуванню гарячекатаного прокату звичайної точності.

\*\* Однократне застосовується для обробки каліброваного та гарячекатаного прокату підвищеної точності.

Таблиця 7

## Якість поверхні штампованих заготовок

Маса заготовки, кг	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм	Маса заготовки, кг	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
До 0,25	80	150	Від 25 до 40	320	300
Від 0,10 до 4	160	200	Від 40 до 100	350	350
Від 4 до 25	240	250	Від 100 до 200	400	400

Таблиця 8

## Точність і якість поверхні штампованих заготовок після механічної обробки

Спосіб обробки	Квалітет	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм *
Вали східчасті				
Зовнішні поверхні обертання				
Обточування: однократне	12-11	4	30	30
чорнове	12	3	50	50
чистове	11	5	25	25
тонке	9-8	7-8	-	-
Шліфування: чорнове	9	6	10	20
чистове	8-7	7-8	5	15
тонке	7-6	8-10	-	-
Торцеві поверхні				
Підрізання: чорнове	12	3	50	50
чистове	11	4	30	30
Фрезерування	14	2	100	100
Шліфування	9	6-7	-	-
Шестірні одно- та багатовінцеві				
Зовнішні поверхні обертання				
Обточування: однократне	12-10	3-6	30	30
чорнове	14	2	100	100
напівчистове	12	3	50	50
чистове	11-10	4-6	25	25
тонке	9-8	7-8	-	-
Шліфування: однократне	8	7	-	-
чорнове	9	6	10	20
чистове	8-7	7-8	5	15
тонке	7-6	8-10	-	-
Торцеві поверхні				
Підрізання: однократне	12-10	3-6	30	30
чорнове	14	2	100	100
напівчистове	12	3	50	50
чистове	11-10	4-6	25	25

Закінчення табл. 8

Спосіб обробки	Квалі-тет	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм *
Шліфування однократне на круглошліфувальному верстаті	9-8	7	-	-
Шліфування на плоскошліфувальному верстаті:	чорнове	9	6	10
	чистове	8-7	7-8	-
Важелі, площини, паралельні вісі деталі і площині розняття головки				
Фрезерування: чорнове	12	4	30	50
	чистове	11	6	10
Протягування	10	7	5	10
Шліфування: чорнове	9	6	10	20
	чистове	8-7	7-8	-
Обточування стрижня: чорнове	12	3	50	50
	чистове			

\* У разі розрахунку припусків під шліфування після термічної обробки в розрахунковій формулі  $T$  не враховують.

Таблиця 9

Точність і якість поверхонь заготовок, отриманих литтям у земляні форми\*

Розмір заготовки, мм	Висота мікронерівностей та дефектний шар ( $R_z+T$ ), мкм – в залежності від типу виробництва для виливків із різних матеріалів					
	Масове			Серійне		
	чавун	сталь	кольорові сплави	чавун	сталь	кольорові сплави
До 1250	600	500	400	800	600	500
Від 1250 до 3150	800	700	-	1000	800	-

\* Форми отримують машинним формуванням.

Таблиця 10

Точність і якість поверхонь виливків, отриманих спеціальними способами лиття

Спосіб лиття	Квалі-тет	Клас чистоти	Висота мікро-нерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм		
				Чавун	Сталь	Кольорові сплави
В кокіль і відцентрове	15-14	1	200	300	200	100
В оболонкові форми для елементів отримуваних виливків:						
в одній напівформі	12-11	4	40	260	160	100
в обох напівформах	14	4	40	260	160	100
Під тиском	12-11	5-6	50	-	-	100
За виплавленими моделями	12-11	4-6	30	170	100	60

Таблиця 11

## Точність і якість поверхонь виливків після механічної обробки

Спосіб обробки	Квалі-тет	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
Виливки, отримані в земляних формах				
Точіння, фрезерування, стругання:				
однократне	12-11	4-6	30	30
чорнове	14	2	100	100
чорнове і напівчистове	12	3	50	50
чистове	11-10	4-6	25	25
тонке	9-8	7-8	-	-
Шліфування:				
однократне	8	7	-	-
чорнове	9	6	10	20
чистове	8-7	7-8	5	15
тонке	7-6	8-10	-	-
Виливки, отримані спеціальними способами лиття				
Лиття в кокіль і відцентрове				
Точіння, фрезерування, стругання:				
однократне	11	4-6	25	25
чорнове	12	3	50	50
чистове	10	4-6	20	20
тонке	9-8	7-8	-	-
Лиття в оболонковій формі				
Точіння, фрезерування, стругання:				
однократне	11-10	4-5	25	25
чорнове	11	5	20	20
чистове	10	6	10	10
тонке	9-8	7-8	-	-
Лиття під тиском та за виплавленими моделями				
Точіння, фрезерування, стругання:				
однократне	10	5-7	15	20
тонке	9-8	7-8	-	-
Усі види лиття				
Шліфування:				
однократне	8	7	-	-
чорнове	9	6	10	20
чистове	8-7	7-8	5	15
тонке	7-6	8-10	-	-

## Точність і якість поверхні в разі механічної обробки отворів

Спосіб обробки	Діаметр отвору $d$ , мм	Квалітет	Клас чистоти	Висота мікронерівностей $R_z$ , мкм	Глибина дефектного шару $T$ , мкм
Свердління:					
звичайне	3-6	12	5	20	40
свердління спіральними свердлами	6-10	12	4	30	50
	10-18	12	4	40	60
	18-50	12	3	50	70
глибоке	3-10	12	5	15	25
свердління спеціальними свердлами	10-18	12	4-5	20	30
	18-30	12	4	30	40
Зенкерування:					
чорнове	18-30	12	3	50	40
	30-80	12	3	50	50
напівчистове	До 80	11	4-5	30	40
чистове	До 30	11-10	4-5	30	30
	30-80	11-10	4-5	30	40
Розточування:					
чорнове	50-260	12	3	50	50
чистове	50-260	10	5	20	25
Розгортання:					
попереднє	6-80	9	6	10	20
остаточне	6-80	8-7	7-8	5	10
Шліфування	До 80	9-7	7-8	-	-
Протягання	10-80	8	7	4	6
Калібрування кулькою або оправкою	6-80	7	10	0,6	-
Притиральне шліфування (хонінгування)	До 80	7-6	9-12	-	-

Величину просторових відхилень  $\rho$  визначають залежно від способу отримання заготовки.

У процесі механічної обробки заготовок з прокату сумарне відхилення розміщення  $\rho_0$  заготовки визначають за формулою

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{\text{о.м.}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2}, \quad (3.9)$$

де  $\rho_{\text{о.м.}}$  – величина відхилення розміщення (місцева або загальна), мкм;  $\rho_{\text{ц}}$  – величина відхилення розміщення заготовки при центруванні, мкм.

Величину відхилення розміщення прокату  $\rho_{\text{о.м.}}$  визначають:

– при консольному кріпленні:

$$\rho_{\text{о.м.}} = \Delta_y \cdot L_k, \quad (3.10)$$

– у разі встановлення у центрах:

$$\rho_{\text{о.м.}} = 2\Delta_y \cdot L_k, \quad (3.11)$$

де  $\Delta_y$  – величина питомого відхилення, мкм/мм (табл. 13);  $L_k$  – відстань від перетину, для якого визначають величину відхилення, до місця кріплення заготовки, мм.

У разі консольної обробки заготовки  $L_k \leq L$ , а в разі обробки в центрах  $L_k \leq 0,5L$ , де  $L$  – загальна довжина заготовки, мм.

Величина розміщення заготовки у разі центрування  $\rho_{ц}$  дорівнює

$$\rho_{ц} = 0,25\sqrt{\delta_3^2 + 1}, \quad (3.12)$$

де  $\delta_3$  – допуск на діаметр базової поверхні заготовки, використаний під час центрування, мм.

Таблиця 13

Просторові похибки прокату

Стан прокату	Питомі відхилення розміщення $\Delta_y$ , мкм/мм за діаметром прокату $d$ , мм				
	До 30	30-50	50-80	80-150	Більше 150
Калібрований прокат					
У стані поставки для прокату:					
8-го квалітету	0,5	0,5	-	-	-
9-го квалітету	1,0	0,75	0,5	-	-
10-11-го квалітетів	2,0	1,0	1,0	-	-
12-го квалітету	3,0	2,0	1,0	-	-
Після термічної обробки (без правки):					
в печах	1,6	1,3	0,9	-	-
струмом високої частоти	0,8	0,65	0,45	-	-
Гарячекатаний прокат					
Після термічної обробки (без правки):					
в печах	2,0	1,3	1,3	0,6	0,3
струмом високої частоти	1,0	0,65	0,65	0,3	0,15
Після правки на пресах	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05
Поперечно-гвинтовий прокат					
Точність прокату:					
нормальна			4		
підвищена			2		

Величина залишкового сумарного відхилення заготовки після виконання переходу (операції) складає

$$\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_{о.з.}, \quad (3.13)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення (табл. 14);  $\rho_{о.з.}$  – сумарні відхилення заготовки, мкм.



## Значення коефіцієнта уточнення

Вид заготовки	Технологічний перехід	$K_y$
Калібрований прокат	Після обточування: однократного двократного	0,05
		0,02
	Після шліфування: чорнового чистового	0,06
		0,04
Гарячекатаний прокат, штампування, виливок	Після обточування: чорнового і однократного напівчистового чистового	0,06
		0,05
		0,04

У процесі виготовлення заготовок методом штампування сумарні значення просторових відхилень для деталей типу східчасті вали, важелі визначаються за формулою

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{жол}^2}, \quad (3.14)$$

де  $\rho$  – сумарне значення просторових відхилень, мкм;  $\rho_{зм}$  – похибка від зміщення штампів, мкм;  $\rho_{жол}$  – похибка від кривини та жолоблення поковок, мкм.

Для деталей типу дисків з прошивними центральними отворами слід чекати, що під час прошивання отворів відтиск прошивного пуансона може відбутися під будь-яким кутом відносно зсуву штампів, тому

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{ексц}^2}, \quad (3.15)$$

де  $\rho$  – сумарне значення просторових відхилень, мкм;  $\rho_{ексц}$  – ексцентричність отворів, зроблених на пресах прошиванням, мкм.

Величини  $\rho_{зм}$ ,  $\rho_{жол}$ ,  $\rho_{ексц}$  наведені в табл. 15 і 16.

