

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійних та індивідуальних робіт з дисципліни «Розмірні
розрахунки при проектуванні технологічних процесів»
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Технології машинобудування»
усіх форм навчання

2021

Методичні вказівки до самостійних та індивідуальних робіт з дисципліни «Розмірні розрахунки при проектуванні технологічних процесів» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Редакція 3-я; під редакцією Н.В. Гончар, В.О. Логомінова, Л.О. Тумарченко, Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 80 с.

Під редакцією: Н.В. Гончар, доцент каф. ТМБ, канд. техн. наук;
В.О. Логомінов, доцент каф. ТМБ, канд. техн. наук;
Л.О. Тумарченко, асистент каф. ТМБ.

Рецензент: О.Б. Козлова, доцент каф. ТМБ, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: С.І. Дядя, доцент, канд. техн. наук, зав. каф. ТМБ

Затверджено на
засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
протокол № 11 від 24.06.2021 р.

Рекомендовано до видання НМК
машинобудівного факультету
протокол № 6
від 03.09.2021 р.

ЗМІСТ

1 Основні поняття та загальні методичні вказівки.....	4
2 Методика виявлення технологічних розмірних ланцюгів.....	6
3 Вибір метода розв'язання розмірного ланцюга.....	8
4 Приклад №1.....	14
5 Приклад №2.....	31
Перелік посилань.....	42
Додаток А. Індивідуальні завдання	47

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

У масовому і серійному виробництві оброблення заготовок здійснюється, як правило, на заздалегідь налагоджених верстатах, що дозволяє забезпечувати автоматичне отримання необхідних розмірів деталей.

При проєктуванні технологічного процесу (ТП) механічної обробки на кожну операцію розробляють операційний ескіз, а для багатоінструментальної обробки розробляють також схеми налагодження або розрахунково-технологічні карти. У цій документації технолог вказує умовними позначками поверхні базування і закріплення, на поверхні обробки показує розміри і допуски, шорсткість, технічні вимоги. Всі ці характеристики якості поверхні можуть бути проміжними (тобто включати припуск під наступну обробку) або остаточними. Проміжні показники якості встановлюються технологом і тому називаються технологічними, на відміну від конструкторських (остаточних), які конструктор встановлює при проєктуванні виробу.

У цих Методичних вказівках мова йде про визначення лінійних технологічних розмірів довжини, висоти, глибини тощо.

При обробленні поверхонь, пов'язаних з іншими поверхнями лінійними розмірами і технічними вимогами, слід враховувати, що в цьому процесі беруть участь дві поверхні, одна з них підлягає обробленню, а друга є поверхнею, від якої має бути витриманий потрібний лінійний розмір. Остання поверхня має назву виміральної бази.

При обробленні на налагоджуваних верстатах є ще налагоджувальна база, тобто поверхня на верстаті або пристрої, від якої встановлюється (налагоджується) різальний інструмент або упор верстата. У багатьох випадках виміральною базою не співпадає з налагоджувальною базою, що, як відомо, приводить до похибок базування.

При розробленні ТП механічної обробки кожного разу доводиться розв'язувати проблему вибору баз. Базування заготовок є багатоваріантною задачею. Як призначити технологічні розміри і, перш за все, налагоджувальні, які дозволили б при мінімальних витратах досягти заданої точності отриманих розмірів, якщо при

цьому немає можливості виконати основні принципи базування – правило єдності і правило постійності баз.

Всі ці запитання вирішує технолог за допомогою розмірного аналізу [1-5].

Під розмірним аналізом розуміють сукупність графо-аналітичних процедур, які здійснюються при розробленні ТП механічної обробки. Це – метод виявлення і фіксування розмірних зв'язків оброблюваної заготовки, а також методи розв'язання розмірних ланцюгів.

В задачі розмірного аналізу ТП входить визначення:

а) технологічних розмірів і допусків;

б) граничних значень припусків і розрахунок розмірів заготовки;

г) найбільш раціональної послідовності обробки окремих поверхонь деталей. Які забезпечують потрібну точність лінійних розмірів.

Розв'язання всіх цих задач можливе на підставі виявлення і розрахунку технологічних розмірних ланцюгів. Для виявлення технологічних ланцюгів необхідно розробити ТП механічної обробки заготовки і на його основі скласти розмірну схему ТП.

Розмірний аналіз ТП проводять після визначення способу одержання заготовки, розроблення МОП і МВД, схем установки і обробки, вибору технологічного устаткування, визначення мінімальних припусків $z_{i \min}$.

2 МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Виявлення розмірних ланцюгів проводять за допомогою карти розмірного аналізу в такій послідовності:

2.1. Підготувати форму (бланк) карти розмірного аналізу (див. приклад) .

2.2 У графі «ескізи, схеми» накреслити:

2.2.1. Операційні ескізи, схеми обробки по кожній операції і позиції із зазначенням баз, оброблюваних поверхонь і технологічних розмірів. Технологічний розмір на операційному ескізі і розмірній схемі ТП показують стрілкою з точкою, де точка – є вимірювальна база, стрілка – оброблювана поверхня.

2.2.2. Ескіз заготовки із зазначенням необхідних розмірів.

2.3. У графі «розмірна схема ТП»:

2.3.1. Накреслити ескіз (зручний, із збільшеними або зменшеними поверхнями довжини) деталі в одній проєкції. Для тіл обертання припустиме накреслити половину деталі по осі симетрії. Для корпусних деталей можуть бути необхідними декілька проєкцій в залежності від розташування розмірів.

2.3.2. Над ескізом деталі показати конструкторські розміри довжини з допусками. Конструкторські розміри позначають A_γ , де γ – порядковий номер конструкторського розміру.

2.3.3. На ескізі деталі на торцеві поверхні (поверхні, пов'язані лінійними розмірами і технічними вимогами) нанести припуски відповідно з кількістю раніше прийнятих переходів (див. МОП і МОЗ). Припуск позначають z_ξ , де ξ - номер поверхні, до якої відноситься припуск.

2.3.4. Всі поверхні заготовки з урахуванням стадії її обробки нумерують зліва направо. Номер кожної поверхні показують внизу під ескізом на горизонтальній лінії.

2.3.5. Через нумеровані поверхні провести вертикальні лінії.

2.3.6. Між вертикальними лініями провести розмірні лінії технологічних розмірів. Технологічні розміри позначають S_w , де W - порядковий номер лінійного технологічного розміру, починаючи з першої операції механічної обробки і закінчуючи останньою

операцією. Розміри заготовки позначають буквою ζ_q , де q - порядковий номер розміра заготовки.

2.4. У графі «схеми розмірних ланцюгів» накреслити схеми технологічних розмірних ланцюгів.

2.4.1. Виявлення технологічних розмірних ланцюгів по розмірній схемі ТП починати з останньої операції, тобто по схемі зверху вниз. В такій же послідовності виконують і розрахунки розмірних ланцюгів. При цьому необхідно, щоб у кожному новому ланцюзі був невідомим тільки один розмір – одна ланка.

2.4.2. Замикаючою ланкою в технологічних розмірних ланцюгах є, як правило, конструкторський розмір, який безпосередньо не виконується в самій операції, або припуск z_ξ . Якщо технологічний розмір співпадає з конструкторським, то отримаємо дволанковий розмірний ланцюг. Замикаючі ланки на всіх схемах показують у квадратних дужках.

Виявлення розмірних ланцюгів безпосередньо на розмірній схемі ТП в деяких випадках може бути дуже складним завданням, тому що технологічні розмірні ланцюги є пов'язаними розмірними ланцюгами. Тому необхідно дотримуватись правила, щоб кожен розмірний ланцюг мав тільки один конструкторський розмір або один розмір припуску, які є замикаючими ланками технологічних розмірних ланцюгів.

Технологічні розмірні ланцюги виявляють за допомогою такого правила: Технологічний розмірний ланцюг з невідомою замикаючою або складовою ланкою (припуском, технологічним розміром, конструкторським розміром тощо) виявляють, ідучи від оброблюваної поверхні до відповідної технологічної бази на даній операції, і далі від бази до поверхні, відносно якої її обробили на попередній операції тощо, до поверхні заготовки, яку використовують як технологічну базу на першій операції. Якщо при цьому технологічний ланцюг буде не замкненим, то його побудову завершують одним або декількома розмірами заготовки, які зв'язують замикаючу ланку з поверхнею технологічної бази.

2.4.3. Зробити обхід всіх розмірних контурів, і переконатися у тому, що ланцюги замкнені, після чого записати їхні рівняння.

Потім виконати розрахунки і аналіз отриманих результатів (див. приклади).

3 ВИБІР МЕТОДА РОЗВ'ЯЗАННЯ РОЗМІРНОГО ЛАНЦЮГА

Відомо, що існує два методи розв'язання розмірних ланцюгів: метод максимуму-мінімуму (max-min) та ймовірнісний метод.

Метод максимуму-мінімуму гарантує повну відсутність браку (відмови), потребує менше інформації про складові ланки i , відповідно, має меншу трудомісткість розрахунків. Цей метод допускає можливість будь-якого, часто небажаного сполучення граничних значень складових ланок розмірного ланцюга. Ймовірність виникнення таких сполучень при обробці заготовок невелика, однак при цьому доводиться робити більш жорсткими допуски складових ланок.

Ймовірнісний метод позбавлений цього недоліку. Він враховує закономірність розподілу отриманих при обробці розмірів. Допуски складових ланок, розраховані цим методом, не мають зайвого запасу точності, що зрештою дозволяє знижувати витрати на механічну обробку. Разом з тим ймовірнісний метод розрахунку допускає можливість браку, є більш складним і трудомістким.

Метод розв'язання технологічних розмірних ланцюгів вибирають в залежності від кількості складових ланок розмірного ланцюга. Якщо кількість складових ланок $n \leq 4$, то розрахунок проводять за методом max-min. У випадку, коли $n \geq 5$, розрахунок проводять ймовірнісним методом.

Методика розрахування технологічних розмірних ланцюгів залежить також від того, є замикаючою ланкою розмір припусака чи конструкторський розмір.

3.1. Основні розрахункові формули теорії розмірних ланцюгів наведено нижче.

Номінальне значення замикаючої ланки:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_i = \sum_{j=1}^{n_j} A_j - \sum_{\eta=1}^{n_{\eta}} A_{\eta},$$

де A_i – складова ланка розмірного ланцюга;

$i=1,2,3, \dots, n$ – номер складової ланки;

A_j – збільшувальна ланка розмірного ланцюга;

$j=1,2,3,\dots,n_j$ – номер збільшуваної складової ланка;
 A_η – зменшувальна ланка розмірного ланцюга;
 $\eta=1,2,3,\dots,n_\eta$ – номер зменшувальної складової ланки;
 $n=n_j+n_\eta$ – кількість складових ланок розмірного ланцюга.

Збільшувальна ланка – це ланка, при збільшенні якої замикаюча ланка збільшується при незмінності останніх складових ланок.

Зменшувальна ланка – це ланка, при збільшенні якої замикаюча ланка зменшується при незмінності останніх складових ланок.

Граничні значення замикаючої ланки:

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^{n_j} A_{j \max} - \sum_{\eta=1}^{n_\eta} A_{\eta \min}$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^{n_j} A_{j \min} - \sum_{\eta=1}^{n_\eta} A_{\eta \max}$$

Допуск замикаючої ланки:

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^n TA_i = \sum_{j=1}^{n_j} TA_j + \sum_{\eta=1}^{n_\eta} TA_\eta = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min}$$

Методика розрахування технологічних розмірних ланцюгів залежить від того, чи є замикаючою ланкою розмір припуску чи конструкторський розмір.

3. 2 Розрахункові формули, коли замикаючою ланкою розмірного ланцюга є припуск

У технологічних розмірних ланцюгах часто зустрічається припуск як складова ланка. Таку ланку слід приймати замикаючою, тому що припуск безпосередньо не отримують при обробці, а також тому, що припуск акумулює похибки попередніх переходів.

Щоб виключити можливість отримання при розрахунках $z_i \leq 0$, слід користуватися при розрахунках $z_{i \min}$, а не номінальним значенням z_i .

Мінімальний розмір припуску визначають за таблицями довідкової літератури або за формулою:

$$z_{i\min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$$

де i – номер технологічного переходу по МОП.

Визначивши тим чи іншим методом $Z_{i\min}$, складають рівняння розмірного ланцюга відносно $Z_{i\min}$:

$$Z_{i\min} = \sum_{j=1}^{n_j} S_{j\min} - \sum_{v=1}^{n_v} S_{v\max}$$

де $S_{j\min}$ – мінімальний розмір збільшувальної ланки розмірного ланцюга;

$S_{v\max}$ – максимальний розмір зменшувальної ланки;

n_j – кількість збільшувальних ланок;

n_v – кількість зменшувальних ланок розмірного ланцюга.

Оскільки в кожному розмірному ланцюгові має бути тільки одна невідома складова ланка, то задача розв'язання наведеного вище рівняння полягає в тому, щоб знайти невідому ланку, яка при цьому може бути або збільшувальною, або зменшувальною. Позначимо шуканий розмір через S_x .

Якщо шуканий розмір є зменшувальною ланкою, то її величина дорівнює:

$$S_{xv\max} = \sum_{j=1}^{n_j} S_{j\min} - \sum_{v=1}^{n_{v-1}} S_{v\max} - Z_{i\min}$$

Якщо ж шуканий розмір є збільшувальною ланкою, то:

$$S_{xj\min} = Z_{i\min} - \sum_{j=1}^{n_{j-1}} S_{j\min} + \sum_{v=1}^{n_v} S_{v\max}$$

Визначивши величину $S_{x\nu\max}$ і $S_{xj\min}$, встановлюють допуск TS_x в залежності від призначення технологічного переходу (за відомим МОП). Граничні відхилення EsS_x і EIS_x призначають, звичайно, як h , H або Js .

Визначають номінальний розмір шуканої ланки:

$$\begin{aligned} S_{xj} &= S_{xj\min} + EIS_x \\ S_{x\nu} &= S_{x\nu\max} - EsS_x \end{aligned}$$

Далі визначаємо номінальний розмір припуску і його найбільший граничний розмір $Z_{i\max}$. Для цієї мети складається вихідне рівняння розмірного ланцюга відносно Z_i з вказівкою для всіх складових ланок граничних відхилень. На підставі цього рівняння обчислюється сума номінальних розмірів і граничні відхилення окремо для збільшувальних і зменшувальних ланок.

$$Z_i = \left(\sum_{j=1}^{n_j} S_j \right)_{\sum_j EsS_j}^{\sum_j EIS_j} - \left(\sum_{\nu=1}^{n_\nu} S_\nu \right)_{\sum_\nu EsS_\nu}^{\sum_\nu EIS_\nu}$$

За різницею номінальних розмірів збільшувальних і зменшувальних ланок визначають номінальний розмір припуску:

$$z_i = \sum_j S_j - \sum_\nu S_\nu,$$

А за різницею підсумків граничних відхилень збільшувальних і зменшувальних ланок визначають граничні розміри припуску Z_i і отже, $Z_{i\max}$:

$$EsZ_i = \sum_j EsS_j - \sum_\nu EIS_\nu,$$

$$EIZ_i = \sum_j EIS_j - \sum_v EsS_v ,$$

тобто для визначення граничних відхилень Z_i необхідно виконувати віднімання сум за схемою хрест-навхрест. Наприклад:

$$Z = 100_{-0.4}^{+0} - 97_{-0.9}^{+0} = 3 \left(\begin{matrix} 0 & -0 \\ -0.4 & -0.9 \end{matrix} \right) = 3_{-0.4}^{+0.9},$$

тобто $Z_{\min} = 2,6$; $Z_{\max} = 3,9$.

Граничні значення припуску:

$$Z_{i_{\max}} = Z_i + EsZ_i ,$$

$$Z_{i_{\min}} = Z_i - EIZ_i .$$

Це є контрольне правило, тому що $Z_{i_{\max}}$ відома, прийнята величина.

3.3 Розрахункові формули, коли замикаючою ланкою є конструкторський розмір

Якщо замикаючою ланкою розмірного ланцюга є конструкторський розмір A , то розрахунок такого технологічного ланцюга зводиться до визначення номінального розміру, допуску і граничних відхилень шуканого розміру складової ланки по відомим значенням номінальних розмірів, допусків і граничних відхилень замикаючої ланки і складових ланок ланцюга.

Номінальне значення шуканої ланки:

для збільшувальних складових ланок:

$$S_{xj} = A_{\Delta} - \sum_{j=1}^{n_j-1} S_j + \sum_{v=1}^{n_v} S_v ,$$

для зменшувальних складових ланок:

$$S_{xv} = \sum_{j=1}^{n_j} S_j + \sum_{v=1}^{n_v-1} S_v - A_{\Delta} .$$

Допуск шуканої ланки:

$$T_x S_{\Delta} \sum_{i=1}^{n-1}$$

Граничне відхилення шуканої ланки:

– для збільшувальних складових ланок:

$$EsS_{x_j} = EsA_{\Delta} + \sum_{v=1}^{n_v} EIS_v - \sum_{j=1}^{n_{j-1}} EsS_j,$$

$$EIS_{x_j} = EiA_{\Delta} + \sum_{v=1}^{n_v} EsS_v - \sum_{j=1}^{n_{j-1}} EIS_j,$$

– для зменшувальних складових ланок:

$$EsS_{x_v} = \sum_{j=1}^{n_j} EIS_j - \sum_{v=1}^{n_{v-1}} EsS_v - EIA_{\Delta},$$

$$EIS_{x_v} = \sum_{j=1}^{n_j} EsS_j - \sum_{v=1}^{n_{v-1}} EIS_v - EsA_{\Delta}.$$

4 ПРИКЛАД №1

Постановка задачі. Розрахувати технологічні розміри S_w і Z_q та максимальні значення припусків Z_ξ^{\max} , необхідних для реалізації ТП виготовлення втулки, рис. 4.1.

Вихідні дані. Деталь – втулка. Матеріал – чавун СЧ-15-32. Заготовка – відливка в кокіль, I класу точності за ГОСТ 1855-85, рис. 4.1. Виробництво серійне. Установлено маршрути обробки (МОП) торцевих поверхонь і маршрут виготовлення деталі (МВД), а також призначено припуски і допуски в залежності від стадії обробки поверхні.

Допуски і граничні відхилення:

$$TS_7 = 0.06 \Rightarrow h9(-0.06)$$

$$TS_6 = 0.1 \Rightarrow h10(-0.1)$$

$$TS_5 = 0.13 \Rightarrow js11(\pm 0.065)$$

$$TS_4 = 0.25 \Rightarrow h12(-0.25)$$

$$TS_3 = 0.25 \Rightarrow js12(\pm 0.125)$$

$$TS_2 = 0.16 \Rightarrow h11(-0.16)$$

$$TS_1 = 0.25 \Rightarrow h12(-0.25)$$

$$TZ_1 = TZ_2 = 2(\pm 1.0)$$

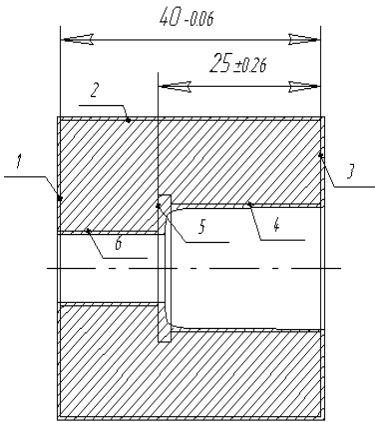


Рисунок 4.1- Ескіз деталі
(втулки)
з контурами заготовки і
технологічною розміткою
поверхонь

МОП-1:
1.Заготовка
2.Точіння
чорнове
3.Точіння
чистове

МОП-5:
1.Заготовка
2.Точіння
чорнове
3.Точіння
чистове

МОП-3:
1.Заготовка
2.Точіння
чорнове
3.Точіння
чистове
4.Шліфування

МВД:
1.Заготівельна
2.Токарна
(з однієї сторони)
3.Токарна
(з другої
сторони)
4.Шліфувальна

Припуски:

$$Z_{шл}^{\min} = Z_7^{\min} = 0.2 \text{ мм}$$

$$Z_{точ.чист.}^{\min} = Z_3^{\min} = Z_4^{\min} = Z_8^{\min} = 0.5 \text{ мм}$$

$$Z_{точ.чорн}^{\min} = Z_2^{\min} = Z_5^{\min} = Z_9^{\min} = 1.2 \text{ мм}$$

Розв'язання прикладу

4.1. Підготовляємо форму таблиці-карти розрахунку технологічних розмірів виготовлення деталі, див. таблицю-карту 4.1.

4.2. У графі «Розмірна схема ТП» виконуємо ескіз деталі (зручний, зменшений-збільшений) із лінійними розмірами і прикладеними припусками.

4.3. На виконаному ескізі через торцеві поверхні, що утворюються в процесі виготовлення деталі, проводимо вертикальні лінії на все поле таблиці-карти. На горизонтальній лінії під ескізом точками фіксуємо ці вертикальні лінії і позначаємо їх арабськими цифрами зліва направо – $\xi = 1, 2, 3, \dots, 10$. Нижче цієї горизонтальної лінії для зручності виявлення замкнутих розмірних контурів показуємо конструкторські розміри A_γ .

4.4. У графі «Операційний ескіз-схема обробки» креслимо схеми обробки заготовки, починаючи із останньої операції. Показуємо осьову опорну, настроювальну базу, елементи різального інструмента і технологічні настроювальні розміри S_w . Позначаємо ці розміри, починаючи з першої операції механічної обробки, див. таблицю-карту 4.1. Виконуємо ескіз заготовки і проставляємо лінійні розміри заготовки Z_q .

4.5. Заповнюємо графу «Номер і найменування операції».

4.6. Переносимо розмірні відрізки S_w і C_q із операційних ескізів-схем обробки на розмірну схему ТП так, щоб точка розмірного відрізка знаходилась на відповідній базовій поверхні – вертикальній лінії, а стрілка підходила до вертикальної лінії-поверхні, яку обробляють.

4.7. На розмірній схемі ТП виявляємо технологічні розмірні ланцюги і у графі «Схеми розмірних ланцюгів» креслимо схеми цих розмірних ланцюгів.

4.7.1. Перед виявленням технологічних розмірних ланцюгів необхідно виконати перевірку розмірної схеми ТП на відповідність певним умовам [5]:

- сума технологічних розмірних відрізків S_w і Z_q на розмірній схемі ТП повинна дорівнювати сумі розмірних відрізків конструкторських розмірів A_γ і припусків Z_ξ , або $K + m = l + p$;

- кількість вертикальних ліній на розмірній схемі ТП має дорівнювати $N = K + m + 1 = l + p + 1$;

- до кожної вертикальної лінії – торцевої поверхні на розмірній схемі ТП (окрім ліній поверхонь заготовки) повинна підходити тільки одна стрілка розмірного відрізка S_w ;

- як конструкторський розмір A_γ , так і припуск Z_ξ повинні входити в технологічний розмірний ланцюг тільки 1 раз і при цьому або тільки A_γ , або тільки Z_ξ ;

- рекомендується зверху над розрахунковою таблицею-картою (чи на окрему аркуші) написати рядок усіх відомих ланок, що є замикаючими: $A_1, A_2, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_7, Z_8, Z_9$ і рядок усіх невідомих технологічних розмірів: $S_7, S_6, S_5, S_4, S_3, S_2, S_1, Z_2, Z_1$; потім коли буде виявлено замкнутий розмірний контур, викреслювати із цих рядків ланку, яка увійшла у розмірний контур. Це виконують з метою, щоб забезпечити обов'язкову участь кожного A_γ і Z_ξ в технологічних розмірних ланцюгах, а також необхідність участі і визначення кожного невідомого технологічного розміру S_w і Z_q (щоб не пропустити);

- на схемах розмірних ланцюгів розмірні відрізки слід показувати тільки з однією стрілкою. При цьому стрілки розмірних відрізків на схемах повинні бути направленими за годинниковою чи проти годинникової стрілки;

- при виявленні технологічних розмірних зв'язків необхідно керуватись таким процедурним правилом: «стаємо» на початок – точку невідомого шуканого розмірного відрізка S_w і ставимо запитання, як із точки шуканого відрізка «прийти» в стрілку, переміщуючись при цьому не по самому відрізку, тобто знайти

розмірний зв'язок – замкнутий розмірний контур, в який входить шуканий S_w .

4.7.2. Виявлення (пошук) замкнутих розмірних контурів із невідомими S_w і Z_q розпочинають із останньої операції (переходу) ТП.

4.7.2.1. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_7 , що знаходиться між вертикальними лініями 3 і 7 розмірної схеми ТП.

«Стаємо» в точку шуканого відрізка S_7 , розташованого на вертикальній лінії 3; установлюємо, який розмірний відрізок підходить до цієї вертикальної лінії. Бачимо, що до вертикальної лінії 3 підходить розмірний відрізок A_1 , який другим кінцем підходить до вертикальної лінії 7, тобто знайшли замкнутий розмірний контур: $S_7 \Rightarrow [A_1]$. У графі «Схеми розмірних ланцюгів» креслимо схему розмірного ланцюга: проводимо дві вертикальні лінії 3 і 7 і між ними проводимо спочатку відрізок S_7 , а потім замикаємо розмірний контур відрізком A_1 . Отримали дволанковий розмірний ланцюг, що є свідченням того, що настроювальна і вимірювальна бази суміщені – правило єдності баз дотримано. З метою контролю із записаного рядка конструкторських розмірів A_γ і припусків Z_ξ викреслюємо використаний (той, що увійшов в технологічний розмірний ланцюг, як замикаюча ланка) A_1 , а також шуканий технологічний розмір S_7 .

4.7.2.2. Виявлення замкнутого розмірного контуру із технологічним розміром S_6 . «Стаємо» в точку невідомого відрізка S_6 і шукаємо шлях до вертикальної лінії 8, до якої підходить стрілка. Підійти до вертикальної лінії 8 можна по відрізках S_7 і Z_7 . Маємо замкнутий розмірний контур: $S_6 \Rightarrow S_7 \Rightarrow [Z_7]$. Будуємо схему розмірного ланцюга: проводимо дві вертикальні лінії 3 і 8, між ними розміщуємо відрізок S_6 , потім замикаємо контур відрізками S_7 і Z_7 . Викреслюємо S_6 і Z_7 із контрольних рядків.

4.7.2.3. Виявлення замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_5 . Точка шуканго відрізка S_5 знаходиться на вертикальній лінії 8, а стрілка підходить до вертикальної лінії 4. Установлюємо, який розмірний відрізок підходить до вертикальної лінії 4. Це відрізок A_2 . Тепер «стаємо» в точку відрізка S_5 , дивимось і ставимо запитання, як «пройти» до вертикальної лінії 4 не по самому відрізку. Вийти із вертикальної лінії 8 можливо по розмірному відрізку S_6 , який дає можливість підійти до вертикальної лінії 3, потім по відрізку S_7 підійти до вертикальної лінії 7 і далі по відрізку A_2 підійти до вертикальної лінії 4, тобто є замкнутий розмірний контур: $S_5 \Rightarrow S_6 \Rightarrow S_7 \Rightarrow [A_2]$. Викреслюємо A_2 і S_5 із контрольних рядків.

4.7.2.4. Замкнутий розмірний контур із технологічним розміром S_4 виявляємо аналогічно S_6 : $S_4 \Rightarrow S_6 \Rightarrow [Z_8]$, див. схему розмірного ланцюга в розрахунковій таблиці – карті 4.1. Аналогічно виявляються розмірні контури для визначення S_2 , S_1 , Z_1 .

4.7.2.5. Пошук замкнутого розмірного контуру із технологічним розміром S_3 . Розмірний відрізок S_3 знаходиться між вертикальними лініями 9 і 5: точка на лінії 9, а стрілка підходить до вертикальної лінії 5. Окрім того, установлюємо, що до стрілки S_3 підходить розмірний відрізок Z_4 . «Стаємо» в точку S_3 і шукаємо шлях до вертикальної лінії 5. Вийти із лінії 9 можна по відрізку S_4 , далі по відрізкам S_6 і S_5 підійти до лінії 4 і потім по відрізку – припуску Z_4 підійти до лінії 5. Маємо замкнутий розмірний контур $S_3 \Rightarrow S_4 \Rightarrow S_5 \Rightarrow S_6 \Rightarrow [Z_4]$.

Будуємо схему розмірного ланцюга: проводимо дві вертикальні лінії 9 і 5 і розміщуємо між ними шуканий відрізок S_3 . Потім нижче проводимо розмірний відрізок S_4 , зліва обмежений вертикальною лінією 3. Далі зверху проводимо горизонтальний відрізок S_6 , який закінчується біля лінії 8, від якої нижче проводимо

відрізок S_5 , котрий закінчується біля лінії 4. Між вертикальними лініями 4 і 5 знаходиться відрізок – припуск Z_4 . Розмірний ланцюг замкнувся. На розмірній схемі усі стрілки відрізків спрямовуємо в одному напрямку – проти годинникової стрілки.

4.7.2.6. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром Z_2 . Розмір заготовки Z_2 на розмірній схемі ТП знаходиться між вертикальними лініями 10 і 6. До лінії 6 і відповідно до розміру Z_2 зліва підходить відрізок – припуск Z_5 , який знаходиться між лініями 5 і 6. «Стаємо» в стрілку Z_2 на лінії 10 і шукаємо шлях до лінії 5, до якої підходить відрізок Z_2 . Маємо три можливості виходу із лінії 10: по розмірним відрезкам Z_1 і S_1 прийдемо в глухий кут, а якщо підемо по розмірному відрезку S_2 , то прийдемо до лінії 3, звідки по відрезкам S_4 і S_3 підійдемо до вертикальної лінії 5, тобто до відрезка Z_5 , котрий підходить до Z_2 . Отримали замкнутий розмірний контур: $Z_2 \Rightarrow S_2 \Rightarrow S_4 \Rightarrow S_3 \Rightarrow [Z_5]$. Усі 9 невідомих технологічних розмірів увійшли складовими ланками в 9 технологічних розмірних ланцюгів, замикаючими ланками яких є 2 конструкторських розмірів і 7 призначених мінімальних припусків Z_{ξ}^{\min} .

4.7.3. Розглянемо альтернативний варіант базування заготовки альтернативний варіант постановки технологічних (настроювальних) розмірів.

В першому, розглянутому вище, варіанті установки для настроювання різальних інструментів послідовно використовуються 4 поверхні: 10, 3, 9, 8, 3.

Заготовку установлюють в 3-х кулачковий патрон із опорною осью базою по 10-й чорновій поверхні і обробляють начорно і начисто лівий торець втулки – отримують поверхню 3. Потім установлюють заготовку так, щоб осью базою була оброблена поверхня 3, і обробляють начорно правий торець – отримують поверхню 9. Далі від поверхні 9 настроюють різець на обробку начорно внутрішнього торця – поверхні 5. Потім начисто обробляють правий зовнішній торець – отримують поверхню 8, далі від поверхні 8

настроюють різець на обробку начисто внутрішнього торця – отримують поверхню 4 і канавку. Остаточню правий торець оброблюють шліфуванням при базуванні по поверхні 3, отримуючи поверхню 7.

Другий альтернативний варіант простановлення технологічних, настроювальних розмірів передбачає використання осьової опорної бази – поверхні 3 для налагоджування різців як для підрізання зовнішнього торця, так і для підрізання внутрішнього торця, тобто усі технологічні розміри S_3^* , S_4^* , S_5^* , S_6^* будуть проставлені від однієї настроювальної бази. В цьому варіанті технологічні розміри проставлені координатним способом, на відміну від ланцюгового способу у першому варіанті. Розмірні відрізки S_4^* і S_6^* співпадають із відрізками S_4 і S_6 . А розмірні відрізки S_3^* і S_5^* - не співпадають, мають принципову відмінність.

4.7.3.1. Пошук замкнутого розмірного контуру із технологічним розміром S_5^* . Шуканий відрізок S_5^* знаходиться на розмірній схемі ТП між вертикальними лініями 3 і 4. «Стаємо» в точку S_5^* і шукаємо шлях до лінії 4. Тут слід зауважити, що до лінії 4 підходить відрізок A_2 . Від лінії 3 підійти до лінії 4 можна по відрізках S_7 і A_2 . Маємо замкнутий розмірний контур: $S_5^* \Rightarrow S_7 \Rightarrow [A_2]$. Порівнюючи отриманий замкнутий розмірний контур з аналогічним у першому варіанті простановлення технологічних розмірів бачимо, що розмірний ланцюг має меншу кількість складових ланок, тобто розмірний зв'язок став меншої довжини (коротше). Це слід сприймати як позитивний результат, тому що при цьому зменшується допуск замикаючої ланки.

4.7.3.2. Пошук замкнутого розмірного контуру із технологічним розміром S_3^* . Шуканий відрізок S_3^* знаходиться між лініями 3 і 5. Точка відрізка S_3^* знаходиться на вертикальній лінії 3, як і відрізка S_5^* . Тому підійти до лінії 5 можна по відрізку S_5^* і припуску Z_4 . Маємо замкнутий розмірний контур: $S_3^* \Rightarrow S_5^* \Rightarrow [Z_4]$, який суттєво коротше – має меншу кількість складових ланок, ніж в

першому варіанті простановлення технологічних розмірів. В першому варіанті розмірний ланцюг має 5 ланок, а у другому, альтернативному мінімальну кількість – 3 ланки.

4.7.3.3. Пошук замкнутого розмірного контуру із технологічним розміром Z_2^* . «Стаємо» в стрілку Z_2^* на лінії 10 і шукаємо шлях до лінії 6, до якої підходить відрізок – припуск Z_5 . Виходимо із вертикальної лінії 10 через відрізок S_2 , далі відрізки S_3^* і Z_5 . Маємо замкнутий розмірний контур: $Z_2^* \Rightarrow S_2 \Rightarrow S_3^* \Rightarrow [Z_5]$, що має менше складових ланок, ніж перший варіант. А це означає, що менше буде максимальне значення припуску Z_5^{\max} .

Схеми виявлених технологічних розмірних ланцюгів див. у розрахунковій таблиці-карті 4.1.