## Похибки штампування на молотах залежно від маси поковок \*

Маса штампованих поковок, кг	Недоштампування $H_{нд}$ , мкм	Знос штампів $Z_{шт}$ , мкм	Зміщення штампів $\rho_{зм}$ , мкм
До 0,25	400	200	300
Від 0,25 до 0,63	500	250	350
Від 0,63 до 1,6	630	320	400
Від 1,6 до 2,5	800	400	450
Від 2,5 до 4	900	450	500
Від 4 до 6,3	1000	500	630
Від 6,3 до 10	1100	550	700
Від 10 до 16	1200	600	800
Від 16 до 25	1400	700	900
Від 25 до 40	1600	800	1000
Від 40 до 63	2000	1000	1200
Від 63 до 100	2600	1300	1400
Від 100 до 125	3000	1500	1600
Від 125 до 160	3600	1800	1800
Від 160 до 200	4100	2000	2200

\* Похибки штампування за ГОСТ 7505-89 першої групи точності.

## Похибки штампування на молотах залежно від розмірів поковок

Вимірювальний розмір, мм	Допуски, які не залежать від зносу штампів та недоштампування $H_{нз}$ , МКМ	Ексцентричність отворів, зроблених на пресах прошиванням $\rho_{ексц}$ , МКМ	Кривина та жолоблення $\rho_{жол}$ , МКМ
До 50	±100	500	250
Від 50 до 120	±160	630	250
Від 120 до 180	±200	800	320
Від 180 до 260	±320	1000	320
Від 260 до 360	±400	1500	400
Від 360 до 500	±630	2500	500
Від 500 до 630	±800	-	-
Від 630 до 800	±1000	-	-
Від 800 до 1000	±1150	-	-
Від 1000 до 1250	±1250	-	-
Від 1250 до 1600	±1400	-	-
Від 1600 до 2000	±1600	-	-
Від 2000 до 2500	±1800	-	-

У процесі механічної обробки значення відхилень  $\rho$  беруть:

– після однократного та чорнового обточування:

$$\rho_{чорн} = 0,06\rho_{заг}; \quad (3.16)$$

– після чистового обточування:

$$\rho_{чист} = 0,04\rho_{чорн}, \quad (3.17)$$

де  $\rho_{чорн}$  – сумарне значення просторових відхилень заготовки після однократного та чорнового обточування, мкм;  $\rho_{заг}$  – сумарне значення просторових відхилень заготовки, мкм;  $\rho_{чист}$  – сумарне значення просторових відхилень заготовки після чистового обточування, мкм.

На наступних операціях і переходах величину просторових відхилень можна не враховувати у зв'язку з малими залишковими значеннями.

Для заготовок, отриманих методом лиття, сумарне значення просторових відхилень під час базування на отвір визначають за формулою

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{деф}^2 + \rho_{в.с.}^2}, \quad (3.18)$$

де  $\rho_{деф}$  – величина деформації заготовки, отриманої литтям, мкм;  $\rho_{в.с.}$  – величина відхилення стрижня під час формування, мкм.

Величина деформації заготовок, отриманих литтям, розраховують за формулою

$$\rho_{деф} = \Delta_{деф} \cdot L_{заг}, \quad (3.19)$$

де  $\Delta_{деф}$  – величина питомої деформації заготовки, отриманої литтям, мкм/мм;  $L_{заг}$  – загальна довжина заготовки, мм. Величину питомої деформації виливків ( $\Delta_{деф}$ ) для корпусних деталей беруть 0,7-1,0 мкм/мм, а для деталей типу плит – 0,7-3,0 мкм/мм на найбільший розмір виливка.

Величину відхилення стрижня під час формування ( $\rho_{в.с.}$ ) беруть таку, що дорівнює допуску на номінальний розмір за ГОСТ 26645-85 для виливків з сірого чавуну та за ГОСТ 26645-85 для сталевих виливів залежно від точності виготовлення заготовок.

Сумарне значення відхилень ( $\rho_0$ ) у разі базування заготовок, отриманих методом лиття на плоску поверхню, дорівнює величині деформації ( $\rho_{деф}$ ) литої заготовки.

Похибка встановлення заготовок для обробки на верстатах визначається в загальному вигляді як векторна сума похибки базування ( $\epsilon_6$ ) та похибки закріплення ( $\epsilon_3$ ) за формулою

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2}, \quad (3.20)$$

де  $\epsilon_6$  – похибка базування, мкм;  $\epsilon_3$  – похибка закріплення заготовки, мкм.

У разі поєднання технологічної та вимірювальної баз похибка базування ( $\epsilon_6$ ) дорівнює 0, тому необхідно прагнути (якщо є можливість) бази об'єднувати.

Під час базування в центрах похибка встановлення в радіальному напрямку дорівнює

$$\epsilon_y = 0,25\delta_3, \quad (3.21)$$

де  $\delta_3$  – допуск на діаметральний розмір заготовки, мм.

Деформацію заготовок у разі затискної сили, спрямованої перпендикулярно оброблюваній поверхні, беруть для чорнової заготовки 100–150 мкм, після чорнової обробки 50–65 мкм, після чистової обробки 10–15 мкм.

У процесі закріплення заготовок у пристроях лещатного типу похибка закріплення становить

$$\epsilon_3 = K_3 \cdot b, \quad (3.22)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт, який залежить від характеристики поверхонь, які сприймають силу затиску;  $b$  – ширина поверхні заготовки, мм. Коефіцієнт  $K_3$  для поверхонь до обробки беруть 17,5, після чорнової обробки – 5,8.

Похибка закріплення  $\epsilon_3$  у разі встановлення заготовок у самоцентрувальному патроні наведена в табл. 17.

Таблиця 17

Похибка закріплення під час встановлення заготовок в самоцентрувальному патроні

Характеристика поверхні, яка сприймає затискну силу	Похибка закріплення $\epsilon_3$ , мкм, залежно від напрямку зміщення і діаметра закріплюваної поверхні D, мм							
	радіальний напрямок зміщення				осьовий напрямок зміщення			
	до 50	від 50 до 120	від 120 до 260	від 260 до 500	до 50	від 50 до 120	від 120 до 260	від 260 до 500
Лиття:								
– у земляну форму машинної формовки	300	400	500	600	100	120	150	200
– в оболонковій формі	100	150	200	250	50	80	100	120
– у постійну форму	200	300	400	500	80	100	120	150

Характеристика поверхні, яка сприймає затискну силу	Похибка закріплення $\varepsilon_z$ , мкм, залежно від напрямку зміщення і діаметра закріплюваної поверхні D, мм							
	радіальний напрямок зміщення				осьовий напрямок зміщення			
	до 50	від 50 до 120	від 120 до 260	від 260 до 500	до 50	від 50 до 120	від 120 до 260	від 260 до 500
Гаряче штампування: – на молотах – на кривошипних пресах	300 200	400 300	500 400	600 500	190 80	120 100	150 120	200 150
Попередньо оброблена	100	150	200	250	50	80	100	120
Чисто оброблена	50	80	100	120	30	50	80	100

Під час розрахунку припусків на другому переході похибку закріплення визначають за формулою

$$\varepsilon_{z2} = 0,06\varepsilon_{z1} + \varepsilon_{\text{інд}}, \quad (3.23)$$

де  $\varepsilon_{\text{інд}}$  – похибка індексації поворотного пристрою (поворотного стола, шпіндельного барабана, револьверної головки та ін.), яку беруть 50 мкм.

На подальших переходах похибкою закріплення можна нехтувати через дуже малі залишкові значення і враховувати тільки похибку індексації.

Допуски для штампованих заготовок визначаються за такими формулами:

– для розмірів елементів поковки, що обумовлюють можливість недоштампування (тобто розмірів, паралельних напрямку удару, перпендикулярних до площини розняття штампів), і для розмірів елементів, що обумовлюють двобічне спрацьовування штампів (паралельних площині розняття штампів):

$$\delta = H_{\text{нд}} + I_{\text{шт}} + K_y; \quad (3.24)$$

при цьому верхнє відхилення («+») дорівнює

$$B_v = H_{\text{нд}} + \frac{K_y}{2}; \quad (3.25)$$

нижнє відхилення («-»):

$$H_v = I_{\text{шт}} + \frac{K_y}{2}; \quad (3.26)$$

– в штампованих поковках, які мають заглиблення, допуски на глибину, а також допуски на розміри для внутрішніх поверхонь визначаються за формулою 3.24, але верхнє і нижнє відхилення визначають, навпаки, за формулами 3.26 і 3.25;

– для розмірів, що обумовлюють однобічне спрацьовування штампів (паралельних площині розняття штампів)

$$\delta = \frac{H_{\text{нд}} + I_{\text{шт}}}{2} + K_y; \quad (3.27)$$

при цьому верхнє відхилення

$$B_v = \frac{H_{\text{нд}} + K_y}{2}; \quad (3.28)$$

нижнє відхилення дорівнює

$$H_B = \frac{I_{\text{шт}} + K_y}{2}; \quad (3.29)$$

– для внутрішніх поверхонь у цьому випадку верхнє відхилення визначається за формулою 3.29, а нижнє – за формулою 3.28. У цих формулах  $\delta$  – допуск на розмір заготовки;  $H_{\text{нд}}$  – недоштампування;  $Z_{\text{шт}}$  – допустимий знос штампа, який містить похибки обробки остаточного штампувального рівчака;  $H_{\text{нз}}$  – елемент допуску, який не залежить від зносу штампів і недоштампування;  $K_y$  – коливання усадки за температурним інтервалом штампування. Коливання усадки беруть  $\pm 1,0$  мкм/мм (на 1 мм вимірюваного розміру). Отже:

$$K_y = 2L, \quad (3.30)$$

де  $L$  – вимірюваний розмір, [мм].

Інші складові допуску подані в табл. 15 і 16.

Допустимі відхилення на розміри виливків I і II класу точності наведені в табл. 18 та на гарячекатаний прокат – у табл. 19. Допуски на розміри в разі механічної обробки різними способами наведені в табл. 20 – 22.

Розрахунок операційних припусків і розмірів виконується в порядку, зворотному складанню технологічного процесу, починаючи з розмірів готової деталі й закінчуючи розрахунком розмірів заготовки. Проміжні припуски на обробку зовнішніх циліндричних поверхонь наведені у табл. 23.

Для розрахунку операційних розмірів і припусків застосовують наведені формули 3.31 – 3.38.