4.8. Заповнюємо графі: «Визначити», «Замикаюча ланка» і «Допуск».

4.8.1. У графі «Визначити» записуємо в послідовності від останньої до першої операцій позначення технологічних розмірів S_w і Z_q , які визначають у виявленій ланці.

4.8.2. У графі «Замкнута ланка» записуємо позначення та числове значення замикаючої ланки, які увійшли у виявлений розмірний ланцюг - A_γ чи Z_ξ^{\min} .

4.8.3. У графі «Допуск» записуємо допуски на відповідні технологічні розміри.

4.9. У графі «Рівняння розмірних ланцюгів» записуємо вихідні рівняння технологічних розмірних ланцюгів.

Замикаючою ланкою в технологічних розмірних ланцюгах є конструкторський розмір A_γ чи припуск Z_ξ , відповідно і вихідні рівняння записуються відносно цих відомих ланок. При цьому необхідно урахувати, що відомою є величина мінімального припуску Z_ξ^{\min} . Тому відносно цієї мінімальної величини визначеного припуску Z_ξ^{\min} необхідно записувати вихідне рівняння.

Нижче наведено вихідні рівняння, записані за виявленими схемами технологічних розмірних ланцюгів:

I варіант

1. $[A_1] = S_7$;
2. $[Z_7^{\min}] = S_6^{\min} - S_7^{\max}$;
3. $[A_2] = S_5 - S_6 + S_7$;
4. $[Z_8^{\min}] = S_4^{\min} - S_6^{\max}$;
5. $[Z_4^{\min}] = S_5^{\min} - S_6^{\max} + S_4^{\min} - S_3^{\max}$;
6. $[Z_9^{\min}] = S_2^{\min} - S_4^{\max}$;
7. $[Z_3^{\min}] = S_1^{\min} - S_2^{\max}$;
8. $[Z_2^{\min}] = Z_1^{\min} - S_1^{\max}$;
9. $[Z_5^{\min}] = S_3^{\min} - S_4^{\max} + S_2^{\min} - Z_2^{\max}$.

Альтернативні рівняння розмірних ланцюгів – II варіант:

- 3*. $[A_2] = S_7 - S_5^*$;
- 5*. $[Z_4^{\min}] = S_3^{*\min} - S_5^{*\max}$;
- 9*. $[Z_5^{\min}] = S_2^{\min} - S_3^{*\max} - Z_2^{*\max}$;

4.10. Розв'язання технологічних розмірних ланцюгів – визначення невідомих технологічних розмірів S_w і Z_q та максимальних значень припусків Z_ξ^{\max} (пряма, проектна задача) і процедури перевірки отриманих рішень.

Визначити технологічний розмір S_w і Z_q - це означає, що необхідно знайти (призначити) виконавчий розмір, який необхідно проставити на операційному ескізі чи кресленні заготовки. А також визначити максимальне значення припуску Z_ξ^{\max} , яке необхідно при

призначенні режимів різання. Розрахунок ведуть починаючи із останнього переходу механічної обробки і закінчують розмірами заготовки.

4.10.1. Визначаємо технологічний розмір S_7 .

Із вихідного рівняння $[A_1] = S_7$ знаходимо $S_7 = A_1 = 40_{-0.06}$.

Отриманий результат заносимо в таблицю – карту 4.1.

4.10.2. Визначаємо технологічний розмір S_6 .

Із вихідного рівняння - $[Z_7^{\min}] = S_6^{\min} - S_7^{\max}$ знаходимо:

$$S_6^{\min} = [Z_7^{\min}] + S_7^{\max} = 0.2 + 40 = 40.2 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір будемо проставляти в системі «*h*». Допуск i , відповідно, граничні відхилення призначаємо по $h10$, тобто $TS_6 = 0.1 \text{ мм}$ і $EiS_6 = -0.1 \text{ мм}$, $EsS_6 = 0$. Визначаємо номінальне значення шуканого розміру S_6 :

$$S_6^{\text{ном}} = S_6^{\max} = S_6^{\min} - EiS_6 = 40.2 - (-0.1) = 40.3 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_6 = 40.3_{-0.1}$.

Отриманий результат заносимо в розрахункову таблицю-карту 4.1.

Знаходимо Z_7^{\max} . Скористаємось виразом $Z_\xi = \sum_i S_i - \sum_v S_v$,

тобто запишемо вихідне рівняння у виконавчих розмірах складових ланок:

$$Z_7 = S_6 - S_7 = 40.3_{-0.1} - 40_{-0.06} = 0.3_{-0.1}^{-(0.06)} = 0.3_{-0.1}^{+0.06}.$$

Виконуємо перевірку – визначаємо мінімальне значення припуску:

$$Z_7^{\min} = 0.3 - 0.1 = 0.2 \text{ мм}$$

(контрольне правило підтверджується).

Визначаємо максимальне значення припуску:

$$Z_7^{\max} = 0.3 + 0.06 = 0.36 \text{ мм}$$

Отриманий результат заносимо у відповідну графу таблиці.

4.10.3. Визначаємо технологічний розмір S_5 .

Із вихідного рівняння $[A_2] = S_5 - S_6 + S_7$ знаходимо номінальне значення шуканого технологічного розміру:

$$S_5 = A_2 + S_6 - S_7 = 25 + 40.3 - 40 = 25.3 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір будемо проставляти в «js» (так проставив конструктор на кресленні). Допуск на цей розмір, що отримуємо при чистовому точінні, по js11: $TS_5 = 0.13; \pm \frac{TS_5}{2} = (\pm 0.065)$.

Виконавчий розмір $S_5 = 25.3 \pm 0.065$.

Перевірка. Перевіримо, чи буде забезпечений при цьому конструкторський розмір $A_2 = 25 \pm 0.26$ у відповідності з вимогами креслення.

Запишемо вихідне рівняння у виконавчих розмірах складових ланок і, відповідно, отримаємо виконавчий розмір замикаючої ланки:

$$\begin{aligned} [A_2] &= S_5 - S_6 + S_7 = 25.3 \pm 0.065 - 40.3_{-0.1} + 40_{-0.06} = \\ &= 25_{-0.065-0.06}^{+0.065-(-0.1)} = 25_{-0.125}^{+0.165} \end{aligned}$$

$$T[A_2] = 0.29 < TA_2 = 0.52, \text{ що прийнято.}$$

Як бачимо, конструкторський розмір A_2 буде забезпечуватись як за номінальним розміром, так і за допуском і граничними відхиленнями, які у $[A_2]$, як замикаючої ланки, менше, ніж це передбачив конструктор $TA_{2\Delta} = 0.29 < TA_2 = 0.52$. Тому призначені технологічні розміри S_7 , S_6 і S_5 слід прийняти до виконання, як такі, що забезпечують отримання конструкторських розмірів A_1 і A_2 .

4.10.4. Визначаємо технологічний розмір S_4 .

Із вихідного рівняння $[Z_8^{\min}] = S_4^{\min} - S_6^{\max}$ знаходимо технологічний розмір на чорнове точіння торця:

$$S_4^{\min} = Z_8^{\min} + S_6^{\max} = 0.5 + 40.3 = 40.8 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір будемо проставляти в системі «h». Допуск на чорнове точіння зовнішнього торця призначили по $h12$, тобто $TS_4 = 0.25$ і $EiS_4 = -0.25$.

Визначаємо номінал технологічного розміру S_4 :

$$S_4^{ном} = S_4^{\min} - EiS_4 = 40.8 - (-0.25) = 41.05 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір $S_4 = 41.05_{-0.25}$.

Отриманий результат заносимо в розрахункову таблицю.

Знаходимо Z_8^{\max} . Запишемо вихідне рівняння у виконавчих розмірах:

$$Z_8 = S_4 - S_6 = 41.05_{-0.25} - 40.3_{-0.1} = 0.75_{-0.25}^{+0.1}, \text{ звідки:}$$

$$Z_8^{\min} = 0.75 - 0.25 = 0.5 \text{ мм} - \text{контрольне правило підтверджується;}$$

$$Z_8^{\max} = 0.75 + 0.1 = 0.85 \text{ мм}.$$

Отримані результати заносимо в розрахункову таблицю.

Аналогічно визначаємо: S_2 , S_1 , Z_1 .

4.10.5. Визначаємо технологічний розмір S_3 .

Із вихідного рівняння $[Z_4^{\min}] = S_5^{\min} + S_4^{\min} - S_6^{\max} - S_3^{\max}$ знаходимо технологічний розмір S_3^{\max} :

$$\begin{aligned} S_3^{\max} &= S_5^{\min} + S_4^{\min} - S_6^{\max} - Z_4^{\min} = 25.235 + 40.8 - 40.3 - 0.5 \\ &= 25.235 \text{ мм} \end{aligned}$$

Виконавчий розмір будемо проставляти по $js12$ - точіння чорнове $TS_2 = 0.25$ або (± 0.125) . Визначаємо номінал розміру S_3 :

$$S_3^{ном} = S_3^{\max} - EsS_3 = 25.235 - 0.125 = 25.11 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір $S_3 = 25.11 \pm 0.125$.

Знаходимо граничні значення припуску Z_4 :

$$Z_4 = S_5 + S_4 - S_6 - S_3 = 25.3 \pm 0.065 + 41.05_{-0.25} - 40.3_{-0.1} - 25.11 \pm 0.125 = 0.94_{-0.065-0.25-(0+0.125)}^{+0.065+0-(-0.1-0.125)} = 0.94_{-0.44}^{+0.29}, \text{ звідки:}$$

$Z_4^{\min} = 0.94 - 0.44 = 0.5 \text{ мм}$ - контрольне правило підтверджує правильність виконаних розрахунків, тому що Z_4^{\min} дорівнює призначеному припуску $Z_4^{\min} = 0.5 \text{ мм}$

$$Z_4^{\max} = 0.94 + 0.29 = 1.23 \text{ мм}$$

4.10.6. Визначаємо технологічний розмір Z_2 .

Із вихідного рівняння $[Z_5^{\min}] = S_3^{\min} + S_2^{\min} - S_4^{\max} - Z_2^{\max}$ знаходимо:

$$Z_2^{\max} = S_3^{\min} + S_2^{\min} - S_4^{\max} - Z_5^{\min} = 25.985 + 42.25 - 41.05 - 1.2 = 24.985 \text{ мм}$$

Граничні відхилення і допуск призначаємо як для відливки - $TZ_2 = 2(\pm 1,0)$.

Визначаємо номінал розміру заготовки – відливки:

$$Z_2^{\text{ном}} = Z_2^{\max} - EsZ_2 = 24,985 - 1,0 = 23,985 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $Z_2 = 23,985 \pm 1,0$.

Знаходимо граничні значення припуску Z_5 :

$$Z_5 = S_3 + S_2 - S_4 - Z_2 = 25,11 \pm 0,125 + 42,41_{-0,16} - 41,05_{-0,25} - 24,285_{-1,3}^{+0,7} = 2,185_{-0,125-0,16-(-0+0,7)}^{+0,125+0-(-0,25-1,3)} = 2,185_{-0,985}^{+1,675}, \text{ звідки:}$$

$Z_5^{\min} = 2.185 - 0.985 = 1.2 \text{ мм}$ - контрольне правило виконується;

$$Z_5^{\max} = 2.185 + 1.675 = 3.86 \text{ мм}$$

4.10.7. Розв'язання альтернативних технологічних розмірних ланцюгів – другий варіант вибору технологічних (настроювальних) баз і простановлення технологічних розмірів.

4.10.7.1. Визначаємо технологічний розмір S_5^* .

Із вихідного рівняння $[A_2] = S_7 - S_5^*$ знаходимо номінальне значення технологічного розміру S_5^* :

$$S_5^{*ном} = S_7 - A_2 = 40.3 - 25 = 15.3 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення і допуск цього розміру, що отримують після точіння чистового, призначаємо по $js11$, тобто $TS_5^* = 0.11$ або (± 0.055) .

Виконавчий розмір $S_5^* = 15.3 \pm 0.055$.

Перевіримо, чи буде забезпечений при цьому конструкторський розмір A_2 у відповідності з вимогами креслення:

$$A_{2\Delta} = S_7 - S_5^* = 40.3_{-0.1} - 15.3 \pm 0.055 = 25_{-0.155}^{+0.055},$$

тобто допуск $TA_{2\Delta} = 0.21 < TA_2 = 0.52$. В першому варіанті $TA_{2\Delta} = 0.29$ мм.

4.10.7.2. Визначаємо технологічний розмір S_3^* .

Із вихідного рівняння $[Z_4^{\min}] = S_3^{*\min} - S_5^{*\max}$ знаходимо:

$$S_3^{*\min} = Z_4^{\min} + S_5^{*\max} = 0.5 + 15.355 = 15.855 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення і допуск технологічного розміру $S_3^{*\min}$ призначаємо по $js12$, тобто $TS_3^* = 0.18$ або (± 0.09) .

Визначаємо номінал шуканого технологічного розміру:

$$S_3^{*ном} = S_3^{*\min} + |EiS_3^*| = 15.855 + 0.09 = 15.945 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_3^* = 15.945 \pm 0.09$.

Знаходимо граничні значення припуску Z_4^* :

$$Z_4^* = S_3^* - S_5^* = 15.945 \pm 0.09 - 15.3 \pm 0.055 =$$

$$0.645^{+0.09-(-0.055)}_{-0.09-(-0.055)} = 0.645^{+0.145}_{-0.145}, \text{ тобто } 0.645 \pm 0,145 \text{ звідки:}$$

$$Z_4^{*\min} = 0.645 - 0.145 = 0.5 \text{ мм} - \text{ контрольне правило виконується,}$$

$$Z_4^{*\max} = 0.645 + 0.145 = 0.79 \text{ мм}.$$

Порівнюючи значення цього припуску, бачимо, що $Z_4^{*\max} = 0.79 < Z_4^{\max} = 1.23 \text{ мм}$. Це сталося внаслідок зменшення кількості складових ланок альтернативного розмірного ланцюга – скорочення розмірного зв'язку ТП.

4.10.7.3. Визначаємо технологічний розмір Z_2^* .

Із вихідного рівняння $[Z_5^{\min}] = S_2^{\min} - S_3^{*\max} - Z_2^{*\max}$ знаходимо:

$$Z_2^{*\max} = S_2^{\min} - S_3^{*\max} - Z_5^{\min} = 42.25 - 16.035 - 1.2 = 25.015 \text{ мм}$$

Граничні відхилення і допуск технологічного розміру Z_2^*

призначаємо як для виливки - $TZ_2^* = 2(\pm 1,0)$. Визначаємо номінал технологічного розміру Z_2^* :

$$Z_2^{*\text{ном}} = Z_2^{*\text{серед}} = Z_2^{*\max} - EiZ_2 = 25,015 - 1 = 24,015 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $Z_2^* = 24,015 \pm 1$.

Знаходимо граничні значення припуску Z_5^* :

$$\begin{aligned} Z_5^* &= S_2 - S_3^* - Z_2^* = 42.41_{-0.16} - 15.945 \pm 0.09 - 24.015 \pm 1 \\ &= 2.45^{+1.09}_{-1.25} \end{aligned}$$

$$Z_5^{*\min} = 2.45 - 1.25 = 1.2 \text{ мм} - \text{ контрольне правило виконується;}$$

$$Z_5^{*\max} = 2.45 + 1.09 = 3.54 \text{ мм}$$

Як бачимо, значення максимального припуску $(Z_5^{*\max} = 3.54 < Z_5^{\max} = 3.86)$ менше, ніж в першому варіанті простановлення технологічних розмірів.

4.11. Висновки. Розрахунки і аналіз виконаних рішень показали:

- отримані значення технологічних розмірів забезпечують необхідну точність заданих конструкторських розмірів;

- отримані максимальні значення припусків Z_{ξ}^{\max} не перевищують граничні значення глибини різання;

- альтернативний (другий варіант) простановлення технологічних розмірів слід вважати більш раціональним, тому що при цьому скорочуються розмірні зв'язки ТП, внаслідок чого зменшуються максимальні припуски Z_{ξ}^{\max} .

5 ПРИКЛАД №2

Постановка задачі. Розрахувати технологічні розміри Sw і Zq та максимальні значення припусків Z_{qmax} , необхідних для реалізації ТП виготовлення вала-шестерні.

Вихідні дані: Деталь: вал-шестерня на рис. 5.1. Матеріал - Сталь 40. Заготовка - поковка нормальної точності на рис. 5.2, група сталі - М1, ступінь складності - С1. Значення відхилень заготовки взято в [1, табл.3.3, стр.13].

Установлено маршрути обробки (МОП) торцевих поверхонь і маршрут виготовлення деталі (МВД), а також призначено припуски і допуски в залежності від стадії обробки поверхні. Мінімальні припуски на обробку торцевих поверхонь взято в [1, табл.4.9...4.10, стр.41], а допуски назначено у відповідності з [1, табл.3.1, стр.10]. Данні занесено до табл. 5.1.

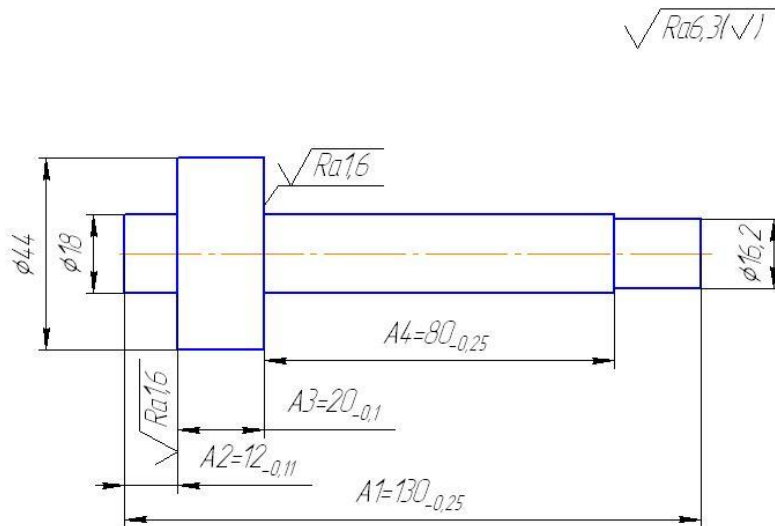


Рисунок 5.1 - Ескіз деталі вал-шестерня

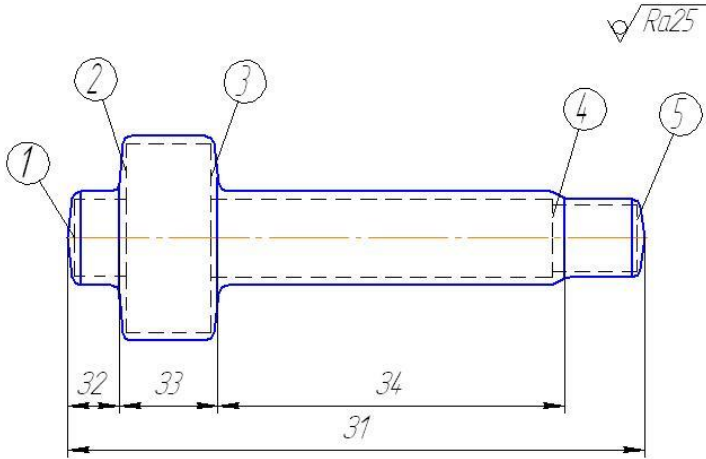
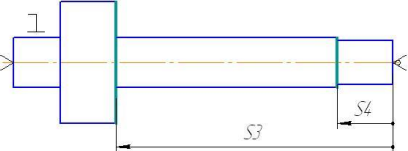
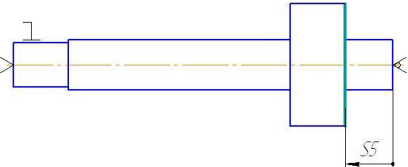
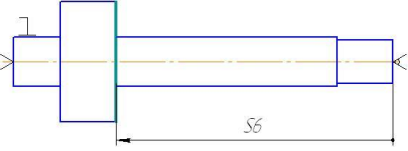





Рисунок 5.2 - Ескіз заготовки з контурами деталі і технологічною розміткою основних поверхонь

Таблиця 5.1-Вихідні данні для розрахунків технологічних розмірів

№ операції	Найменування і короткий зміст операції	Операційний ескіз, схема налагоджування	Допуск	Припуск, що знімається
1	2	3	4	5
005	Заготівельна		$T_{z1}=2,2$ $T_{z2}=2,2$ $T_{z3}=2,2$ $T_{z4}=2,2$	-
010	Фрезерно-центрувальна		$T_{s1}=0,25$ $T_{s2}=0,25$	$Z_9=1,0$ $Z_1=1,0$

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5
015	Токарна чорнова		$Ts3=0,74$ $Ts4=0,13$	$z2=1,0$ $Z3=1,5$
020	Токарна чорнова		$Ts5=0,74$	$z8=1,5$
025	Токарна чистова		$Ts6=0,46$	$Z4=0,7$
030	Токарна чистова		$Ts7=0,46$	$Z7=0,7$
035	Шліфувальна		$Ts8=0,19$	$Z5=0,4$
040	Шліфувальна		$Ts9=0,19$	$Z6=0,4$

Розв'язання

Виявлення розмірних ланцюгів проводять за допомогою карти розмірного аналізу в такій послідовності:

5.1. Підготувати форму карти розмірного аналізу.

5.2. У графі "розмірна схема ТП" накреслити ескіз деталі із лінійними розмірами і прикладеними припусками позначають $Z\xi$, де ξ -номер поверхні, до якої відноситься припуск.

5.3. На ескізі деталі показати конструкторські розміри довжини з допущами.

Конструкторські розміри позначають $A\gamma$, де γ - порядковий номер конструкторського розміру.

5.4. У графі "операційний ескіз-схема обробки" креслимо схеми обробки заготовки, починаючи із останньої операції. Показуємо осьову опорну, настроювальну базу, технологічні розміри S_w , де w - порядковий номер лінійного технологічного розміру, починаючи з першої операції механічної обробки і закінчуючи останньою операцією.

5.5. Виконуємо ескіз заготовки і проставляємо лінійні розміри заготовки $3q$, де q - порядковий номер розміру заготовки.

5.6. Переносимо розмірні відрізки S_w , $3q$ із операційних ескізів-схем обробки на розмірну схему ТП так, щоб точка розмірного відрізка знаходилась на відповідній базовій поверхні-вертикальній лінії, а стрілка підходила до вертикальної лінії-поверхні, котру обробляють.

5.7. На розмірній схемі ТП виявляємо технологічні розмірні ланцюги. Перед виявленням технологічних розмірних ланцюгів необхідно виконати перевірку розмірної схеми ТП на відповідність певним умовам:

- кількість лінійних конструкторських розмірів $A\gamma$ плюс кількість відомих мінімальних припусків $Z\xi$ повинні дорівнювати кількості невідомих технологічних розмірів S_w плюс пошукова кількість лінійних розмірів заготовки $3q$:

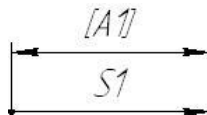
$$A\gamma + Z\xi = 3q + S_w \text{ або } K + m = l + p;$$

- кількість вертикальних ліній на розмірній схемі ТП має дорівнювати:

$$N = K + m + l = l + p + l;$$

- як конструкторський розмір $A\gamma$, так і припуск $Z\xi$ повинні входити в технологічний розмірний ланцюг 1 раз і при цьому лише $A\gamma$, або лише $Z\xi$.
- при виявленні технологічних розмірних зв'язків необхідно керуватись таким процедурним правилом: "стаємо" на початок – точку невідомого шуканого розмірного відрізка S_w і ставимо запитання, як із точки шуканого відрізка: "прийти" в стрілку, переміщуючись при цьому не по самому відрізку, тобто знайти розмірний зв'язок – замкнутий розмірний контур, в який входить шуканий S_w .
- пошук замкнутих розмірних контурів із невідомими S_w і $3q$ розпочинають із останньої операції ТП.

5.8. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром $S1$, що знаходиться між вертикальними лініями 2 і 13 розмірної схеми. "Стаємо" в точку шуканого відрізка $S1$, розташованого на лінії 2, установлюємо, який розмірний відрізок підходить до цієї вертикальної лінії. Бачимо, що до вертикальної лінії 2 підходить розмірний відрізок $[A1]$ -конструкторський розмір, який другим кінцем підходить до вертикальної лінії 13, тобто утворено замкнутий розмірний контур: $S1 \rightarrow [A1]$. Отримали двохланковий розмірний ланцюг, що є свідченням того, що настроювальна і вимірювальна база суміщені – правило єдності баз дотримано.



$$S_1 = [A_1] = 130_{-0,25}$$

$$S_1^{\max} = 130 \text{ мм}$$

$$S_1^{\min} = 129,75 \text{ мм}$$

5.9. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_2 , що знаходиться між вертикальними лініями 2 і 14 розмірної схеми. "Стаємо" в точку шуканого відрізка S_2 , розташованого на лінії 2, установлюємо, який розмірний відрізок підходить до цієї вертикальної лінії.



$$[Z_9^{\min}] = S_2^{\min} - S_1^{\max},$$

де $[Z_9^{\min}]$ - замикаюча ланка, відома величина;

S_2 - складова збільшувальна ланка, невідома величина;

S_1 - складова зменшувальна ланка, відома величина;

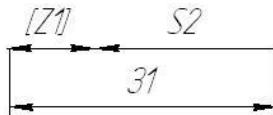
$$S_2^{\min} = S_1^{\max} + [Z_9^{\min}] = 130 + 1,0 = 131 \text{ мм}$$

$$S_2^{\max} = S_2^{\min} + TS_2 = 131 + 0,25 = 131,25 \text{ мм}$$

$$Z_9^{\max} = S_2^{\max} - S_1^{\min} = 131,25 - 129,75 = 1,5 \text{ мм}$$

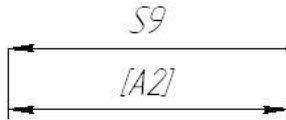
$$S_2 = 131,25_{-0,25}$$

5.10. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_1 , що знаходиться між вертикальними лініями 1 і 14 розмірної схеми.



$$\begin{aligned}
 [Z_1^{\min}] &= Z_1^{\min} - S_2^{\max} \\
 Z_1^{\min} &= S_2^{\max} + [Z_1^{\min}] = 131,25 + 1,0 = 132,25 \text{ мм} \\
 Z_1^{\max} &= Z_1^{\min} + TS_{Z_1} = 132,25 + 2,2 = 134,45 \text{ мм} \\
 Z_1^{\max} &= Z_1^{\max} - S_2^{\min} = 134,45 - 131 = 3,45 \text{ мм} \\
 Z_1^H &= Z_1^{\max} - es = 134,45 - 1,5 = 132,95 \text{ мм} \\
 Z_1 &= 132,95_{-0,7}^{+1,5} \text{ мм}
 \end{aligned}$$

5.11. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_9 , що знаходиться між вертикальними лініями 9 і 13 розмірної схеми. "Стаємо" в точку шуканого відрізка S_9 і шукаємо шлях до вертикальної лінії 9, до якої підходить стрілка.

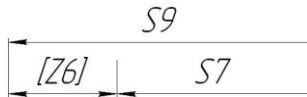


$$S_9 = [A_2] = 12_{-0,11}$$

$$S_9^{\max} = 12 \text{ мм}$$

$$S_9^{\min} = 11,89 \text{ мм}$$

5.12. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_7 , що знаходиться між вертикальними лініями 10 і 13 розмірної схеми.



$$[Z_6^{\min}] = S_9^{\min} - S_7^{\max},$$

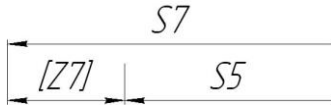
$$S_7^{\max} = S_9^{\min} - [Z_6^{\min}] = 11,89 - 0,4 = 11,49 \text{ мм}$$

$$S_7^{\min} = S_7^{\max} - TS_7 = 11,49 - 0,46 = 11,03 \text{ мм}$$

$$Z_6^{\max} = S_9^{\max} - S_7^{\min} = 12 - 11,03 = 0,7 \text{ мм}$$

$$S_7 = [S_7^{\max}]_{-TS_7} = 11,49_{-0,46} \text{ мм}$$

5.13. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_5 , що знаходиться між вертикальними лініями 11 і 13 розмірної схеми.



$$[Z_7^{\min}] = S_7^{\min} - S_5^{\max},$$

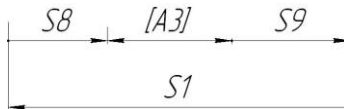
$$S_5^{\max} = S_7^{\min} - [Z_7^{\min}] = 11,03 - 0,7 = 10,33 \text{ мм}$$

$$S_5^{\min} = S_5^{\max} - TS_5 = 10,33 - 0,74 = 9,59 \text{ мм}$$

$$Z_7^{\max} = S_7^{\max} - S_5^{\min} = 11,49 - 9,59 = 1,9 \text{ мм}$$

$$S_5 = [S_5^{\max}]_{-TS_5} = 10,33_{-0,74} \text{ мм}$$

5.14. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_8 , що знаходиться між вертикальними лініями 2 і 8 розмірної схеми.



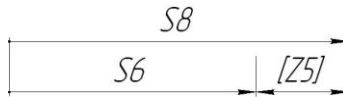
$$[A_3] = S_1^{\min} - S_9^{\min} - S_8^{\max},$$

$$S_8^{\max} = S_1^{\min} - S_9^{\min} - [A3] = 129,75 - 11,89 - 20 = 97,86 \text{ мм}$$

$$S_8^{\min} = S_8^{\max} - TS8 = 97,86 - 0,19 = 97,67 \text{ мм}$$

$$S_8 = [S_8^{\max}]_{-TS8} = 97,86_{-0,19} \text{ мм}$$

5.15. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_6 , що знаходиться між вертикальними лініями 2 і 7 розмірної схеми.



$$[Z_5^{\min}] = S_8^{\min} - S_6^{\max},$$

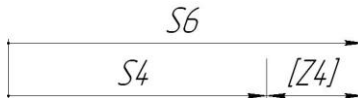
$$S_6^{\max} = S_8^{\min} - [Z_5^{\min}] = 97,67 - 0,4 = 97,27 \text{ мм}$$

$$S_6^{\min} = S_6^{\max} - TS6 = 97,27 - 0,46 = 97,01 \text{ мм}$$

$$Z_5^{\max} = S_8^{\max} - S_6^{\min} = 97,86 - 97,01 = 0,85 \text{ мм}$$

$$S_6 = [S_6^{\max}]_{-TS6} = 97,27_{-0,46} \text{ мм}$$

5.16. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром S_4 , що знаходиться між вертикальними лініями 2 і 6 розмірної схеми.



$$[Z_4^{\min}] = S_6^{\min} - S_4^{\max}$$

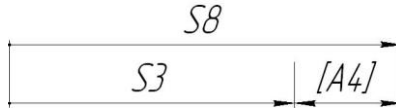
$$S_4^{\max} = S_6^{\min} - [Z_4^{\min}] = 97,01 - 0,7 = 96,31 \text{ мм}$$

$$S_4^{\min} = S_4^{\max} - TS_4 = 96,31 - 0,13 = 96,18 \text{ мм}$$

$$Z_4^{\max} = S_6^{\max} - S_4^{\min} = 97,27 - 96,18 = 1,09 \text{ мм}$$

$$S_4 = [S_4^{\max}]_{-TS_4} = 96,31_{-0,13} \text{ мм}$$

5.17. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром 31 , що знаходиться між вертикальними лініями 1 і 3 розмірної схеми.



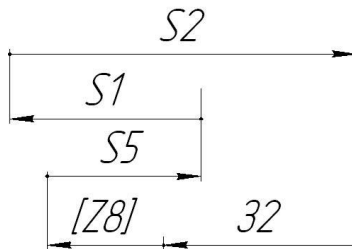
$$[A4] = S_8^{\min} - S_3^{\max}$$

$$S_3^{\max} = S_8^{\min} - [A4] = 97,67 - 80 = 17,67 \text{ мм}$$

$$S_3^{\min} = S_3^{\max} - TS_3 = 17,67 - 0,74 = 16,93 \text{ мм}$$

$$S_3 = [S_3^{\max}]_{-TS_3} = 17,67_{-0,74} \text{ мм}$$

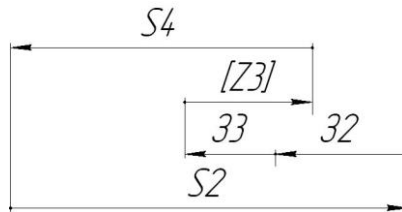
5.18. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром 32 , що знаходиться між вертикальними лініями 12 і 14 розмірної схеми.



$$\begin{aligned}
 [Z_8^{\min}] &= Z_2^{\min} - S_5^{\max} + S_1^{\min} - S_2^{\max} \\
 Z_2^{\min} &= S_5^{\max} - S_1^{\min} + S_2^{\max} + [Z_8^{\min}] = \\
 &= 10,33 - 129,75 + 131,25 + 1,5 = 13,33 \text{ мм} \\
 Z_2^{\max} &= Z_2^{\min} + TS2 = 13,33 + 2,2 = 15,83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_8^{\max} &= Z_2^{\max} - S_5^{\min} + S_1^{\max} - S_2^{\min} = \\
 &= 15,83 - 9,59 + 130 - 131 = 5,24 \text{ мм} \\
 Z_2^H &= Z_2^{\max} - esZ_2 = 15,83 - 1,5 = 14,33 \text{ мм} \\
 Z_2 &= 14,33_{-0,7}^{+1,5} \text{ мм}
 \end{aligned}$$

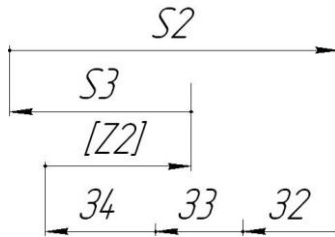
5.19. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром Z_3 , що знаходиться між вертикальними лініями 5 і 11 розмірної схеми.



$$\begin{aligned}
 [Z_3^{\min}] &= S_4^{\min} - S_2^{\max} + Z_2^{\min} + Z_3^{\min} \\
 Z_3^{\min} &= -S_4^{\min} + S_2^{\min} - Z_2^{\min} - [Z_3^{\min}] = \\
 &= -96,18 + 131 - 13,33 - 1,5 = 19,99 \text{ мм} \\
 Z_3^{\max} &= Z_3^{\min} + TS3 = 19,99 + 2,2 = 22,19
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_3^{\max} &= S_4^{\max} - S_2^{\min} + Z_2^{\max} = \\
 &= 96,31 - 131 + 15,83 + 22,19 = 3,33 \text{ мм} \\
 Z_3^H &= Z_3^{\max} - esZ_3 = 22,19 - 1,5 = 20,69 \text{ мм} \\
 Z_3 &= 20,69_{-0,7}^{+1,5} \text{ мм}
 \end{aligned}$$

5.20. Пошук замкнутого розмірного контуру із невідомим технологічним розміром Z_4 , що знаходиться між вертикальними лініями 3 і 5 розмірної схеми.



$$\begin{aligned}
 [Z_2^{\min}] &= S_3^{\min} - S_2^{\max} + Z_2^{\max} + Z_3^{\max} + Z_4^{\max} \\
 Z_4^{\max} &= -S_3^{\min} + S_2^{\max} - Z_2^{\max} - Z_3^{\max} - [Z_2^{\min}] = \\
 &= -16,93 + 131,25 - 15,83 - 22,19 - 1,0 = 75,3 \text{ мм} \\
 Z_4^{\min} &= Z_4^{\max} - TS_4 = 75,3 - 2,2 = 73,1 \\
 Z_2^{\max} &= S_3^{\max} - S_2^{\min} + Z_2^{\min} + Z_3^{\min} + Z_4^{\min} = \\
 &= 17,67 - 131 + 13,63 + 19,99 + 73,1 = 6,61 \text{ мм} \\
 Z_4^H &= Z_4^{\max} - esZ_4 = 75,3 - 1,5 = 73,8 \text{ мм} \\
 Z_4 &= 73,8_{-0,7}^{+1,5} \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Всі розрахунки внесені до таблиці 5.2.