Мінімальний проміжний припуск у разі обробки зовнішніх поверхонь:

– на одну сторону:

$$Z_{\min i} = a_{\min i-1} - a_{\min i}, \quad (3.31)$$

– на обидві сторони або по діаметру:

$$2Z_{\min i} = D_{\min i-1} - D_{\min i}. \quad (3.32)$$

Мінімальний проміжний припуск у разі обробки внутрішніх поверхонь:

– на сторону:

$$Z_{\min i} = a_{\max i} - a_{\max i-1}, \quad (3.33)$$

– на обидві сторони або по діаметру:

$$2Z_{\min i} = D_{\max i} - D_{\max i-1}. \quad (3.34)$$

Максимальний проміжний припуск у разі обробки зовнішніх поверхонь:

– на сторону:

$$Z_{\max i} = a_{\max i-1} - a_{\max i}, \quad (3.35)$$

– на обидві сторони або по діаметру:

$$2Z_{\max i} = D_{\max i-1} - D_{\max i}. \quad (3.36)$$

Максимальний проміжний припуск у разі обробки внутрішніх поверхонь:

– на сторону:

$$Z_{\max i} = a_{\min i} - a_{\min i-1}, \quad (3.37)$$

– на обидві сторони або по діаметру:

$$2Z_{\max i} = D_{\min i} - D_{\min i-1}. \quad (3.38)$$

У цих формулах  $a_{\min i-1}$ ,  $D_{\min i-1}$ ,  $a_{\max i-1}$ ,  $D_{\max i-1}$  – відповідно найменші та

найбільші граничні розміри для партії заготовок на попередньому технологічному переході;  $a_{\min i}$ ,  $D_{\min i}$ ,  $a_{\max i}$ ,  $D_{\max i}$  – відповідно найменші та найбільші граничні розміри для партії заготовок на виконуваному технологічному переході.

Геометрична інтерпретація залежностей між розрахунковими величинами наведена на рис. 3.

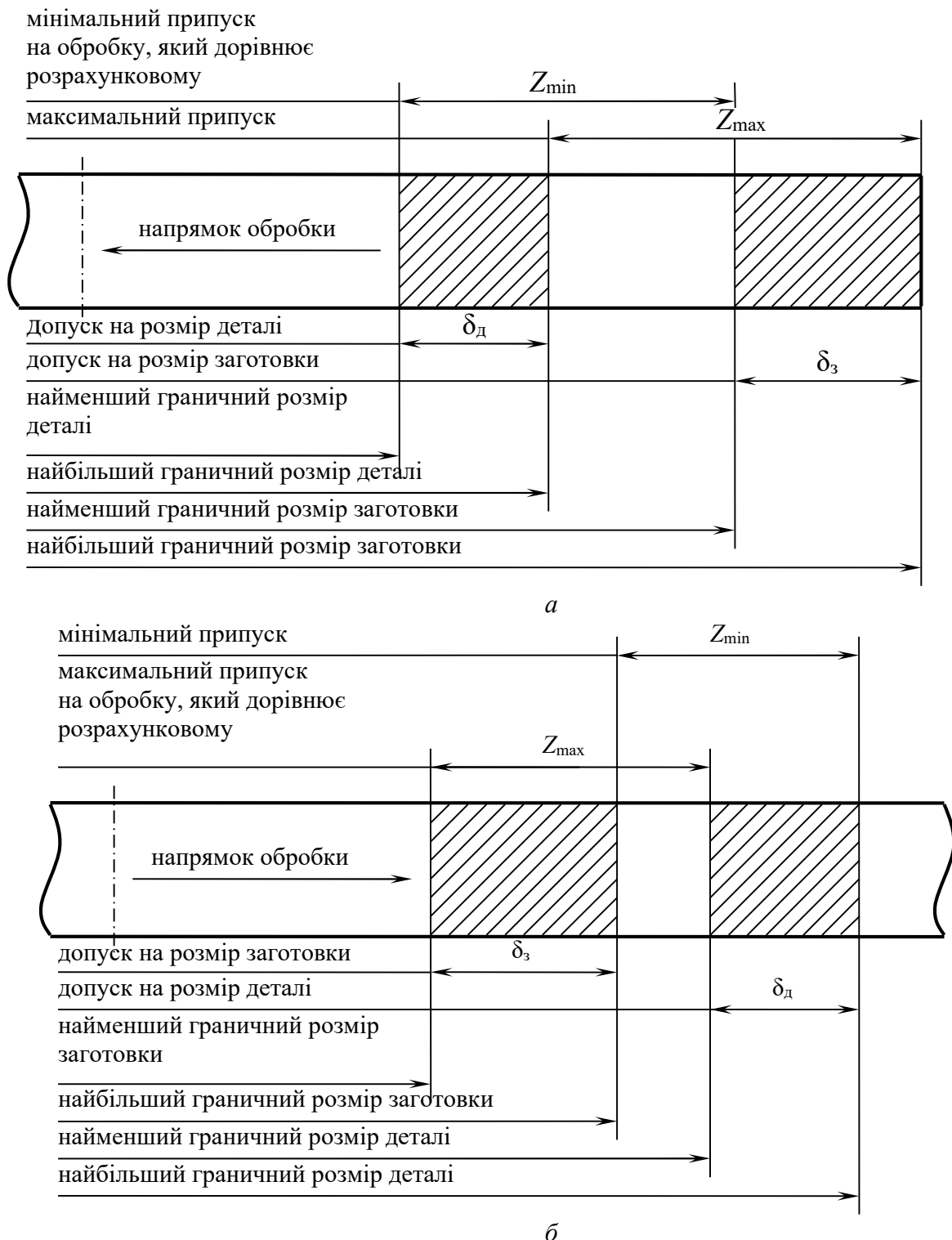


Рис. 3. Схема розташування міжопераційних припусків, граничних розмірів і допусків під час обробки зовнішніх (а) і внутрішніх (б) поверхонь

Таблиця 18

## Допустимі відхилення на розміри виливків

Найбільший габаритний розмір, мм	Допуски *, мкм, на номінальний (вимірюваний) розмір, мм							
	до 50	від 50 до 120	від 120 до 260	від 260 до 500	від 500 до 800	від 800 до 1250	від 1250 до 2000	від 2000 до 3150
Для виливків I класу точності								
До 120	400	600	-	-	-	-	-	-
Від 120 до 260	600	800	1200	-	-	-	-	-
Від 260 до 500	800	1200	1600	2000	-	-	-	-
Від 500 до 1250	1200	1600	2000	2400	2800	3200	-	-
Від 1250 до 3150	1600	2000	2400	2800	3200	4000	5000	6000
Для виливків II класу точності								
До 260	1000	1600	2000	-	-	-	-	-
Від 260 до 500	1600	2000	2400	3000	-	-	-	-
Від 500 до 1250	2000	2400	3000	4000	5000	6000	-	-
Від 1250 до 3150	2400	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000

\* Відхилення розмірів взяті симетричними.

Таблиця 19

## Допустимі відхилення і допуск для круглого гарячекатаного прокату (ГОСТ 2590-88)

Діаметр, мм	Допустимі відхилення, мм		Допуск, мм
	+	-	
Сталь гарячекатана підвищеної точності (Б)			
3; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9	0,1	0,3	0,40
10; 11; 12; 14; 15; 16; 17; 18; 19	0,2	0,3	0,50
20; 21; 22; 23; 24; 25	0,2	0,4	0,60
26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 48	0,2	0,6	0,80
50; 52; 53; 54; 55; 56; 58	0,2	0,9	1,10
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 75; 78	0,3	1,0	1,30
80; 82; 85; 90; 95	0,4	1,2	1,60
100; 105; 110; 115	0,5	1,5	2,00
120; 125	0,6	1,8	2,40
130; 135; 140; 150	0,6	2,0	2,60

Закінчення табл. 19

Діаметр, мм	Допустимі відхилення, мм		Допуск, мм
Сталь гарячекатана кругла звичайної точності (В)			
5; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	0,3	0,5	0,80
20; 21; 22; 23; 24; 25	0,4	0,5	0,90
26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 42; 44; 48	0,4	0,75	1,15
50; 52; 54; 55; 56; 58	0,4	1,0	1,40
60; 62; 65; 68; 70; 72; 75; 78	0,5	1,1	1,60
80; 85; 90; 95	0,5	1,3	1,80
100; 110; 115	0,6	1,7	2,30
120; 125; 130; 140; 150	0,8	2,0	2,80

Таблиця 20

## Точність і якість поверхні під час обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Метод обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Дефектний шар, мкм	Квалітет	Допуск на обробку* за номінальним діаметром, мм								
				від 18 до 30	від 30 до 50	від 50 до 80	від 80 до 120	від 120 до 180	від 180 до 250	від 250 до 315	від 315 до 400	від 400 до 500
Обточування:			14	0,52	0,62	0,74	0,87	1,00	1,15	1,30	1,40	1,55
чорнове	25-50	120-60	12	0,21	0,23	0,30	0,35	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63
напівчистове	12,5-3,2	50-20	12	0,21	0,23	0,30	0,35	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63
однократне	6,3-1,6	30-20	11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40
чистове			10	0,084	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25
			9	0,052	0,062	0,074	0,087	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16
Шліфування:			8	0,033	0,039	0,046	0,054	0,063	0,072	0,081	0,089	0,097
обдирне	1,6-0,8	20	7	0,021	0,025	0,030	0,035	0,040	0,046	0,052	0,057	0,063
чистове	0,8-0,4	15-5	6	0,013	0,016	0,019	0,022	0,029	0,032	0,036	0,040	0,044
Притирка	5-3	5-3	5	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023	0,025	0,027
Супер-фінішування	0,4-0,2	-	-	0,006	0,007	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020

\* Значення допусків стосується деталей зі сталей, для деталей із чавуну або кольорових металів граничні відхилення за точністю можна брати на один квалітет точніше.



Таблиця 21

## Точність і якість поверхні під час обробки

Метод обробки	Шорсткість поверхні $R_a$ , мкм	Дефектний шар, мкм	Квалітет	Допуск * на розмір обробки до базової поверхні, мм								
				до 80	від 80 до 180	від 180 до 250	від 250 до 500	до 80	від 80 до 180	від 180 до 250	від 250 до 500	
				за розміром оброблюваної поверхні, мм								
				до $160 \times 160$				від $400 \times 400$				
Фрезерування і стругання: чорнове	12,5-6,3	100-50	11	-	-	-	-	0,220	0,250	0,320	0,360	
			10	0,120	0,160	0,185	0,250	0,120	0,160	0,210	0,250	
	чистове	3,2-1,6	50-20	8	0,046	0,063	0,072	0,097	0,046	0,063	0,072	0,097
				7	0,030	0,040	0,046	0,063	-	-	-	-
Шліфування: обдирне	3,2	20	10	0,120	0,160	0,185	0,250	0,120	0,160	0,185	0,250	
			8	0,046	0,063	0,072	0,097	0,046	0,063	0,072	0,097	
	- чистове	1,6-0,8	15-5	7	0,030	0,040	0,046	0,063	0,030	0,040	0,046	0,063

\* Значення допусків стосується деталей зі сталей, для деталей із чавуну або кольорових металів граничні відхилення за точністю можна брати на один квалітет точніше.