За допомогою розмірного аналізу було визначено: граничні значення технологічних розмірів, допуски по переходам, граничні значення припусків, розміри заготовки та занесені до таблиці 5.2.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

2. Основи технології машинобудування [Навчальний посібник] / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко. – Запоріжжя: ОАО „Мотор Січ”, 2003. – 336с. Рудь В.Д., Герасимчук О.О., Маркова Т.П.

3. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій. Навч. посібник.- Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2008 - 344с.

4. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування» та ін. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» та ін. всіх форм навчання // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 3-є). Під ред. Гончар Н.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 61 с.

5. Кравченко, Л. С. Розмірний аналіз при проєктуванні, виготовленні і складанні [Електронний ресурс] : навч. посібник для студ. машинобудівних спеціальностей / Л. С. Кравченко: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» - Електронні текстові дані - Харків : НТУ «ХПІ», 2009 - 356 с. ISBN 978-966-593-750-0

6. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К.: ІСДО, 1993. - 544с.

7. Основи теорії розмірних ланцюгів для рішення задач технології машинобудування. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5201615/>

8. Розмірні ланцюги. Навчальний посібник. Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/26135/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%BC%D1%96%D1%80%D0%BD%D1%96%20%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%8E%D0%B3%D0%B8.pdf>

9. Tolerance analysis of 2-D and 3-D dimensional chains. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis3d/help/en/tolanalysis3d.htm>

10. Tolerance analysis - How to perform one. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=oSL3E0IKonA>

Карти-схеми до прикладу №1 (табл. 4.1) та до прикладу №2
(табл. 5.1 з продовженням).

Таблиця 4.1 - Розрахунок технологічних розмірів виготовлення втулки

Номер і найменування операції	Операційні ескізи-схеми обробки	Розмірна схема ТП	Схеми розмірних ланцюгів	Визначення ланки	Замикаюча ланка	Вихідні рівняння розмірних ланцюгів	Допуск	Виконавчий розмір	Припуски
Оп.4 Шліф.				S ₇	A ₁ = 40 _{-0.06}	[A ₁] = S ₇	0.06	S ₇ = 40 _{-0.06}	—
Оп.3 Токарн.				S ₆	Z ₇ ^{min} = 0.2	[Z ₇ ^{min}] = S ₆ ^{min} - S ₇ ^{max}	0.1	S ₆ = 40.3 _{-0.1}	Z ₇ ^{min} = 0.2 Z ₇ ^{max} = 0.36
Оп.2 Токарн.				S ₅	A ₂ = 25 ± 0.065	[A ₂] = S ₅ - S ₆ + S ₇	0.13	S ₅ = 25.3 ± 0.065	Z ₈ ^{min} = 0.5 Z ₈ ^{max} = 0.85
Оп.1 Загот.				S ₈	Z ₈ ^{min} = 0.5	[Z ₈ ^{min}] = S ₄ ^{min} - S ₆ ^{max}	0.25	S ₄ = 41.5 _{-0.25}	Z ₈ ^{min} = 0.5 Z ₈ ^{max} = 0.85
				S ₄	Z ₄ ^{min} = 0.5	[Z ₄ ^{min}] = S ₅ ^{min} - S ₆ ^{max} + S ₄ ^{min} - S ₃ ^{max}	0.25	S ₃ = 25.11 ± 0.125	Z ₄ ^{min} = 0.5 Z ₄ ^{max} = 1.23
				S ₅ *	A ₂ = 25 ± 0.065	[A ₂] = S ₇ - S ₅ *	0.11	S ₅ * = 15.3 ± 0.055	—
				S ₃ *	Z ₄ ^{min} = 0.5	[Z ₄ ^{min}] = S ^{min*} - S ₅ ^{max*}	0.18	S ₃ * = 15.95 ± 0.09	Z ₄ ^{min} = 0.5 Z ₄ ^{max*} = 0.79
				S ₂	Z ₉ ^{min} = 1.2	[Z ₉ ^{min}] = S ₂ ^{min} - S ₄ ^{max}	0.16	S ₂ * = 42.41 _{-0.16}	Z ₉ ^{min} = 1.2 Z ₉ ^{max} = 1.61
				S ₁	Z ₃ ^{min} = 0.5	[Z ₃ ^{min}] = S ₁ ^{min} - S ₂ ^{max}	0.25	S ₁ = 43.16 _{-0.25}	Z ₂ ^{min} = 1.2 Z ₂ ^{max} = 3.45
				3 ₁	Z ₂ ^{min} = 1.2	[Z ₂ ^{min}] = 3 ₁ ^{min} - S ₁ ^{max}	2	3 ₁ = 45.36 ± 1.0	Z ₂ ^{min} = 1.2 Z ₂ ^{max} = 3.45
				3 ₂	Z ₅ ^{min} = 1.2	[Z ₅ ^{min}] = S ₃ ^{min} - S ₄ ^{max} + S ₂ ^{min} - 3 ₂ ^{max}	2	3 ₂ = 23.99 ± 1.0	Z ₅ ^{min} = 1.2 Z ₅ ^{max} = 3.86
				3 ₂ *	Z ₅ ^{min} = 1.2	[Z ₅ ^{min}] = S ₂ ^{min} - S ₃ ^{max*} - 3 ₂ ^{max*}	2	3 ₂ * = 24.02 ± 1.0	Z ₅ ^{min} = 1.2 Z ₅ ^{max*} = 3.54

Таблиця 5.2- Розрахунок технологічних розмірів виготовлення зчужастого колеса

Операційні послідовні схеми обробки / № операції	Розмірна схема	Схеми розмірних ланцюгів	Визначити	Замікаюча ланка	Вибірні об'єднання розмірних ланцюгів	Допуск	Виконавчий розмір	Граничні розміри		Граничні припуски	
								S _{max}	S _{min}	Z _{max}	Z _{min}
040 Шліфувальна			S1	A1=130_{0,25}	[A1]=S1	0,25	S1=130_{0,25}	130	129,75	-	-
035 Шліфувальна			S2	[Z9] ^{min} =10	[Z9] ^{min} =S2 ^{min} -S1 ^{max}	0,25	S2=131,25_{0,25}	131,25	131	1,5	1,0
030 Чистова токарна			S9	A2=12_{0,11}	[A2]=S9	0,11	S9=12_{0,11}	12	11,89	-	-
025 Чистова токарна			S7	[Z6] ^{min} =0,4	[Z6] ^{min} =S9 ^{min} -S7 ^{max}	0,46	S7=11,49_{0,46}	11,49	11,03	0,7	0,4
020 Чистова токарна			S5	[Z7] ^{min} =0,7	[Z7] ^{min} =S7 ^{min} -S5 ^{max}	0,74	S5=10,33_{0,74}	10,33	9,59	1,9	0,7
015 Чорнова токарна			S6	[Z5] ^{min} =0,4	[Z5] ^{min} =S8 ^{min} -S6 ^{max}	0,46	S6=97,27_{0,46}	97,27	97,01	0,85	0,4
010 Чорнова токарна			S4	[Z4] ^{min} =0,7	[Z4] ^{min} =S6 ^{min} -S4 ^{max}	0,13	S4=96,31_{0,13}	96,31	96,18	1,09	0,7
005 Заготівельна			S3	[A4]=80_{0,25}	[A4]=S8 ^{min} -S3 ^{max}	0,74	S3=17,67_{0,74}	17,67	16,93	-	-
			S2	[Z8] ^{min} =15	[Z8] ^{min} =S2 ^{min} -S5 ^{max} +S1 ^{min} -S2 ^{max}	2,2	S2=14,33_{0,7}^{+15}	15,83	13,33	5,24	1,5

Продовження табл. 5.2

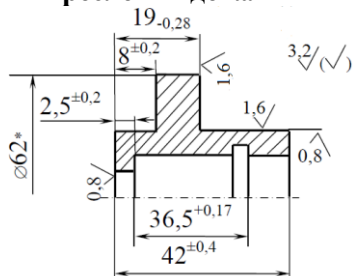
Схеми розмірних ланцюгів	Відношення	Зв'язана ланка	Виділі рівняння розмірних ланцюгів	Допуск	Високабачий розмір	Граничні розміри		Граничні притці	
						Змак	Смак	Змак	Змак
	33	$[Z_3^{(n)}] F=15$	$(Z_1^{(n)} - Z_2^{(n)} - S_1^{(n)} - Z_3^{(n)} + S_2^{(n)})$	2,2	$33 \pm 20,69_{-0,7}^{+1,5}$	22,19	19,99	3,33	1,5
	34	$[Z_2^{(n)}] F=10$	$(Z_1^{(n)} - S_1^{(n)} - S_2^{(n)} - Z_2^{(n)} + S_3^{(n)} + Z_3^{(n)})$	2,2	$34 \pm 7,18_{-0,7}^{+1,5}$	75,3	73,1	6,61	1,0

Додаток А.
Індивідуальні завдання

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

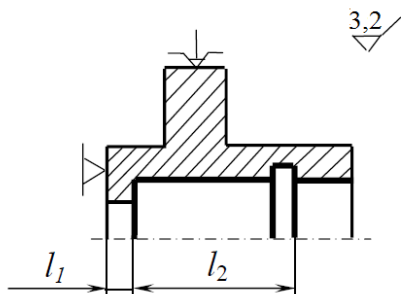
Креслення деталі



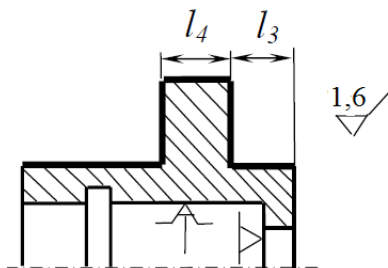
* Розмір для довідок

План обробки (фрагмент)

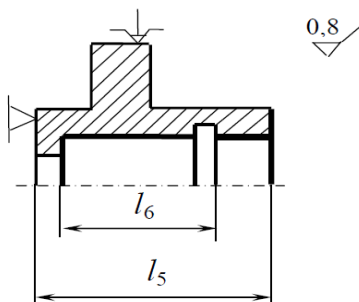
Операція 30. Токарна



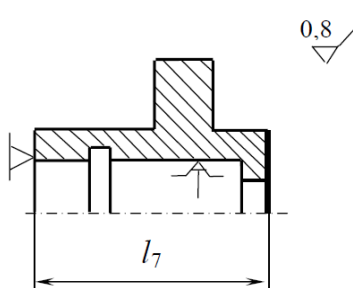
Операція 70. Шліфувальна



Операція 80. Шліфувальна



Операція 85. Шліфувальна

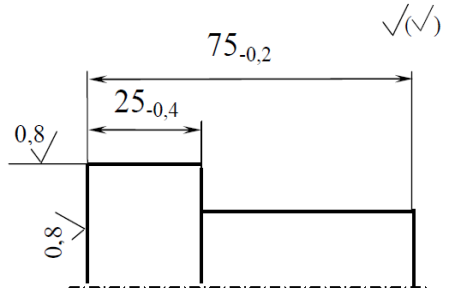


49
Варіант 2

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

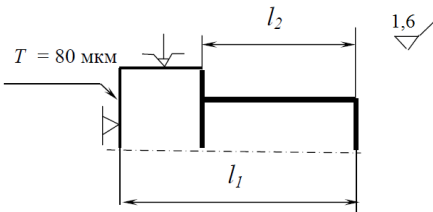
Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри l_1, l_2, l_3, l_4 , що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

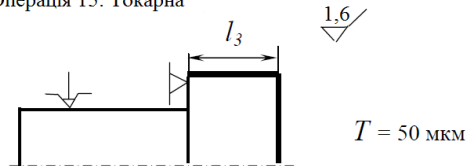


План обробки (фрагмент)

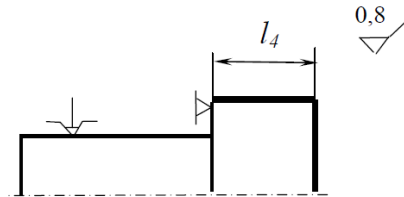
Операція 10. Токарна



Операція 15. Токарна



Операція 20. Шліфувальна

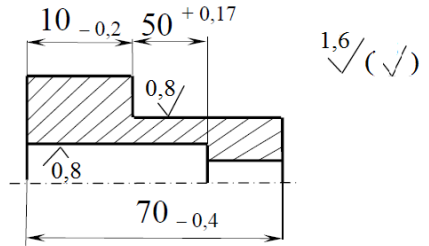


50
Варіант 3

Дано: креслення (ескіз)
деталі та план обробки
(фрагмент).

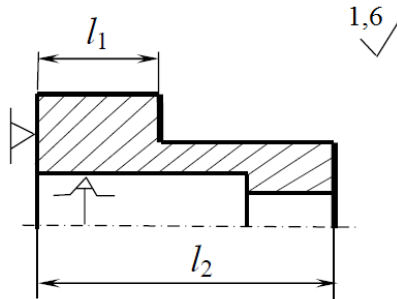
Завдання: надати
технологічний процес у вигляді
математичної моделі (у
графічній та аналітичній
формах) та визначити
операційні розміри l_1, l_2, l_3, l_4 ,
що забезпечують розміри
деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

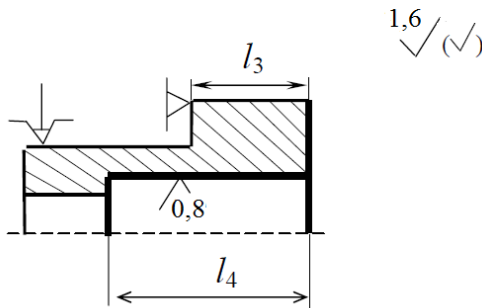


План обробки (фрагмент)

Операція 40. Шліфувальна



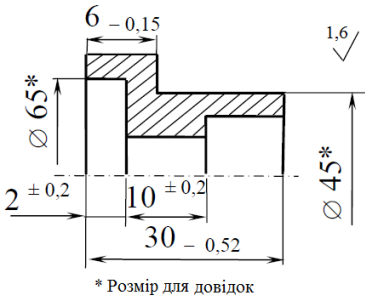
Операція 45. Шліфувальна



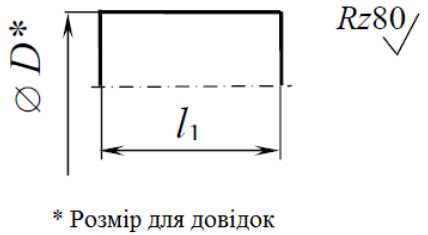
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_{10}$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

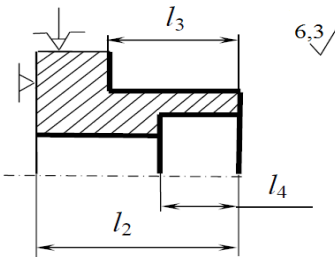


Заготовка

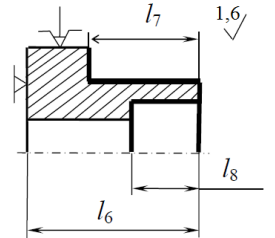


План обробки (фрагмент)

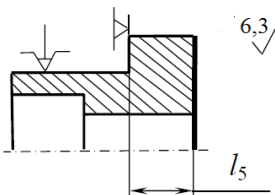
Операція 5. Токарна



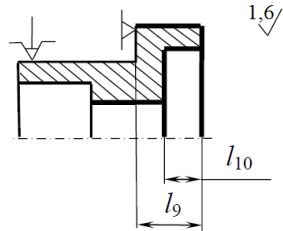
Операція 15. Токарна



Операція 10. Токарна



Операція 20. Токарна

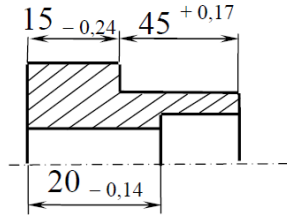


Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри l_1, l_2, l_3, l_4 , що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

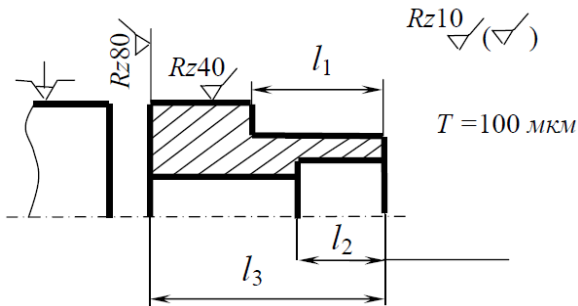
Креслення деталі

Rz10 ✓

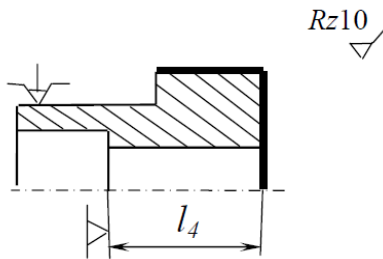


План обробки (фрагмент)

Операція 5. Токарна



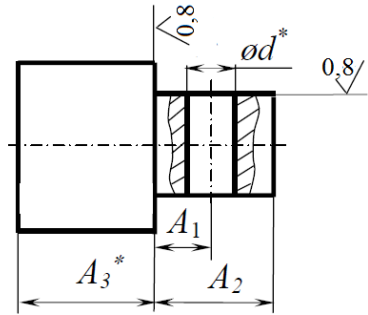
Операція 10. Токарна



Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри l_1 , l_2 , l_3 , що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

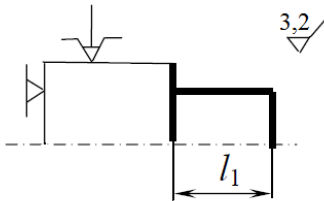


* Розмір для довідок

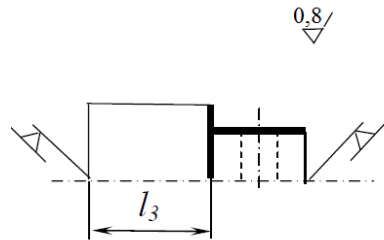
Варіант	1	2	3	4
A_1	$8 \pm 0,1$	$15 \pm 0,2$	$10 \pm 0,25$	$17 \pm 0,3$
A_2	$40_{-0,16}$	$60_{-0,19}$	$60_{-0,16}$	$70_{-0,19}$

План обробки (фрагмент)

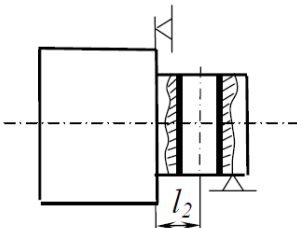
Операція 15. Токарна



Операція 50. Шліфувальна



Операція 30. Свердлильна

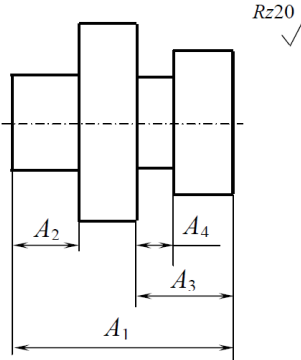


54
Варіант 7

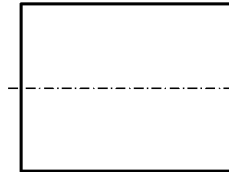
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та два варіанти плану обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант обробки та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_6$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

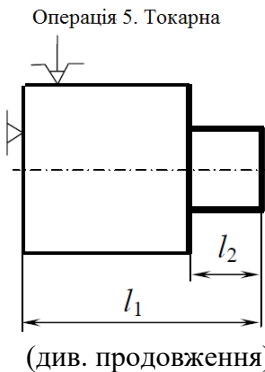


Ескіз заготовки



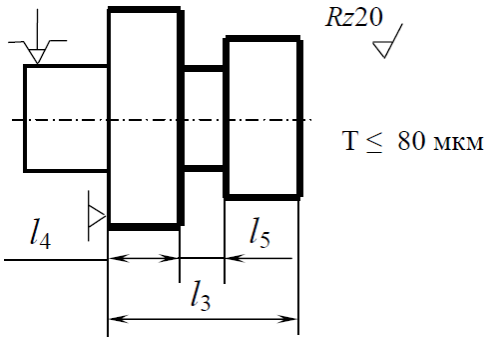
Варіант	A_1	A_2	A_3	A_4
1	$70_{-0,3}$	$20^{+0,21}$	$40^{+0,08}$	$4^{+0,3}$
2	$62^{+0,3}$	$18_{-0,18}$	$35_{-0,08}$	$6_{-0,3}$
3	$59 \pm 0,15$	$22 \pm 0,1$	$42 \pm 0,05$	$5 \pm 0,15$

План обробки (фрагмент)

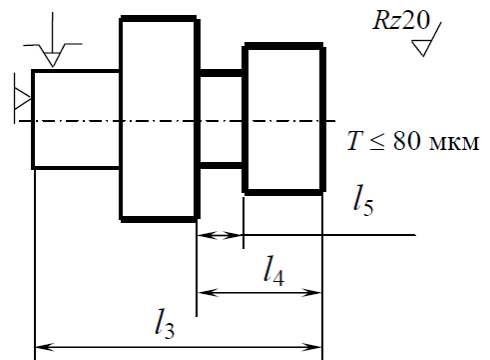
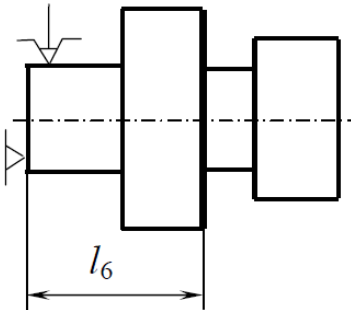
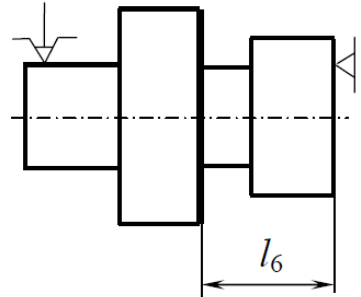


Варіант 7 (продовження)

Операція 10. Токарна. 1 варіант



Операція 10. Токарна. 2 варіант

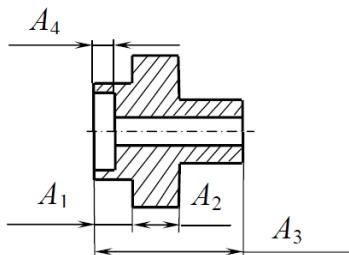
Операція 20. Шліфувальна.
1 варіантОперація 20. Шліфувальна.
2 варіант

56
Варіант 8

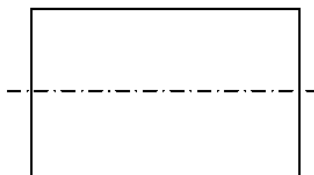
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_6$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

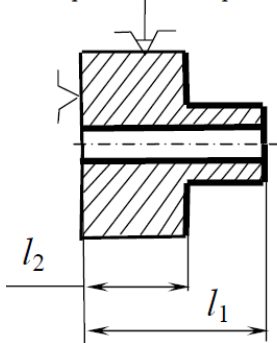


Ескіз заготовки

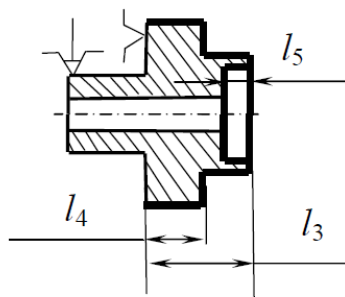


План обробки (фрагмент)

Операція 10. Токарна



Операція 15. Токарна



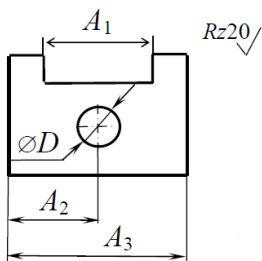
Варіант	A_1	A_2	A_3	A_4
1	$10 \pm 0,1$	$12_{-0,12}$	$50_{-0,34}$	$5^{+0,1}$
2	$12_{-0,1}^{-0,3}$	$8 \pm 0,05$	$48_{+0,1}^{+0,4}$	$4_{-0,1}$
3	$8_{-0,12}$	$16_{-0,21}$	$54 \pm 0,2$	$6_{-0,12}$

57
Варіант 9

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

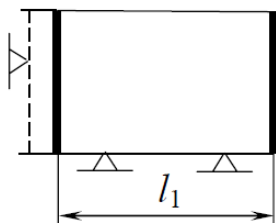
Креслення деталі



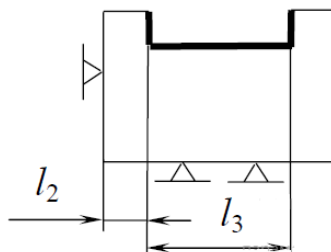
Варіант	1	2	3
A_1	$10^{+0,36}$	$15^{+0,43}$	$5^{+0,3}$
A_2	$20 \pm 0,3$	$25 \pm 0,2$	$15 \pm 0,4$
A_3	$40_{-0,52}$	$50_{-0,52}$	$30_{-0,52}$
T	0,1	0,12	0,14
Примітка: допуск розбіжності осей $\varnothing D$ та паза $A1 - T$			

План обробки (фрагмент)

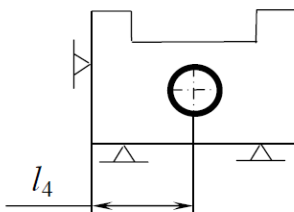
Операція 10. Фрезерна



Операція 20. Фрезерна



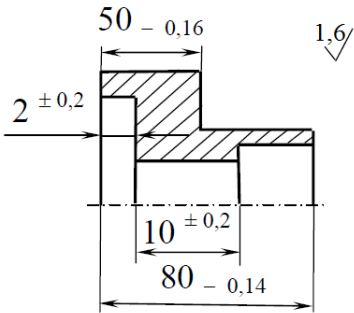
Операція 30. Свердлильна



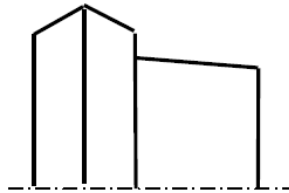
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_8$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

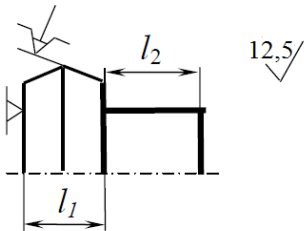


Заготовка-штампуння (ескіз)

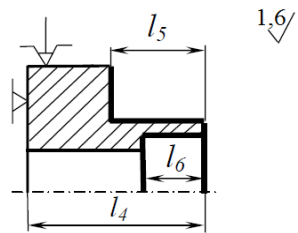


План обробки (фрагмент)

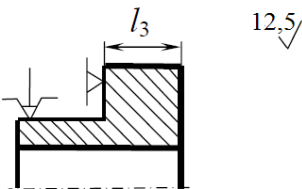
Операція 5. Токарна



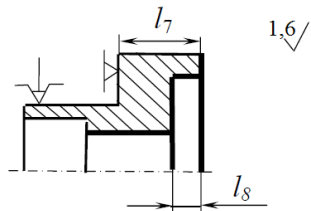
Операція 15. Токарна



Операція 10. Токарна



Операція 20. Токарна

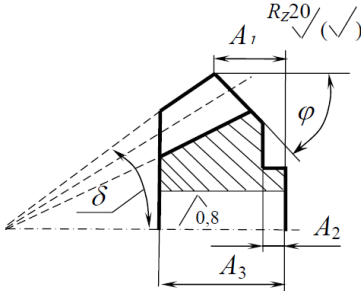


59
Варіант 11

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_5 \dots l_9$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

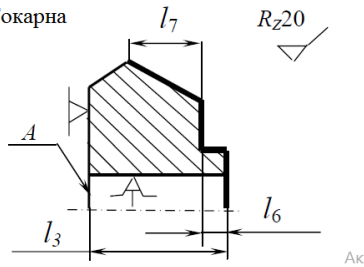
Креслення деталі



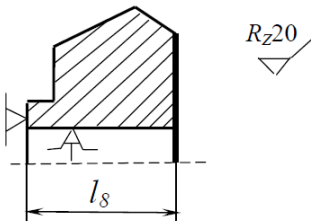
Варіант	1	2
A_1	$19,69 \pm 0,4$	$149 \pm 0,1$
A_2	$10 \pm 0,5$	$120 \pm 0,2$
A_3	$42_{-0,16}$	$183_{-0,29}$
δ	$42^\circ 9' \pm 5'$	$65^\circ 14' \pm 10'$
φ	$51^\circ 34' \pm 5'$	$26^\circ 34' \pm 10'$

План обробки (фрагмент)

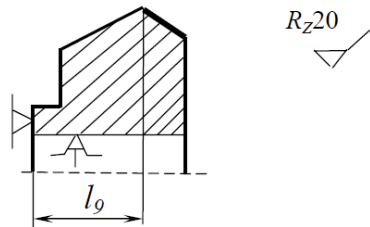
Операція 20. Токарна



Операція 25. Токарна



Операція 30. Токарна

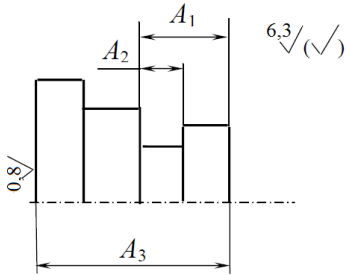


60
Варіант 12

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

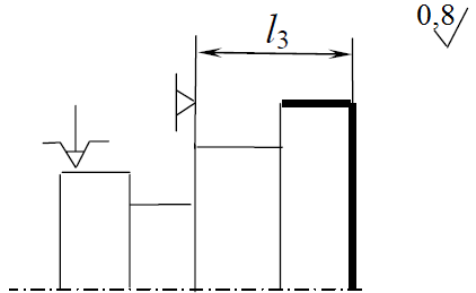
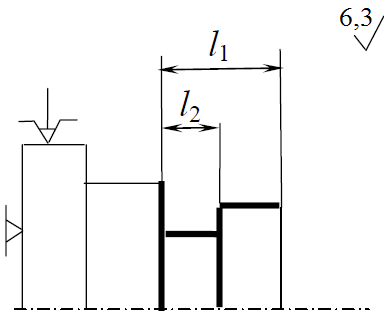


Варіант	$A1$	$A2$	$A3$
1	$18^{+0,12}$	$5^{+0,1}$	$45^{-0,1}_{-0,3}$
2	$15^{-0,12}$	$6 \pm 0,05$	$53^{+0,3}_{+0,1}$
3	$21 \pm 0,1$	$35^{-0,1}$	$49 \pm 0,1$

План обробки (фрагмент)

Операція 30. Токарна

Операція 40. Шліфувальна

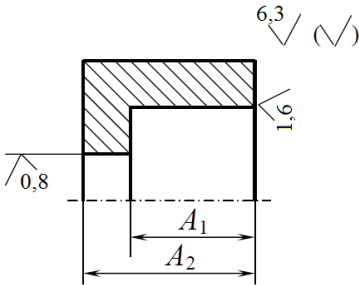


61
Варіант 13

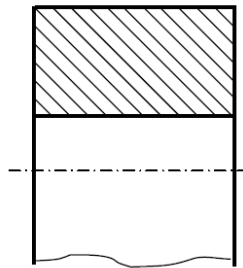
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1...l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні, та зняття припуску не більше 0,3 мм в операції 15.