Таблиця 22

## Точність і якість поверхні під час обробки отворів

Метод обробки	Шорсткість поверхні $R_a$ , мкм	Дефектний шар, мкм	Квалітет	Допуск * на обробку за номінальним діаметром, мм									
				від 6 до 10	від 10 до 18	від 18 до 30	від 30 до 50	від 50 до 80	від 80 до 120	від 120 до 180	від 180 до 250	від 250 до 315	
Свердлення та розсвердлювання	12,5-3,2	75-25	12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,30	0,35	-	-	-	
			11	0,09	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	-	-	-	
Зенкерування:													
чорнове	12,5-6,3	50-30	12	0,18	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40	-	-	-	
однократне	6,3-3,2	40-25	11	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	-	-	-	
			10	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	-	-	-	
Розгортання:													
нормальне	1,6	25-12	11	0,09	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	-	-	-	
			10	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	-	-	-	

Закінчення табл. 22

Метод обробки	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Дефектний шар, мкм	Квалітет	Допуск * на обробку за номінальним діаметром, мм								
				від 6 до 10	від 10 до 18	від 18 до 30	від 30 до 50	від 50 до 80	від 80 до 120	від 120 до 180	від 180 до 250	від 250 до 315
точне	0,8	10	8	0,022	0,027	0,033	0,039	0,040	0,054	-	-	-
			7	0,015	0,018	0,021	0,025	0,030	0,035	-	-	-
тонке	0,4	5	6	0,009	0,011	0,013	0,016	0,019	0,022	-	-	-
			5	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,015	-	-	-
Протягування: чорнове	1,6	25-15	11	-	-	0,130	0,160	0,190	0,220	-	-	-
			10	-	-	0,084	0,100	0,120	0,140	-	-	-
чистове	0,8-0,4	10-5	8	-	-	0,033	0,039	0,046	0,054	-	-	-
			7	-	-	0,021	0,025	0,030	0,035	-	-	-
			6	-	-	0,013	0,016	0,019	0,022	-	-	-
Розточування: чорнове	12,5-6,3	50-30	12	-	-	0,210	0,250	0,300	0,350	0,400	0,460	0,520
			11	-	-	0,130	0,160	0,190	0,220	0,290	0,320	0,360
чистове	3,2-1,6	25-16	10	-	-	0,084	0,100	0,120	0,140	0,160	0,185	0,210
			8	-	-	0,033	0,039	0,046	0,054	0,063	0,072	0,081
тонке, алмазне	0,8-0,2	10-4	7	-	-	0,021	0,025	0,030	0,035	0,045	0,052	0,057
			6	-	-	0,013	0,016	0,019	0,022	0,025	0,029	0,032
			5	-	-	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023
Шліфування:												
попереднє	1,6	20	8	-	0,027	0,033	0,039	0,046	0,054	0,063	0,072	0,081
чистове	0,8-0,4	20-5	7	-	0,018	0,021	0,025	0,030	0,035	0,040	0,046	0,052
			6	-	0,011	0,013	0,016	0,019	0,022	0,025	0,029	0,032
			5	-	0,008	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023
Притирка, хонінгування	0,4-0,025	5-3	5	-	0,008	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023
Розвальцьовування, калібрування, алмазне вигладжування	0,4-0,005	-	8	-	-	0,033	0,039	0,046	0,054	0,063	0,072	0,081
			7	-	-	0,021	0,025	0,030	0,035	0,040	0,046	0,052
			5	-	-	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023

\* Значення допусків стосується деталей зі сталей, для деталей з чавуну або кольорових металів граничні відхилення за точністю можна брати на один квалітет точніше.

## Проміжні припуски на обробку зовнішніх циліндричних поверхонь

Номинальний діаметр, мм	Операція	Припуск на діаметр за розрахунковою довжиною *, мм								
		до 25	від 25 до 63	від 63 до 100	від 100 до 160	від 160 до 250	від 250 до 400	від 400 до 630	від 630 до 1000	від 1000 до 1600
До 6	Точіння чорнове	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	-	-	-
	Точіння чистове	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	-	-	-
	Шліфування	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> -	<u>0,4</u> -
Від 6 до 10	Точіння чорнове	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-
	Точіння чистове	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	-
	Шліфування	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,40	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	-	-	-
Від 10 до 18	Точіння чорнове	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	4,0	-	-
	Точіння чистове	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	-
	Шліфування	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,5</u> 0,5
Від 18 до 30	Точіння чорнове	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	5,0	5,0
	Точіння чистове	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
	Шліфування	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,3</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,6
Від 30 до 50	Точіння чорнове	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0
	Точіння чистове	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
	Шліфування	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,5</u> 0,6
Від 50 до 80	Точіння чорнове	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0
	Точіння чистове	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
	Шліфування	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,4	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,4</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,6</u> 0,7
Від 80 до 120	Точіння чорнове	5,5	5,5	5,5	6,0	6,0	7,0	7,5	8,5	8,5
	Точіння чистове	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	3,0
	Шліфування	<u>0,5</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,5	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,5</u> 0,7	<u>0,6</u> 0,7	<u>0,6</u> 0,8



## Порядок виконання роботи

1. Записати в робочий зошит завдання та вхідні дані, розкреслити розрахункову таблицю (табл. 24).
2. Скласти план обробки поверхні (маршрутний технологічний процес), для якої виконується розрахунок, включаючи в нього операцію отримання заготовки, та заповнити 1-й стовпчик таблиці.
3. Залежно від способу отримання заготовки виписати з довідкових таблиць значення елементів припусків  $Rz$ ,  $T$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  за всіма технологічними переходами.
4. За формулами (3.6) – (3.8) залежно від виду оброблюваної поверхні визначити розрахункові значення мінімальних припусків і заповнити відповідний стовпчик.
5. Визначити допуски на розміри заготовки за всіма технологічними переходами, використовуючи дані економічної точності способів механічної обробки, а також дані, наведені в табл. 18 – 22, для кінцевого переходу допуск визначають із вихідних даних (за кресленням).
6. У 7-й стовпчик для кінцевого переходу записати: для обробки зовнішньої поверхні – найменший граничний розмір готової деталі (із вихідних даних), а для обробки внутрішньої поверхні – найбільший.
7. Застосовуючи формули (3.31), (3.32) для зовнішньої поверхні або (3.33), (3.34) для внутрішньої поверхні, визначити послідовно від готової деталі до заготовки розрахункові розміри за всіма технологічними переходами – 7-й стовпчик.
8. Перенести дані з 7-го стовпчика у 9-й – для зовнішньої поверхні, округлюючи в більшу сторону, або у 10-й – для внутрішньої поверхні, округлюючи в меншу сторону. Округлення виконувати до того ж знака десяткового дробу, з яким наданий допуск на розмір для кожного переходу.
9. Використовуючи відомий зв'язок між граничними розмірами, за допомогою допуску визначити максимальні граничні розміри в разі обробки внутрішньої поверхні та записати їх у незаповнені рядки 9-го або 10-го стовпчика.
10. За формулами (3.31) – (3.38) визначити мінімальні та максимальні припуски за всіма технологічними переходами й записати їх у 11-й і 12-й стовпчики.
11. Підсумовуючи проміжні припуски за всіма переходами, визначити спільні припуски  $Z_{\min 0}$ ,  $Z_{\max 0}$ .
12. Перевірити правильність виконання розрахунків за такою формулою:
$$Z_{\max 0} - Z_{\min 0} = \delta_3 - \delta_d, \quad (3.39)$$
де  $\delta_3$  – допуск на розмір чорнової заготовки;  $\delta_d$  – допуск на розмір готової деталі.
13. Побудувати схему розміщення припусків на обробку, операційних розмірів та допусків на них за всіма технологічними переходами з вказівкою числових значень з розрахункової таблиці (аналогічно поданої на рис. 3).

### Звіт про виконану роботу повинен містити:

- необхідні теоретичні відомості;
- завдання і початкові дані для роботи;
- заповнену розрахункову таблицю;

– схему розміщення припусків, операційних розмірів і допусків за всіма технологічними переходами обробки поверхні згідно із завданням.

### **Список рекомендованої літератури**

Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. Т.1 / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.

*Кован, В.М.* Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник / В.М.Кован. – М.: Машиностроение, 1965. – 466 с.

*Косилова, А.Г.* Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении [Текст]: справочник технолога / А.Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 1976. – 356 с.

Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и напуски: ГОСТ 7505-89. – [Действителен от 1990-07-01]. – М.: Госкомитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам 1989. – 86 с.

Единая система технологической документации. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок: ГОСТ 3.1125-88. – [Действителен от 1989-01-01]. – М.: Госкомитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам 1988. – 13 с.

## **Практичне заняття 4**

### **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ЙОГО ДОКУМЕНТУВАННЯ**

Мета роботи: освоїти методику розробки технологічних процесів механічної обробки деталі.

#### **Необхідні теоретичні відомості**

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, який містить дії щодо зміни та подальшого визначення стану предмета виробництва.

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей має за мету визначення найбільш раціональних і економічних способів обробки, які забезпечуватимуть виконання вимог, поставлених до виробу для заданої виробничої програми.

Основні вимоги, які ставляться до технологічного процесу механічної обробки, полягають у тому, щоб процес обробки відбувався в раціональній організаційній формі, з повним використанням усіх технічних можливостей обладнання, інструменту та пристосувань за оптимальних режимів різання металу, допустимих на даному верстаті, найменших витрат часу та найменшої собівартості обробки.

Підґрунтям для проектування технологічних процесів механічної обробки є покрокова виробнича програма, розроблена на базі загальної виробничої програми заводу, робочі креслення виробів і технічні вимоги на їх виготовлення, паспортні та експлуатаційні дані обладнання.

На робочих кресленнях, необхідних для проектування технологічних процесів обробки деталей на металорізальних верстатах, повинні бути вказані:

- вид заготовки та її маса;
- матеріал і його марка;
- оброблювані поверхні;
- позначення класу шорсткості поверхні після обробки;
- допуски на неточність обробки;
- вид термічної обробки та покриття.

Проектування технологічного процесу механічної обробки деталей згідно з ГОСТ 14.301-83 повинне забезпечувати вирішення таких основних питань:

- аналіз технологічності виробу;
- встановлення типу виробництва й організаційної форми виконання технологічного процесу;
- вибір виду заготовок і визначення їх розмірів;
- встановлення плану (маршруту) і методів механічної обробки поверхонь деталей із вказівкою послідовності технологічних операцій;
- вибір типів і визначення технічних характеристик верстатного обладнання, пристосувань, різального та вимірювального інструментів, а також визначення їх кількості для виконання наміченої обробки;
- визначення операційних припусків і розмірів оброблюваних поверхонь деталей;
- визначення режимів роботи на обраному обладнанні за кожною операцією;
- визначення норми часу на обробку по кожній операції;
- визначення кваліфікації роботи;
- оцінка техніко-економічної ефективності розробленого технологічного процесу;
- оформлення документації технологічного процесу.

Під час виконання даного практичного заняття за вказівками викладача ряд перерахованих питань з урахуванням виконаних раніше (вибір заготовки, розрахунок припусків та ін.) можуть не розглядатися, хоча в процесі підготовки до заняття студент повинен проробити їх за відповідними джерелами (наприклад, [1]).

### **Порядок виконання роботи**

1. Розробити технологічний маршрут обробки заданої деталі.

Вибір раціонального варіанта технологічного маршруту полягає у встановленні послідовності виконання технологічних операцій, визначенні для кожної операції методу обробки і кількості застосованого обладнання. Технологічний маршрут включає також контрольні, проміжні, слюсарні та інші роботи.

Технологічний маршрут складають, виходячи з умов раціональної послідовності виготовлення деталі, враховуючи її конструктивні особливості, вагу, спосіб одержання заготовки, вимоги щодо точності й шорсткості обробки, виду термообробки та ін. Обов'язковими є вимоги найбільшої продуктивності процесу обробки. Одночасно необхідно вказати, на якому верстаті буде виконуватись та чи інша операція.

У загальному випадку під час розробки маршрутного технологічного процесу обробки деталі необхідно дотримуватись такої послідовності:

- вибрати чистову і чорнову бази;
- перша операція – обробка «чистої бази»;
- другою операцією є, як правило, обробка поверхні, взятої за «чорнову базу», за умови, що її не треба залишати необробленою, наступною – чистова обробка цієї ж поверхні;
- намітити операції механічної обробки (усі інші відповідальні поверхні деталі піддаються послідовно чорновій і чистовій обробкам, для цього більш точна поверхня обробляється після менш точної);
- визначити місце термічної обробки, якщо вона потрібна;
- встановити необхідність і місце контрольних операцій;
- остаточно пронумерувати намічені операції технологічного процесу;
- розроблений технологічний процес перевірити з погляду виконання заданих технічних умов.

Під час встановлення технологічного маршруту обробки необхідно враховувати характер продукції й тип виробництва. Для роботизованого виробництва крім проектування операцій, пов'язаних зі зміною форми деталі, визначаються траєкторія руху і швидкості переміщення руки робота, її маніпулювання, узгоджується автоматика робота з автоматичною основою технологічного обладнання, розробляються програми роботи роботизованої системи.

2. Детально розробити одну з основних операцій технологічного процесу (за вказівкою викладача), для чого необхідно вирішити такі основні взаємопов'язані питання:

- сформулювати назву операції, позицій, переходів, ходів;
- обрати верстат і вказати його основні характеристики;
- обрати пристосування і вказати його основні характеристики;
- обрати різальний, допоміжний та вимірювальний інструмент для кожної позиції або переходу;
- розрахувати або вибрати режим різання для кожної операції, переходу;
- визначити технічну норму часу;
- визначити розряд роботи;

*Вибір верстата та його основних характеристик* визначається передусім його можливістю забезпечити виконання технічних вимог, які висуваються до оброблюваної деталі стосовно точності розмірів, форми і класу шорсткості поверхні. Для цього до уваги беруться:

- відповідність верстата виду обробки (точіння, фрезерування, свердління,



шліфування та ін.);

- відповідність основних розмірів верстата габаритним розмірам оброблюваної деталі;

- відповідність продуктивності верстата кількості оброблених протягом року деталей;

- відповідність кінематичних даних верстата (числа обертів, подачі) необхідним режимам обробки;

- можливість більш повного використання верстата за потужністю й часом;

- найменша собівартість обробки.

Крім того, до металорізного обладнання, яке працює в комплексі з промисловими роботами, ставиться ряд специфічних вимог. До робототехнічних комплексів доцільно включати обладнання, яке працює з повною автоматизацією циклу й не вимагає багато часу на переналагодження. Воно повинне забезпечувати високий рівень концентрації та суміщення переходів обробки. Для підвищення надійності цих комплексів необхідно ввести автоматизований контроль у процесі обробки і забезпечити автоматизацію підведення мастильноохолоджувальних речовин у зону різання і зміни інструмента. На верстатах повинна бути передбачена надійна система подрібнення стружки та її прибирання.

Компонування і параметри робочої зони верстата, конструкції пристроїв повинні забезпечувати вільний доступ руки промислового робота для встановлення і зняття заготовки. Усі рухомі (під час роботи) вузли верстатів, пов'язані з функціонуванням промислових роботів (піноль задньої бабки, супорт, загорода, пристрої для попереднього базування заготовок та ін.), мають бути оснащені датчиками, які фіксуватимуть їх кінцеве положення.

Металорізальне обладнання повинно бути забезпечене пристроями, які б блокували його роботу за відкритих захисних загород зони різання і за незакріпленої або неправильно закріпленої заготовки.

Вибір верстатів слід проводити за каталогами, преїскурантами і довідниками (наприклад [2]).

На вибране обладнання наводяться паспортні дані: назва, тип (модель), основні розміри, потужність та ін.

*Вибір пристосування і його основних характеристик.* Для кожної операції необхідно вибрати відповідне пристосування без його конструктивної розробки. Правильно вибране пристосування повинне сприяти підвищенню продуктивності праці й точності обробки, покращенню умов праці, ліквідації попередньої розмітки заготовок і вивірення їх у разі встановлення на верстаті.

Крім назви пристосування необхідно дати його коротку характеристику і вказати, як у ньому базується деталь.

Вибір пристосування залежить від характеру обробки, геометричних форм оброблюваних поверхонь, взятих баз, розмірів деталі та інших умов.

*Вибір різального, допоміжного та вимірювального інструменту для кожної позиції або переходу.* Для розроблюваного технологічного процесу бажано застосовувати стандартний різальний інструмент, як більш дешевий, але можна

розробляти й спеціальний, комбінований, фасонний інструмент, який дає можливість суміщати обробку кількох поверхонь, скорочуючи таким чином час обробки.

Вибір різальних інструментів проводиться за відповідними державними стандартами або нормальми.

Для кожного обраного інструмента слід вказати найменування, ГОСТ (нормаль), основні розміри, матеріал різальної частини та її геометрію, стійкість та ін.

Вибір засобів технічного контролю проводиться за ГОСТ 14.306-73 або за нормальми. Вимірювальний інструмент (прилад або контрольний пристрій) обирається виходячи з розмірів і форми вимірюваної деталі, необхідної точності вимірювань, а також типу виробництва.

Для підвищення надійності робототехнічних комплексів необхідно забезпечити автоматизацію контролю в процесі обробки.

*Розрахунок або вибір режиму різання для кожної операції, переходу.* Для однієї з основних операцій технологічного процесу режими різання розраховуються за формулами теорії різання, а для інших операцій – обираються за нормативними таблицями (для цього обов'язково повинне бути посилання на джерело).

Вихідними даними для вибору режимів різання є:

- дані щодо оброблюваної деталі (робоче креслення і технічні умови);
- характеристики матеріалу (марка, стан, механічні властивості), форма, розміри і допуски на обробку;
- допустимі відхилення від геометричної форми (овальність, конусність, допустимі похибки взаємного розташування окремих поверхонь);
- необхідний клас шорсткості обробленої поверхні, зміцнення, відпускання.
- відомості про заготовку:
  - рід заготовки;
  - величина і характер розподілу припусків;
  - стан поверхневого шару (наявність кірки, окалини, зміцнення).

Елементи режиму різання вибираються таким чином, щоб досягти найбільшої продуктивності праці за найменшою собівартістю даної технологічної операції.

Вибір елементів режиму різання невіддільний від вибору різального інструмента з погляду його матеріалу, конструкції та геометрії різальної частини.

Методика розрахунку режимів різання для різноманітних видів обробки описана в роботах [3], [6 – 8].

У разі багатоінструментальної обробки, тобто під час технологічного налагодження, яке передбачає одночасно обробку декількох поверхонь кількома інструментами (принцип концентрації операцій), режими різання налагодження визначаються за лімітуючим інструментом, у якого в умовах одноінструментальної обробки машинний час різання металу найбільший. Для інших інструментів швидкість різання обирають таким чином, щоб машинний час цих інструментів був найбільш близьким до машинного часу лімітуючого інструмента.

Детальніше розрахунок режимів різання в разі багатоінструментальної обробки розглянутий у довіднику [3].

*Визначення технічної норми часу.* Технічна норма, що визначає витрати часу на обробку, є основою для оплати праці, калькуляції собівартості деталі та виробу. На базі технічних норм розраховуються тривалість виробничого циклу, необхідна кількість обладнання, інструментів і робітників, визначається виробнича потужність цехів (окремих ділянок), проводиться загальне планування виробництва.

*Визначення розряду роботи.* Для кожної операції технологічного процесу встановлюється розряд кваліфікації роботи. Він визначається за тарифно-кваліфікаційним довідником відповідної галузі промисловості.

3. За результатами виконаних розробок і розрахунків заповнити технологічну документацію – карти маршрутного технологічного процесу та операційні карти для однієї операції.

Основні правила оформлення технологічної документації наведені в додатку 1, приклади заповнення маршрутних і операційних карт – в додатку 2.

#### **Звіт про виконання роботи повинен містити:**

- стислий виклад справжньої інструкції;
- ескіз деталі;
- маршрутний технологічний процес механічної обробки;
- дані щодо детальної розробки однієї з операцій (за вказівкою викладача), за необхідністю – операційний ескіз;
- заповнені карти технологічного процесу.