Креслення деталі



Заготовка

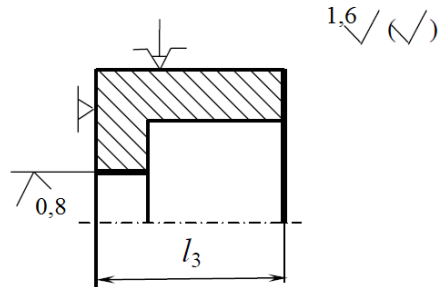
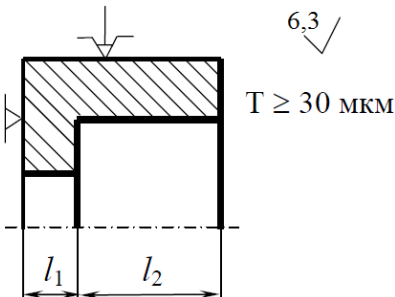


Варіант	$A1$	$A2$
1	$8^{+0,1}$	$18_{-0,16}$
2	$11 \pm 0,05$	$21_{-0,2}$
3	$5_{-0,05}$	$19^{+0,16}$

План обробки (фрагмент)

Операція 10. Токарна

Операція 15. Шліфувальна

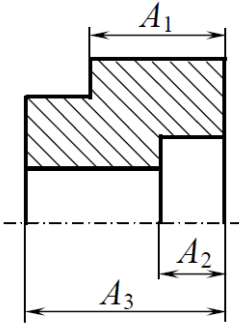


62
Варіант 14

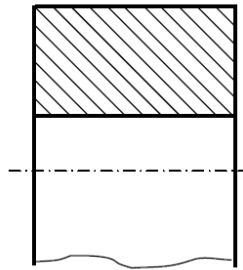
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі



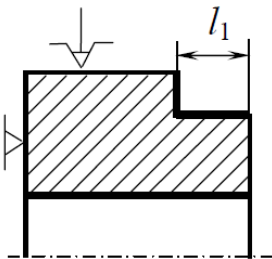
Заготовка



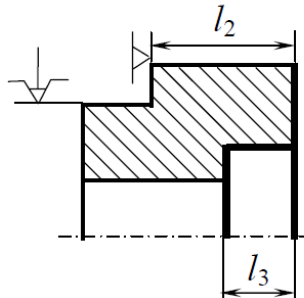
Варіант	$A1$	$A2$	$A3$
1	$19_{-0,2}$	$8_{-0,2}$	$26_{-0,1}^{-0,3}$
2	$17^{+0,12}$	$9 \pm 0,05$	$30^{+0,3}_{+0,1}$
3	$15 \pm 0,05$	$7^{+0,1}$	$24 \pm 0,1$

План обробки (фрагмент)

Операція 10. Токарна



Операція 40. Токарна

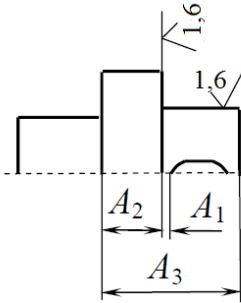


63
Варіант 15

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

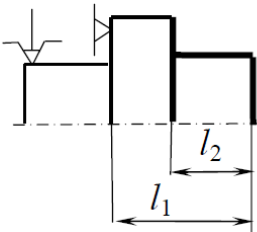
Креслення деталі



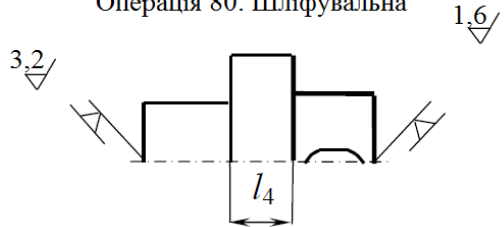
Варіант	$A1$	$A2$	$A3$
1	$10^{+0.4}$	$20_{-0.084}$	$40_{-0.25}$
2	$15^{+0.3}$	$32_{-0.13}$	$60_{-0.3}$
3	$12^{+0.25}$	$25_{-0.22}$	$50_{-0.25}$
4	$18^{+0.5}$	$60_{-0.16}$	$100_{-0.22}$

План обробки (фрагмент)

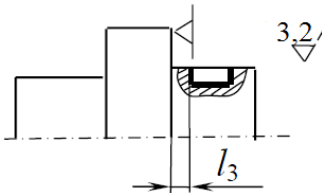
Операція 15. Токарна



Операція 80. Шліфувальна



Операція 20. Фрезерна

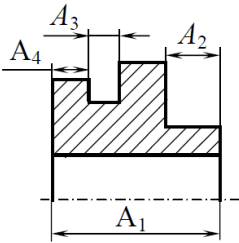


64
Варіант 16

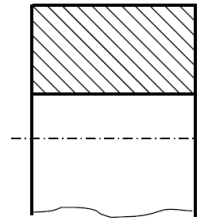
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_5$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі



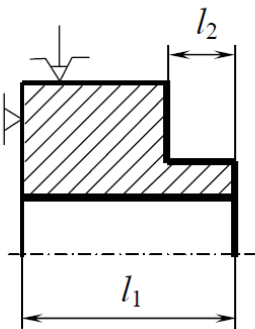
Ескіз заготовки



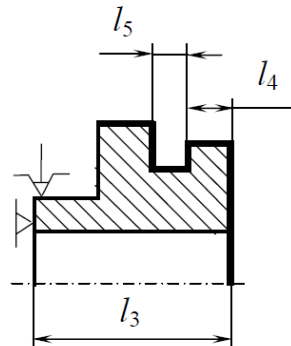
Варіант	$A1$	$A2$	$A3$	$A4$
1	$48^{+0,14}_{-0,34}$	$15_{-0,12}$	$12_{-0,1}$	$5^{+0,1}$
2	$56^{+0,34}_{+0,12}$	$8^{+0,1}$	$10 \pm 0,05$	$12_{-0,12}$
3	$51 \pm 0,1$	$14_{-0,1}$	$8^{+0,12}$	$6 \pm 0,05$

План обробки (фрагмент)

Операція 10. Токарна



Операція 20. Токарна

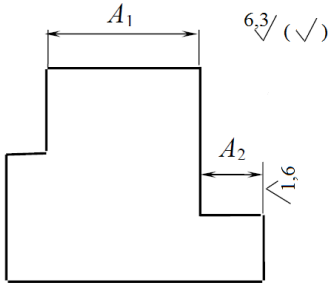


65
Варіант 17

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні та зняття припуску не більше 0,3 мм в операції 20.

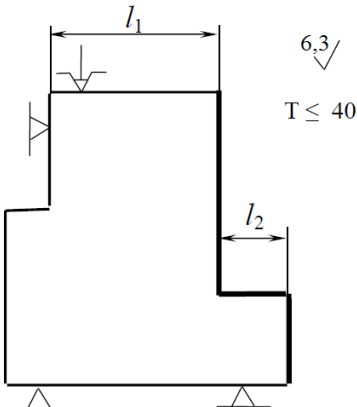
Креслення деталі



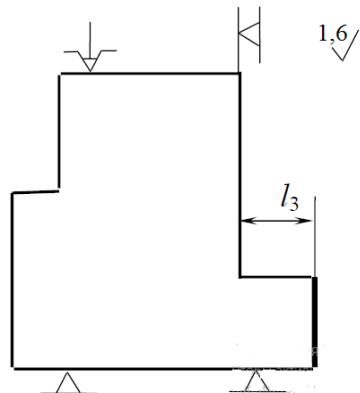
Варіант	$A1$	$A2$
1	$16^{-0,05}_{-0,15}$	$16 \pm 0,05$
2	$26^{-0,1}_{-0,2}$	$7_{-0,1}$
3	$20^{+0,2}_{+0,1}$	$10^{+0,1}$

План обробки (фрагмент)

Операція 15. Фрезерна



Операція 20. Шліфувальна

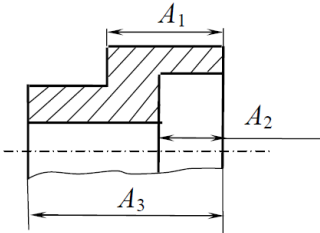


66
Варіант 18

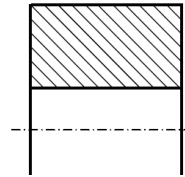
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі



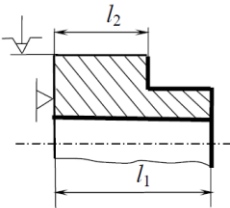
Ескіз заготовки



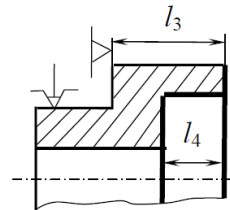
Варіант	$A1$	$A2$	$A3$
1	$19_{-0,1}$	$10 \pm 0,05$	$26_{-0,1}^{-0,3}$
2	$17_{+0,15}^{+0,05}$	$8_{-0,1}^{+0,05}$	$24_{+0,3}^{+0,1}$
3	$20_{+0,1}$	$11_{-0,1}$	$25 \pm 0,1$

План обробки (фрагмент)

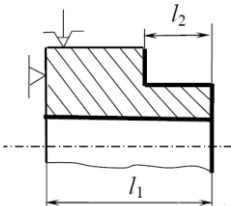
Операція 10. Токарна (1 варіант)



Операція 20 Токарна



Операція 10. Токарна (2 варіант)

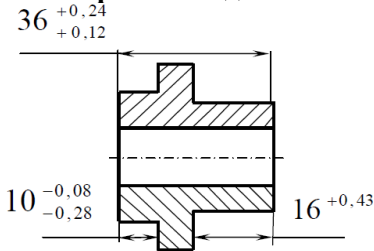


67
Варіант 19

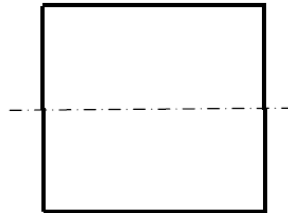
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_5$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

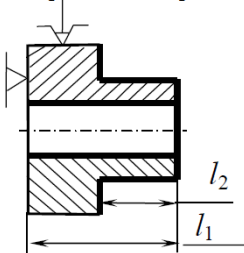


Ескіз заготовки

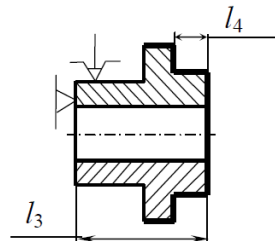


План обробки (фрагмент)

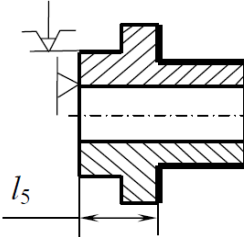
Операція 5. Токарна



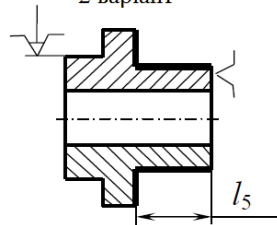
Операція 10. Токарна



Операція 15. Шліфувальна.
1 варіант



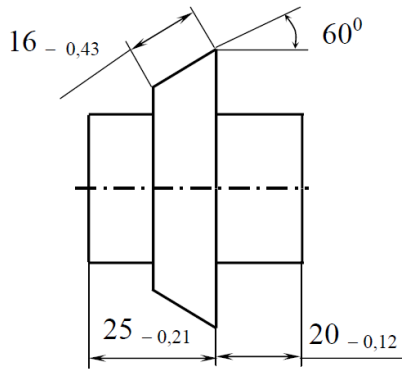
Операція 15. Шліфувальна
2 варіант



Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1...l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

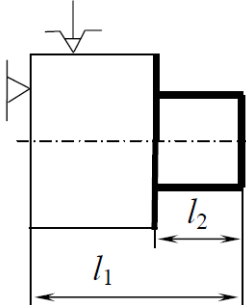
Креслення деталі



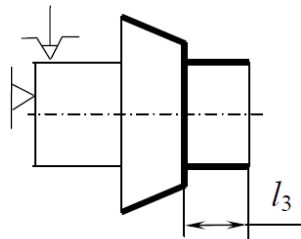
План обробки (фрагмент)

1 варіант

Операція 10. Токарна

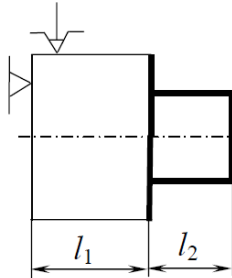


Операція 15. Токарна

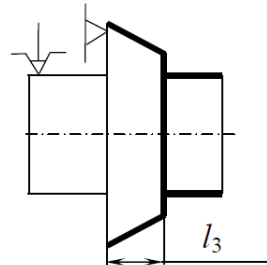


2 варіант

Операція 10. Токарна



Операція 15. Токарна

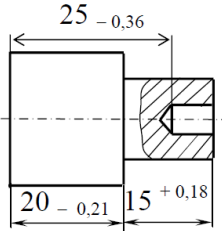


69
Варіант 21

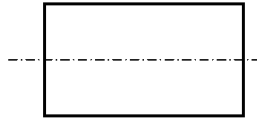
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та два варіанти плану обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_3$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

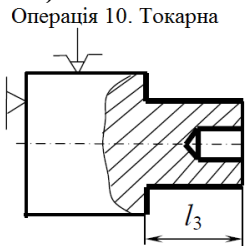
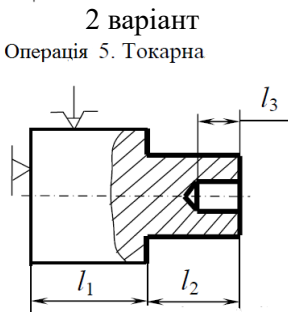
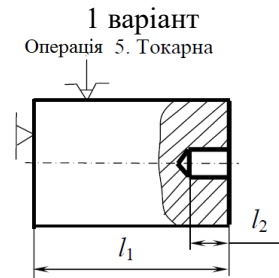
Креслення деталі



Ескіз заготовки



План обробки (фрагмент)



70
Варіант 22

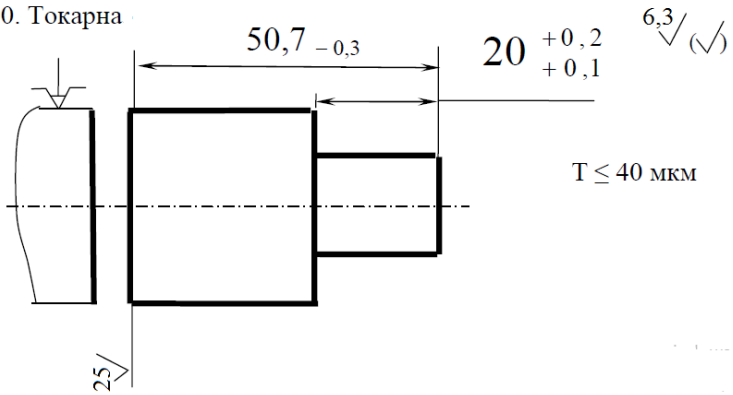
Дано: план обробки (фрагмент).

Завдання: побудувати розмірний ланцюг та визначити величину припуску, що знімається в операції 20 і дати висновок про його достатність.

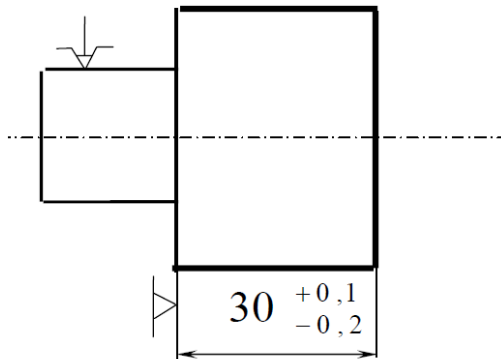
У разі недостатності припуску знайти нове значення технологічного розміру, що забезпечує зняття необхідного припуску на операції 20.

План обробки (фрагмент)

Операція 10. Токарна



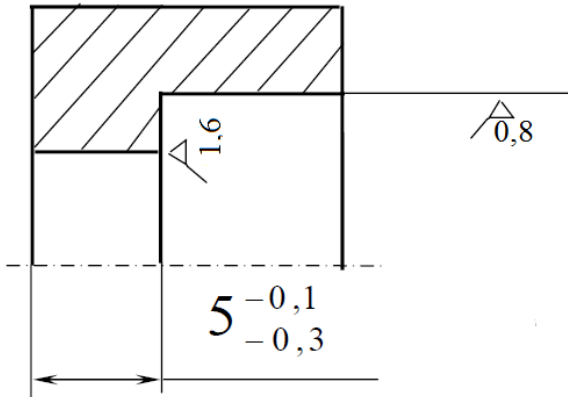
Операція 20. Токарна



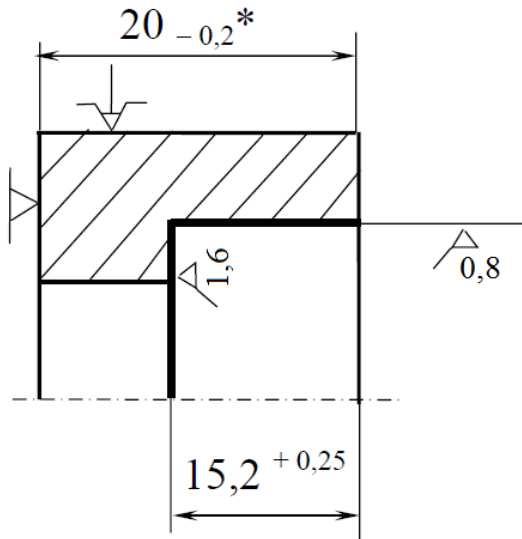
Дано: креслення (ескіз) деталі та ескіз операції.

Завдання: дати пропозиції щодо виправлення технології (шляхом зміни базування, зміни простановки операційних розмірів, допусків) та знайти значення операційних розмірів, що забезпечують конструкторський розмір $5^{-0,1}_{-0,3}$.