#### **Список використаної літератури**

1. Розробка дипломного проекту технологічного напрямку [Текст]: навч. посіб. / Б.Д.Буц, О.Є.Джур, Є.Ю.Ніколенко, Д.І.Шевчук. – Д.: РВВ ДДУ, 2000. – 80 с.
2. Металлорежущие станки [Текст]: каталог-справочник. – М.: НИИ МАШ, 1981. – 600 с.
3. Обработка металлов резанием [Текст]: справ. технолога / А.А.Панов [и др.]; под. ред. А.А.Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.1 – 656 с.; Т.2 – 496 с.
5. Колесников, Л.А. Приспособления спутника автоматических линий [Текст] / Л.А. Колесников. – М.: Машиностроение, 1980. – 43 с.
6. Кован, В.М. Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник / В.М.Кован. – М.: Машиностроение, 1965. – 466 с.
7. Режимы резания металлов [Текст]: справочник / под ред. Ю.В.Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с.
8. Режимы резания труднообрабатываемых материалов [Текст]: справочник / Я.Л.Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
9. Методические указания №6 от 88 по заполнению документов, входящих в

технологический процесс, с разъяснением отдельных требований ЕСТД. Приложение СТП 102-311-88.

10. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Оформление технологической документации». – Д.: ДГУ, 1989. – 48 с.

11. Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством продукции и эффективное использование ресурсов. Технологические процессы. Порядок разработки, обработки и утверждения, учета и внесения изменений в технологические документы. СТП 102-311-88.

## **Практичне заняття 5**

### **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ СКЛАДАННЯ ЗА СКЛАДАЛЬНИМ КРЕСЛЕННЯМ АБО НАТУРНИМ ВИРОБОМ**

Мета роботи: практично освоїти методику побудови технологічних схем складання, побудови схем за складальним кресленням виробу або натурним виробом.

#### **Необхідні теоретичні відомості**

Технологічний процес складання виробу являє собою частину виробничого процесу, який характеризується послідовним з'єднанням деталей у складальні одиниці різної складності та, зрештою, у виріб.

У процесі розробки технологічного процесу складання необхідно складальні вироби спочатку розчленити на елементи таким чином, щоб здійснити складання найбільшої кількості цих елементів незалежно від процесу загального складання. Виріб розчленовують на елементи шляхом побудови схеми складального складу. Наявність у виробі складальних одиниць різного ступеня складності дозволяє збирати їх на ділянках, оскільки це знижує цикл загального складання виробу. Крім того, ці складальні одиниці можуть бути подані на загальне складання в зібраному вигляді і перевірені, що, у свою чергу, забезпечує якість зібраного вузла в цілому. Велике розчленування виробу на складальній одиниці дозволяє в разі достатньої величини програмного завдання організувати складання поточним методом. Для цього переходи легко групувати в операцію таким чином, щоб тривалість її дорівнювала або була кратною ритму складання.

Для розчленування конструкції виробу на окремі складальні одиниці слід керуватися такими основними вимогами до технологічності конструкції складальної одиниці згідно з ГОСТ 14.203-73:

– складальна одиниця (виріб) повинна розчленовуватися на раціональне число складових частин, можливих і доцільних як у конструктивному, так і в технологічному відношенні;

– в конструкції складальної одиниці необхідно передбачати базову деталь (або складову частину), зручну для правильної установки на робочому місці (в стапелі, пристрої, робочому столі та ін.);

– компонування складальної одиниці повинне забезпечувати загальне складання без проміжного розбирання та повторних складань складових частин, а також зручний доступ до місць, які потребують контролю, регулювання й проведення інших робіт;

– на загальне складання необхідно подавати в якомога більшій кількості скомплектовані складальні одиниці та в якомога меншій кількості деталі;

– трудомісткість складання повинна бути приблизно однаковою для більшості складальних одиниць;

– місця з'єднання складових частин мають бути доступними для механізації складальних робіт.

Крім складальних елементів визначають деталі та вироби, які поступають у зібраному вигляді від сторонніх постачальників (покупні вироби).

Схема складального процесу встановлює послідовність складання – подавання деталей та складальних одиниць до місць складання та їх кількісний облік, допомагає в розробці технологічного процесу складання. У зв'язку з тим, що схема складального процесу повинна вказувати послідовність складального процесу, в ній має бути виділений базовий елемент (базова деталь або складальна одиниця). Як базову обирають деталь, поверхню якої будуть згодом використовувати під час встановлення готового виробу або в разі кріплення складальної одиниці до раніше зібраних складальних одиниць.

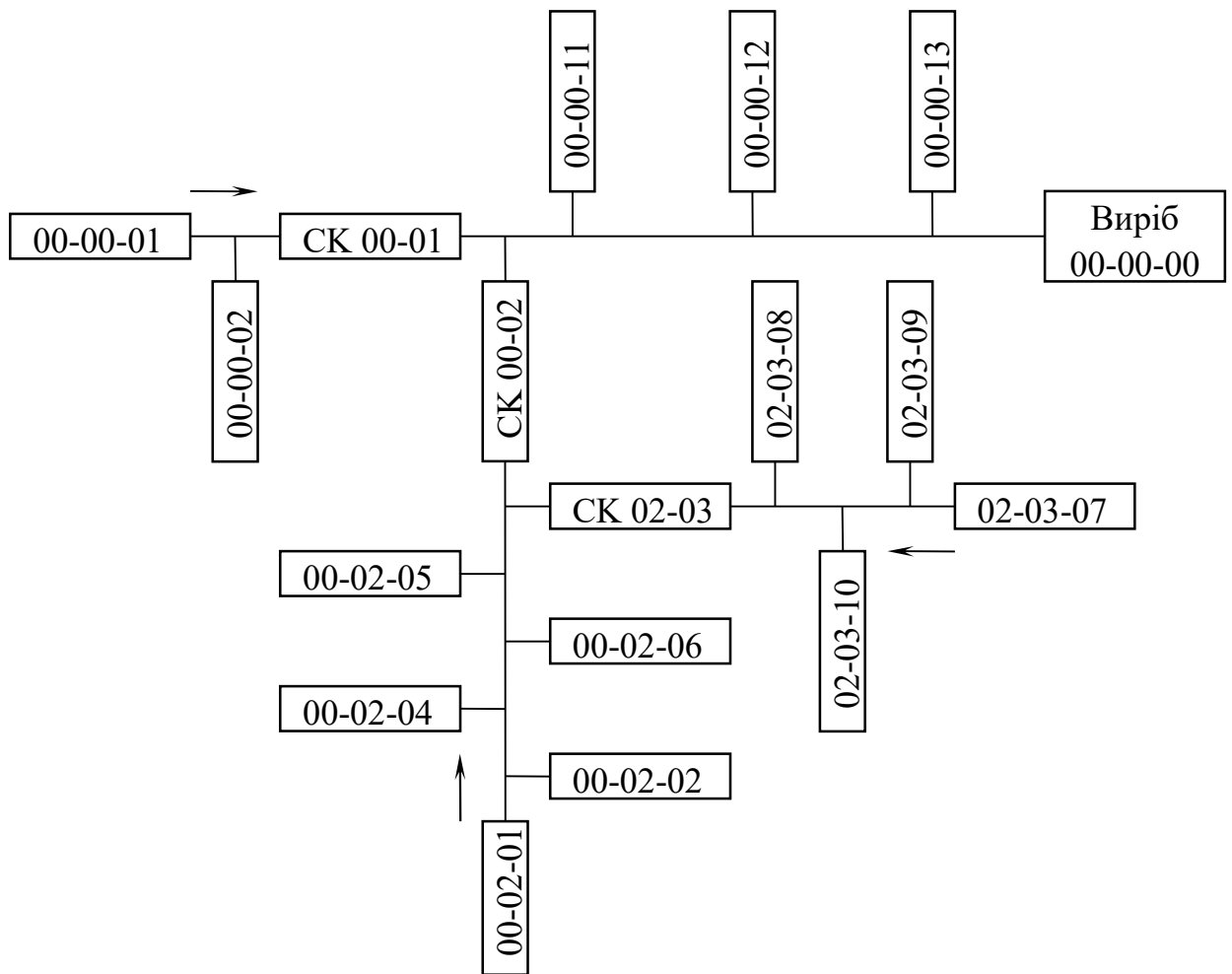
Приклад схеми складання з базовою деталлю поданий на рис. 4. На схемі показано, із яких деталей і в якій послідовності утворюються складальні одиниці. Наприклад, видно, що складальна одиниця СК-1 утворюється з'єднанням деталей 1-1 і 1-2, причому деталь 1-1 базова, аналогічно СК-2 утворюється шляхом послідовного приєднання до базової деталі 1-2 деталей 2-2, 2-6, 2-4, 2-3 та складальної одиниці СК-2-3.

Для складних виробів звичайно розробляють схему «вузлового» складання і схему загального складання. Під вузловим розуміють складання складальних одиниць, а під загальним – складання виробів.

Технологічні схеми складання відрізняються від схем складального складу тим, що на них наносять написи, які пояснюють характер складальних операцій або вимоги, які необхідно забезпечити під час виконання складання.

За наявності такої технологічної схеми складання спеціальні технологічні карти на складання часто не розроблюють. На виконання окремих відповідальних операцій розробляються типові інструкції (наприклад, на балансування, випробування тощо).

Елементи складання на схемах зображують у вигляді прямокутника (рис. 5), в який вписують децимальні номери позицій, найменування та кількість відповідних деталей або складальних одиниць. Технологічні вказівки подаються або в прямокутниках, виконаних пунктиром, або у вигляді коротких написів, або умовними знаками, значення яких розшифровуються на вільному полі схеми.



**Рис. 4. Схема складання з базовою деталлю**

Децимальний номер або позиція	Найменування	Кількість
-------------------------------	--------------	-----------

**Рис. 5. Позначення деталей та складальних одиниць на схемах складання**

У технологічних схемах записуються назви методів виконання з'єднань там, де вони не визначені типом з'єднувальних деталей. Так, вказують – «приварити», «запресувати», «набити мастилом», але не роблять вказівок «заклепати», якщо вказане на кресленні встановлення заклепки.

### **Порядок виконання роботи**

1. Вивчити конструкцію виробу за складальним кресленням або зразком. З'ясувати можливість розчленування конструкції на складальні одиниці різних ступенів складності, починаючи з вищих.

2. Побудувати спрощену схему складального складу шляхом побудови схем складання від низьких ступенів складності складальних одиниць до високих. Для цього позначення елементів схем зручно виконувати у вигляді простих знаків (квадратів, кіл) із записом у них тільки номера позиції за складальним кресленням.

3. Розробити повну технологічну схему складання виробу, використовуючи специфікацію вхідних у виріб деталей, покупних складальних одиниць і матеріалів, а також технологічні умови.

**Звіт про виконання роботи повинен містити:**

- стислий виклад справжньої інструкції;
- перелік складальних одиниць, складання яких доцільно виконувати на самостійних операціях;
- технологічну схему складання виробу або складального складу (за вказівками викладача).

**Список рекомендованої літератури**

*Егоров, М.Е.* Технология машиностроения [Текст] / М.Е. Егоров, В.И.Дементьев. – М: Высш. шк., 1976. – 535 с.

*Новиков, М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов [Текст] / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 298 с.

Розробка дипломного проекту технологічного напрямку [Текст]: навч. посіб. / Б.Д.Буц, О.Є.Джур, Є.Ю.Ніколенко, Д.І.Шевчук. – Д.: РВВ ДДУ, 2000. – 80 с.

# ДОДАТКИ

Додаток 1

## ОФОРМЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Складання й оформлення комплекту документів у технологічному процесі з механічної обробки здійснюється відповідно до ГОСТ 3.1118-82, ГОСТ 3.112-84 і ГОСТ 3.1404-86.

Склад і форма карт, які входять у комплект документів, залежать від виду технологічного процесу (одиничний, типовий або груповий), типу виробництва.

За ступенем деталізації опису (повноти інформації) кожен із указаних видів технологічних процесів передбачає різну повноту викладення змісту операції та комплектність документації.

У маршрутному технологічному процесі зміст операції викладається в маршрутних картах ГОСТ 3.1118-82, форми 1 і 1а з механічної обробки та форми 2 і 1б зі складання.

У маршрутно-операційному й операційному технологічних процесах механічної обробки зміст операцій викладається в маршрутних картах форми 1 і 1а ГОСТ 3.1118-82 і в операційній карті форми 3 і 2а ГОСТ 3.1404-86.

У маршрутно-операційному й операційному технологічних процесах складання зміст операцій викладається в маршрутних картах форми 2 і 1б ГОСТ 3.1118-82.

### Вимоги до заповнення граф технологічних документів

До заповнення граф технологічного документа висувають такі вимоги:

– кожен із заповнюваних рядків ділиться уявно по горизонталі навпіл, інформацію записують у нижній її частині, залишаючи верхню частину вільною для внесення змін;

– під час запису інформації допускають скорочення, передбачені ГОСТ 2.316-66 і ГОСТ 3.1702-79 та ін.;

– для граф, виконаних потовщеними лініями, існує 3 варіанти заповнення:

1) графи заповнюють кодами і позначеннями за відповідними стандартами і класифікаторами;

2) графи заповнюють інформацією в розкодованому вигляді;

3) інформацію подають у вигляді кодів з розшифровкою.

Незаповнені графи свідчать про наявність інших документів, які є носіями цієї інформації. У випадку відсутності інформації для якої-небудь графи в ній ставиться прочерк довжиною 4-5 мм. Вертикальні штрихи в рядках вказують на місце заповнення інформації під графою. Розміри графи повинні відповідати максимальній кількості символів, наприклад цифр, які можна надрукувати або записати.

### Оформлення основного напису технологічних документів

Усі види технологічних документів містять єдину форму основного напису,



зміст і правила заповнення якої регламентуються ГОСТ 3.1103-82. Графи основного напису пронумеровані. Відповідно до вказаної нумерації в графі заноситься інформація в такому вигляді:

1. Назва навчального закладу в повному або скороченому вигляді (для навчальної документації), наприклад: ДНУ, ДНУ ФТФ, Дніпропетровський національний університет.

2. Позначення деталі, складальної одиниці за основним конструкторським документом.

3. Код класифікаційних ознак для типових (групових) технологічних процесів, наприклад: 447125 (код деталей типу наконечників).

4. Позначення документа за ГОСТ 3.1201-85.

5. Літера, присвоєна технологічному документу за ГОСТ 3.1102-81:

І – разове виготовлення в одиничному виробництві;

П – попередній проект;

А – серійне виробництво;

О – дослідний зразок тощо.

6. Назва виробу (деталі, складальної одиниці) за основним конструкторським документом.

7. Прізвища осіб, які беруть участь у розробці, оформленні та контролі документа.

8. Підпис особи, яка відповідає за розробку й оформлення документа, за внесення змін та ін.

9. Дата підпису (позначення назви місяця римськими цифрами не допускається).

10. Характер роботи, що виконується особами, які підписали документи.

11. Загальна кількість сторінок документа.

12. Порядковий номер документа.

13. Умовне позначення виду документа за ГОСТ 3.1102-81, наприклад:

МК – маршрутна карта;

КТП – карта технологічного процесу;

КЕ – карта ескізів;

ОК – операційна карта.

Допускається вказувати коротку назву технологічного методу формоутворення деталі, наприклад: «обробка різанням».

### **Заповнення граф і рядків маршрутної карти за ГОСТ 3.1118-82**

Маршрутна карта – основний і обов'язковий документ будь-якого технологічного процесу. Під час заповнення маршрутної карти інформація в рядки вноситься за кількома типами. Кожному типу рядка відповідає свій службовий символ. Службові символи умовно виражають зміст інформації, розміщеної в графах даного типу рядка документа, і застосовуються для обробки цієї інформації засобами механізації й автоматизації. Проставляння службових символів обов'язкове і не залежить від застосованого методу, наприклад, написання документа (ручним способом, механізовано, автоматизовано). Як

виняток з правил допускається не проставляти службовий символ на наступних рядках, які несуть однакову інформацію в разі опису однієї й тієї ж операції (переходу) на одному місці документа.

У ролі позначення службового символу застосовують великі літери кирилиці, проставлені перед номером відповідного рядка, наприклад: А, Б, В.

Символи, позначення та зміст інформації, яку вносять у графи, розташовані в рядках маршрутної карти, такі:

#### *Службовий символ М01*

Назва, сортамент, розмір і марка матеріалу, позначення стандарту, технічних умов.

#### *Службовий символ М02*

Код – код матеріалу за класифікатором (допускається не заповнювати).

ОВ – код одиниці величини: маси, довжини, площі та ін., деталі або заготовки за державним класифікатором.

МД – маса деталі за конструкторським документом.

ОН – число деталей, на які встановлена норма витрат матеріалу.

$N_{\text{внтр}}$  – норма витрат матеріалу.

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу: відношення маси готової деталі до норми витрати матеріалу.

Код заготовки – код заготовки за класифікатором, допускається вказувати вид заготовки; наприклад: виливок, прокат і т.д.

Профіль і розміри – позначення профілю й розмірів заготовок, рекомендується вказувати товщину, ширину і довжину заготовки, сторону квадрата або діаметр і довжину; наприклад: 20×50×300;  $d = 35$ ,  $L = 40$ .

КД – кількість деталей, виготовлених з однієї заготовки (наприклад: з дроту, труби).

МЗ – маса заготовки.

#### *Службовий символ А*

Цех – номер цеху, в якому виконується операція (для навчальної документації номер цеху допускається позначати умовним кодом «ХХ»).

Діл. – номер дільниці (для навчальної документації номер дільниці допускається позначати умовним кодом «ХХ»).

РМ – номер робочого місця (для навчальної документації номер ділянки допускається позначати умовним кодом «ХХ»).

Опер. - номер операції.

Код, назва операції – код операції відповідно до класифікатора технологічних операцій у машинобудуванні і приладобудуванні та назва операції.

Назви операцій обробки різанням повинні відображати застосований вид обладнання (записується прикметником у називному відмінку), наприклад: Агрегатна, Зубостругальна та ін.

Позначення документа – позначення документів, що застосовуються під час виконання операції, інформація щодо використання мастильно-охолоджувальної рідини, зміст документів слід вказувати через знак «:» (двокрапка).

### *Службовий символ Б*

Код, назва обладнання – код обладнання за класифікатором, коротка назва обладнання (допускається код не вказувати, а замість назви обладнання наводити модель або назву робота).

СМ – код ступеня механізації праці, вказують однозначною цифрою:

1 – спостереження за роботою автоматів; 2 – робота за допомогою машин і автоматів; 3 – ручним способом при машинах і автоматах; 4 – ручним способом без машин і автоматів; 5 – ручним способом у разі налагодження машин і ремонту.

Проф. – код професії за класифікатором (допускається графу не заповнювати).

Р – розряд роботи, необхідний для виконання операції, складається з 3 цифр: перша – розряд роботи за тарифно-кваліфікаційним довідником, дві наступні – код форми і системи оплати праці:

10 – відрядна форма оплати праці; 11 – відрядна система оплати праці, пряма; 12 – відрядна система оплати праці, преміальна; 13 – відрядна система оплати праці, прогресивна; 20 – погодинна форма оплати праці; 21 – погодинна система оплати праці, проста; 22 – погодинна система оплати праці, преміальна.

Наприклад: 310 означає розряд роботи для виконання операції – третій, форма оплати праці – відрядна.

УП – код умов праці за класифікатором і код виду норми.

Код умов праці:

1 – нормальні; 2 – важкі і шкідливі; 3 – особливо важкі, особливо шкідливі.

Вид норми часу:

Р – аналітично-розрахункова; Д – аналітично-дослідна; Х – хронометражна; Е – експериментально-статистична.

КР – кількість виконавців, зайнятих під час виконання операції.

КООД – кількість одночасно оброблюваних заготовок у разі виконання однієї операції.

ОН – одиниця нормування, на яку встановлена норма витрати матеріалу або норма часу.

ОП – обсяг виробничої партії, штук.

$K_{шт.}$  – коефіцієнт штучного часу, залежить від кількості верстатів, які обслуговуються: 1 верстат – 1; 2 верстати – 0,65; 3 верстати – 0,48; 4 верстати – 0,39; 5 верстатів – 0,35; 6 верстатів – 0,32.

$T_{п.з.}$  – норма підготовчо-заключного часу на операцію.

$T_{шт.}$  – норма штучного часу на операцію.