Креслення деталі



Ескіз операції

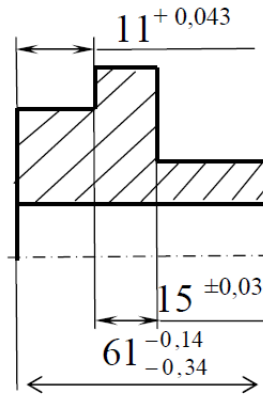


* Операційний розмір отримано на попередній операції

Дано: креслення (ескіз) деталі та два варіанти плану обробки (фрагмент).

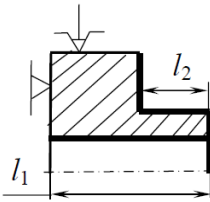
Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1...l_6$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

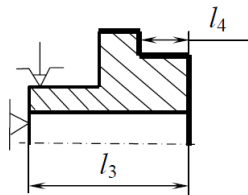


План обробки (фрагмент)

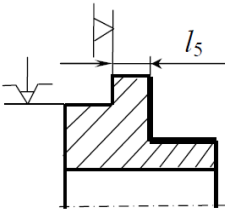
Операція 5. Токарна



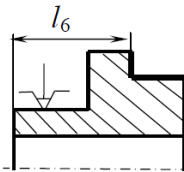
Операція 10. Токарна



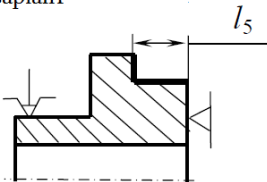
Операція 15. Шліфувальна.
1 варіант



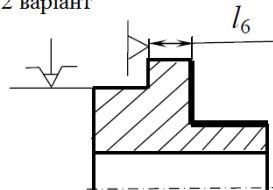
Операція 20. Шліфувальна.
1 варіант



Операція 15. Шліфувальна.
2 варіант



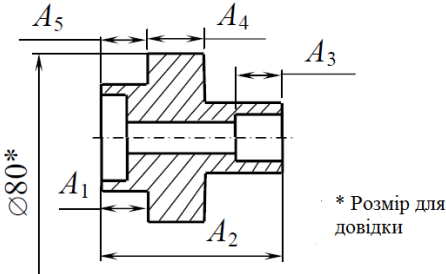
Операція 20. Шліфувальна.
2 варіант



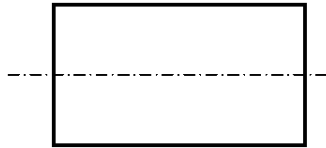
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_6$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

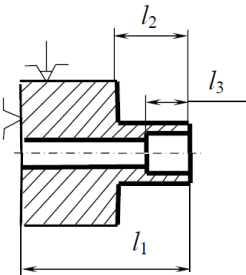


Ескіз заготовки

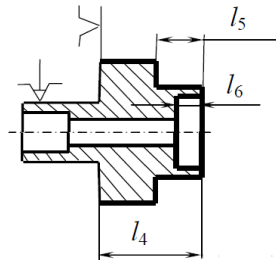


План обробки (фрагмент)

Операція 5. Токарна



Операція 10. Токарна

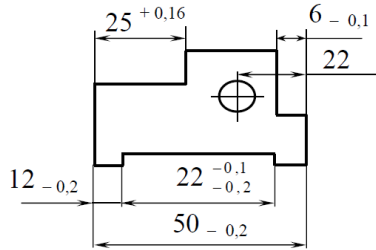


Варіант	$A1$	$A2$	$A3$	$A4$	$A5$
1	$4^{+0,1}$	$52^{0,14}_{-0,34}$	$8^{-0,12}_{-0,28}$	$14 \pm 0,12$	$9^{+0,12}$
2	$6_{-0,1}$	$48^{+0,1}_{+0,34}$	$9 \pm 0,1$	$16_{-0,2}$	$7_{-0,1}$
3	$5 \pm 0,06$	$64_{-0,34}$	$11_{-0,1}$	$14 \pm 0,1$	$8_{-0,12}$

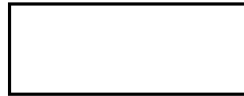
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1...l_8$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

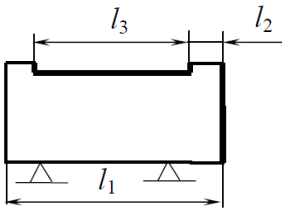


Ескіз заготовки

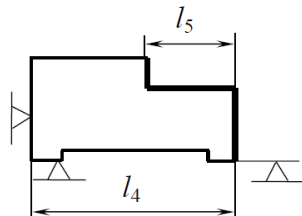


План обробки (фрагмент)

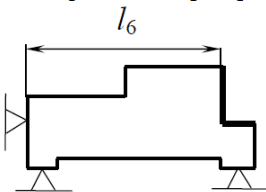
Операція 5. Фрезерна



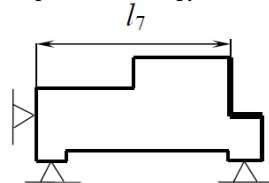
Операція 10. Фрезерна



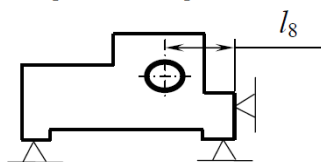
Операція 15. Фрезерна



Операція 20. Шліфувальна



Операція 25. Свердлильна

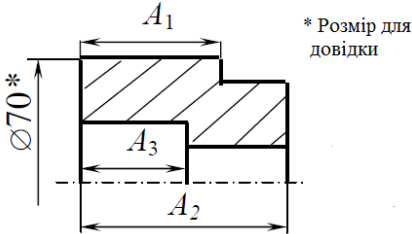


75
Варіант 27

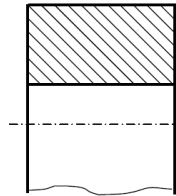
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах), обрати найбільш прийнятний варіант та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

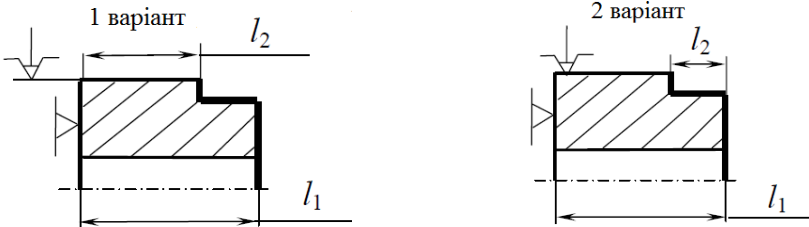


Ескіз заготовки

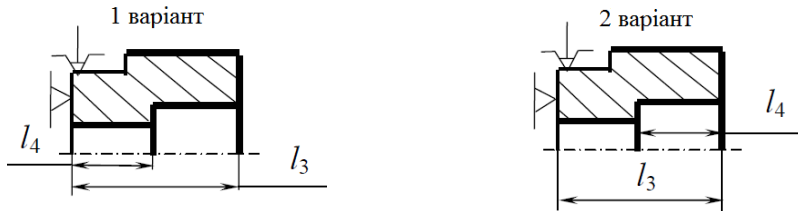


План обробки (фрагмент)

Операція 20. Токарна



Операція 25. Токарна

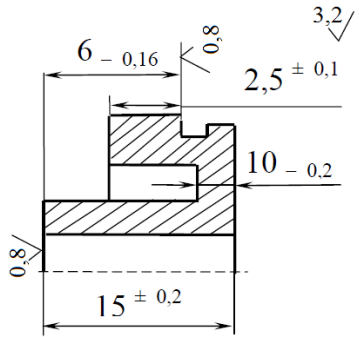


Варіант	A_1	A_2	A_3
1	$12^{-0,1}_{-0,2}$	$26 \pm 0,1$	$17^{+0,1}$
2	$18^{+0,18}$	$35_{-0,1}$	$11_{-0,12}$
3	$24_{-0,2}$	$42^{+0,12}$	$16^{+0,14}$

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1...l_8$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

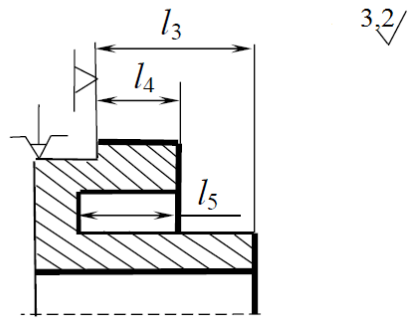
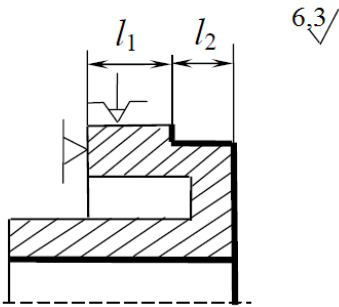
Креслення деталі



План обробки (фрагмент)

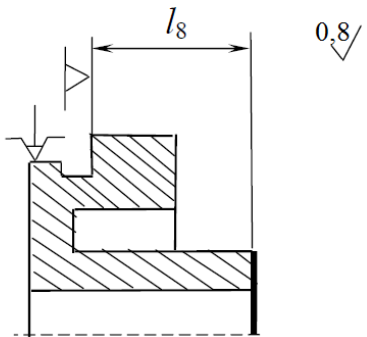
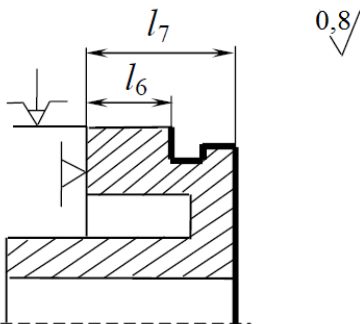
Операція 5. Токарна

Операція 10. Токарна



Операція 15. Токарна

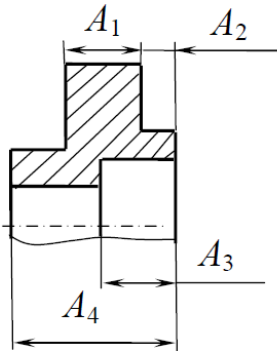
Операція 20. Токарна



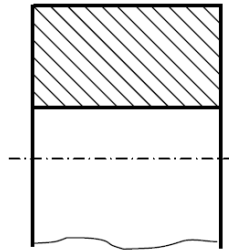
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі

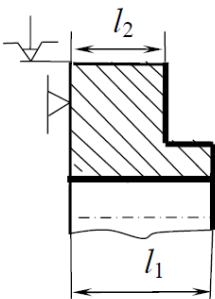


Ескіз заготовки

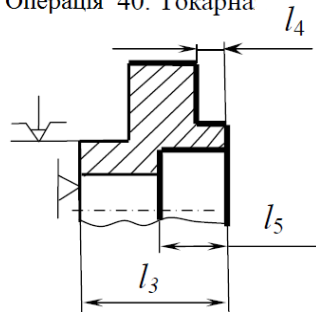


План обробки (фрагмент)

Операція 30. Токарна



Операція 40. Токарна

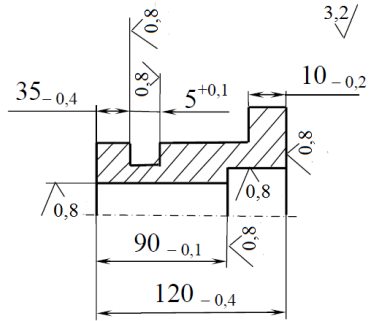


Варіант	$A1$	$A2$	$A3$	$A4$
1	$21^{+0,1}_{-0,3}$	$8^{+0,1}$	$13 \pm 0,1$	$29_{-0,15}$
2	$17^{+0,1}_{+0,3}$	$11_{-0,2}$	$15 \pm 0,05$	$33_{-0,12}$
3	$20 \pm 0,1$	$9 \pm 0,05$	$14^{-0,1}_{-0,2}$	$31^{+0,1}$

Дано: креслення (ескіз) деталі та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_{12}$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

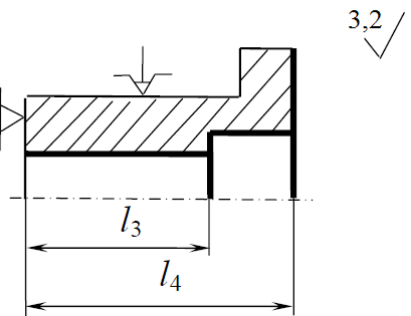
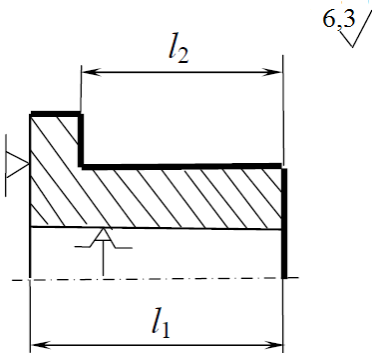
Креслення деталі



План обробки (фрагмент)

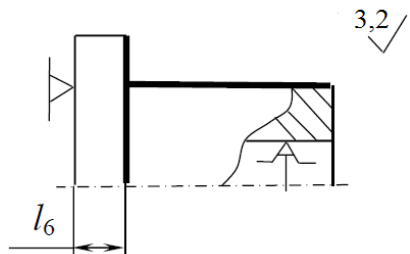
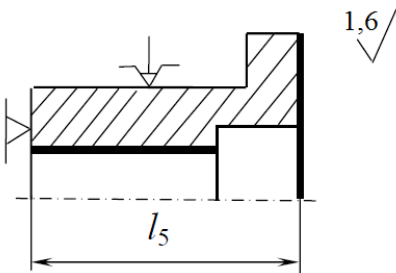
Операція 10. Токарна

Операція 15. Токарна



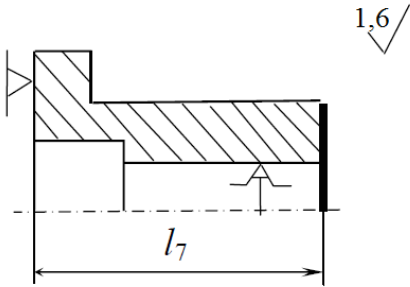
Операція 20. Шліфувальна

Операція 25. Токарна

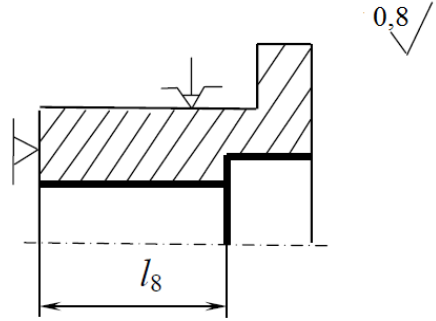


(див. продовження)

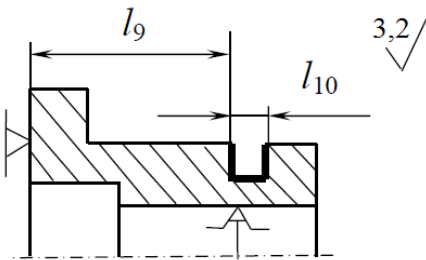
Операція 30. Шліфувальна



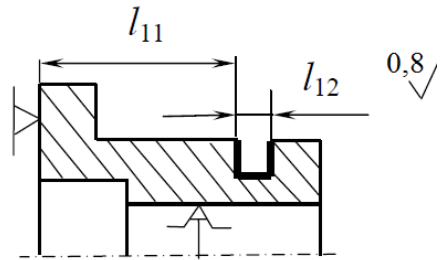
Операція 35. Шліфувальна



Операція 50. Токарна



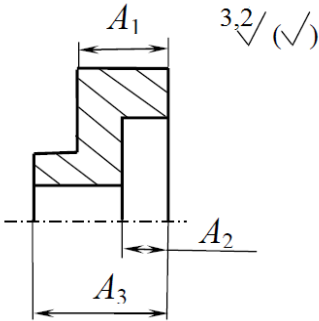
Операція 65. Шліфувальна



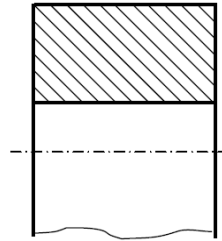
Дано: креслення (ескіз) деталі, ескіз заготовки та план обробки (фрагмент).

Завдання: надати технологічний процес у вигляді математичної моделі (у графічній та аналітичній формах) та визначити операційні розміри $l_1 \dots l_4$, що забезпечують розміри деталі, зазначені на кресленні.

Креслення деталі



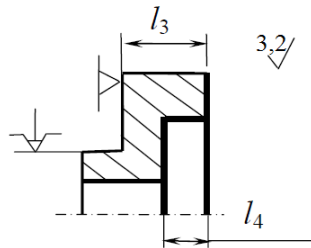
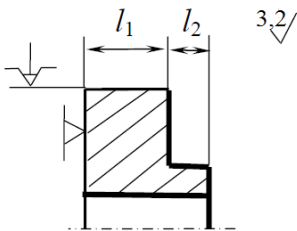
Ескіз заготовки



План обробки (фрагмент)

Операція 30. Токарна

Операція 40. Токарна



Варіант	$A1$	$A2$	$A3$
1	$19_{-0,15}$	$10 \pm 0,05$	$26^{+0,05}_{-0,15}$
2	$15^{+0,1}$	$8^{-0,1}_{-0,2}$	$30^{-0,1}_{-0,3}$
3	$20_{-0,1}$	$12 \pm 0,1$	$28^{+0,3}_{+0,1}$