### *Службовий символ О*

У рядку з даним символом описується зміст операції (переходу). Інформація записується по всьому рядку, за необхідності продовження інформації, зміст операції (переходу) переноситься на наступний рядок. У разі відсутності ескізів обробки тут записують розміри обробки окремих поверхонь.

Зміст переходу містить:

– ключове слово, яке характеризує метод обробки (виражене дієсловом у неозначеній формі), наприклад: обточити, нарізати, притупити, відцентрувати, просвердлити;

– назви оброблюваної поверхні, конструктивних елементів або предметів виробництва (записується іменником у знахідному відмінку), наприклад: фаску, отвір, заготовку, різьбу;

– інформація про розміри обробки різанням або про її умовні позначення, наведені на операційних ескізах і вказані арабськими цифрами в колі діаметром 6-8 мм;

– додаткова інформація, яка характеризує кількість одночасно або послідовно оброблюваних поверхонь, вид обробки, наприклад: попередньо, остаточно, за копіром, відповідно до ескізу та ін.

#### *Службовий символ T*

У рядку з даним символом подається інформація про технологічну оснастку в такій послідовності:

- пристрої;
- допоміжний інструмент;
- слюсарно-монтажний інструмент;
- засоби вимірювань.

Запис про оснастку здійснюється по всій довжині рядка з можливістю перенесення інформації на наступний рядок. Розділення інформації щодо кожної одиниці оснастки виконується через знак «:» (двокрапка). У випадку непристосування якої-небудь оснастки записується оснастка, наступна в черзі.

#### *Службовий символ P*

ПІ – номер позицій інструментального налагодження (для операцій з ЧПК).

Д або В – розрахунковий розмір оброблюваного діаметра (ширини) деталі.

L – довжина робочого ходу.

T – глибина різання.

I – кількість робочих ходів.

S – подача.

n – частота обертання.

V – швидкість різання.

T<sub>д</sub> – додатковий час на перехід.

T<sub>о</sub> – основний час на перехід.

На власний розсуд розробника допускається проставлення даних під службовим символом «P» у рядку зі службовим символом «O», якщо для цього достатньо місця; у цьому випадку рядок одержує службовий символ «OP».

Деякі правила заповнення рядків і граф маршрутною карти:

– операції нумерують арабськими цифрами: 5, 10, 15 і т.д., допускається додавати зліва нулі: 005, 010, 015 і т.д.;

– установи позначають кирилицею великими літерами: А, Б, В і т.д.;

- граничні відхилення розмірів у тексті вказують числовими значеннями в один рядок з використанням знака «±», наприклад:  $50\pm 0,1$  мм,  $12\pm 0,05$  мм;
- для запису назви і змісту операції допускається повна або скорочена форма запису: повний запис роблять за відсутності графічних зображень з метою комплексного відображення всіх виконуваних дій, скорочену форму запису застосовують у разі наявності карти ескізів або графічних зображень на полі документа, наприклад: «Точити фаски відповідно до «Е» « або «Свердлити два отв.8»;
- у разі відсутності інформації з будь-яким службовим символом записують інформацію з наступним за порядком службовим символом;
- допускається виконувати графічне зображення безпосередньо на полі документа замість карти ескізів, у цьому випадку рядку, зайнятому зображенням, надають службовий символ «О»; даний символ вказують один раз для всіх рядків, зайнятих зображенням;
- якщо назва якої-небудь операції повторюється в тексті документа, то зміст операції вказують перший раз повністю, у разі повторного згадування їй надають черговий порядковий номер, вказують назву і посилаються на попередній текст, наприклад: «див. перех. 2»;
- посилання на номери типових інструкцій, типових технологічних процесів подають у графі «Позначення документа» на рядку, де вказана назва операції.

# ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ МАРШРУТНИХ І ОПЕРАЦІЙНИХ КАРТ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

ГОСТ 3.118-82 Форма 1

Дубл.																
Взам.																
Подл.																
Розроб.				<b>ДНУ ФТФ</b>			92.9811.1230.0003.01.0						2	1		
Норм.	<b>Важіль</b>															
M01	Сталь 45Л ГОСТ 977-88			HV 229 ...285												
M02	Код	ОВ	МД	ОН	Н <sub>випр.</sub>	КВМ	Код заготовки			Профіль і розміри			КД	МЗ		
A	-	кг	0,22	1	0,35	0,63	-			Вилісок за кресленням			1	0,3		
B	Цех	Діл.	РМ	Опер.	Код, назва операції			Позначення документа								
P	Код, назва обладнання				Д або В		см	проф.	Р	УП	КР	КООД	ОН	ОП	К <sub>мг.</sub>	Г <sub>пз.</sub>
A <sub>01.</sub>	-	-	-	05	Вертикально-фрезерувальна		L	t	i	S	n	V	Г <sub>Д</sub>	Г <sub>О</sub>		
B <sub>02.</sub>	Вертикально-фрезерувальний 6Р12			фрез.		3	-	1	1	1	1	25	-	22	2,65	
A <sub>04.</sub>	Горизонтально-фрезерувальна															
B <sub>05.</sub>	Горизонтально-фрезерувальний 6Р82			фрез.		3	-	1	1	1	1	25	-	22	3,55	
A <sub>08.</sub>	Горизонтально-фрезерувальна			фрез.		3	-	1	1	1	1	25	-	22	2,75	
A <sub>10.</sub>	Вертикально-свердловальна															
B <sub>11.</sub>	Вертикально-свердловальний 2А135			фрез.		3	-	1	1	1	1	25	-	14	1,59	
MK	Обробка різанням															

Дубл.																							
Взам.																							
Подл.																							
92.9811.1230.0003.01.0																							
Обробка різанням																							
А	Цех	Діл.	РМ	Опер.	Код, назва операції		Код, назва обладнання		см	проф.	Р	УП	КР	КООД	ОН	ОП	Кшт.	Тшт.	Тшт.	Тшт.			
Б					Д або В		L	t		i	S			n	V						2	2	
Р																							
А 01.	-	-	-	25	Слюсарна																		
Б 02.	Верстат слюсарний HE1230								слюс.		2	-	1	1	1	1	25	-				3,59	
03.																							
О 04.	1. Нарізати різь М12х1,25-6Н																						
Т 05.	Воріток 6910-0034 ГОСТ 22399-77; Пещата 7827-0263 ГОСТ 4045-75; Мітчик 2620-1503-3; 2620-1501-3 ГОСТ 3266-81; Пробка 8221-3055-6Н ГОСТ 17758-72 М12х1,25																						
06.																							
07.																							
О 08.	2. Зачистити задирки																						
Т 09.	Напилот 2820-0027 ГОСТ 1465-80																						
10.																							
А 11.	-	-	-	30	Технічний контроль																		
Б 12.	Плита контрольна																					1,51	
13.																							
А 14.	-	-	-	35	Транспортувальна																		
15.	Подати деталі на термообробку																						
16.																							
17.																							
МК																	Обробка різанням						





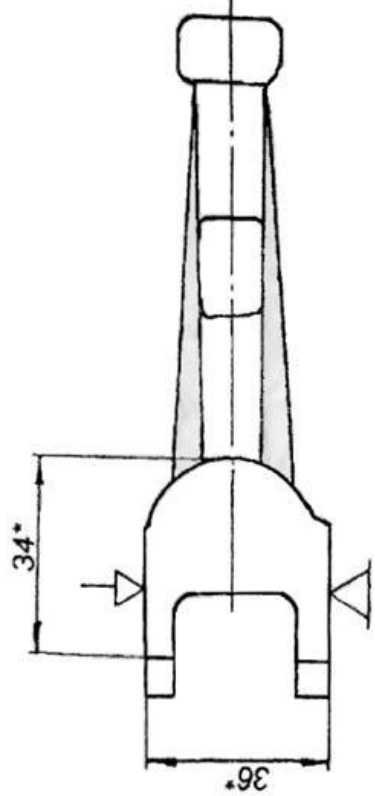
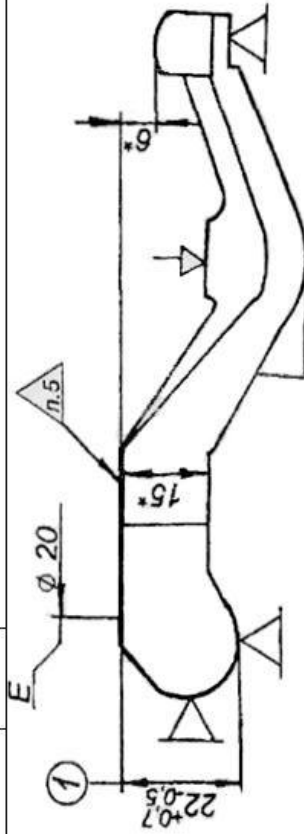




Дубл.									
Взам.									
Подл.									

		1	1	1
Розроб.				
ДНУ ФТФ	92.9811.1230.0003.01.0			
Норм.				

**Важіль**



- 1.\* Розміри для довідок.
2. Допускаються чорноти на поверхні 1 поза зоною E.

## ЗМІСТ

Передмова	3
Практичне заняття 1. Визначення жорсткості системи верстат – пристосування – інструмент – деталь	4
Практичне заняття 2. Аналіз виробничих похибок обробки партії деталей	9
Практичне заняття 3. Розрахунок припусків і операційних розмірів	16
Практичне заняття 4. Розробка технологічного процесу механічної обробки та його документування	37
Практичне заняття 5. Розробка технологічної схеми складання за складальним кресленням або натурним виробом	43
Додаток 1. Оформлення технологічної документації	47
Додаток 2. Приклад оформлення маршрутних і операційних карт механічної обробки	53

Темплан 2013, поз. 7

**Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
із курсу «Технологія машинобудування»**

Укладачі: С.В. Манжеліївський

канд. техн. наук, доц. Д.І. Шевчук

канд. техн. наук В.В. Хуторний

канд. техн. наук, доц. М.М. Убизький

д-р техн. наук, старш. наук. співроб. В.І. Сливинський

канд. техн. наук, доц. О.В. Кулик

Редактор І.І. Стадник

Коректор Т.А. Белиба

Техредактор Л.П. Замятіна

---

Підписано до друку 27.08.13. Формат 60×84/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Ум. друк. арк. 3,5. Ум. фарбовідб. 3,5.  
Обл.-вид. арк. 3,7. Тираж 100 пр. Зам. № .

---

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.

Друкарня «Ліра», пл. Десантників, 1, м. Дніпропетровськ, 49038.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру серія ДП № 14 від 13.07.2000 р.

**ДЛЯ ПОДАТОК**