

Міністерство освіти і науки України

Державний університет "Житомирська політехніка"

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Лекція №7 на тему:

Розмірні ланцюги.

1. Основні поняття, терміни, визначення, позначення.
2. Розмірний ланцюг та його ланки.
3. Види розмірних ланцюгів та їх призначення.
4. Характеристика методів рішення розмірних ланцюгів.
5. Задачі, які вирішуються за допомогою розмірних ланцюгів
6. Основні рівняння розмірного ланцюга.

1. Основні поняття, терміни, визначення, позначення.

Розмірним ланцюгом називають сукупність розмірів, які утворюють замкнутий контур, і визначають взаємне положення поверхонь чи осей однієї деталі або декількох деталей в складальній одиниці.

Ланки – розміри, що складають розмірний ланцюг.

Ланками розмірного ланцюга можуть бути лінійні або кутові параметри: діаметральні розміри; відстані між поверхнями чи осями; зазори; натяги; перекриття; відхилення форми та розташування поверхонь (осей) тощо.

За допомогою розмірних ланцюгів вирішуються задачі по забезпеченню потрібної точності розмірів під час конструювання, виготовлення та експлуатації машин, механізмів, окремих вузлів та деталей.

Класифікація розмірних ланцюгів

Ознака класифікації	Назва розмірного ланцюга	Призначення, характеристика
Сфера застосування	Конструкторський	Визначає розміри між поверхнями або осями деталей у виробі
	Технологічний	Визначає взаємний зв'язок розмірів між поверхнями або осями виробу під час виготовлення
	Вимірювальний	Визначає розміри, необхідні для вимірювання під час виготовлення або у готового виробу
Місце у виробі	Детальний	Визначає точність відносного положення поверхонь чи осей однієї деталі
	Складальний	Визначає точність відносного положення поверхонь чи осей деталей, що входять до складальної одиниці
Розташування ланок	Лінійний	Ланками є лінійні, паралельно розташовані розміри
	Кутовий	Ланками є кутові розміри
	Плоский	Ланки розташовані довільно в одній або декількох паралельних площинах. Ланками можуть бути лінійні, не паралельно розташовані розміри; кутові розміри; кутові та лінійні розміри одночасно
	Просторовий	Ланки розташовані у непаралельних площинах
Характер ланок	Скалярний	Ланки є скалярними величинами
	Векторний	Ланки є векторними похибками, які визначаються величиною та напрямком
	Комбінований	Частина ланок є скалярними величинами, а частина – векторними похибками

Будь-який розмірний ланцюг складається з однієї **замикальної ланки** та двох і більше **складових ланок**. Позначаються складові ланки лінійних розмірних ланцюгів великими буквами українського алфавіту з індексом, що відповідає порядковому номеру ланки, а кутових – малими буквами грецького алфавіту. Замикальна ланка позначається буквою з індексом Δ .

Замикальна ланка (A_{Δ} , B_{Δ} , ...) – це ланка, до якої ставиться основна вимога точності, що визначає якість виробу відповідно до технічних вимог. Під час постановки задачі цю ланку називають вихідною ланкою. Під час оброблення деталі або складання виробу ця ланка отримується останньою, замикаючи розмірний ланцюг.

Складові ланки (A_i , B_i , ...) – це ланки, які функціонально пов'язані із замикальною ланкою, тобто ланки, зміна розмірів яких призводить до зміни розміру замикальної ланки.

У детальному розмірному ланцюзі замикальна ланка – це розмір, значення і точність якого визначаються іншими розмірами. У складальному розмірному ланцюзі – це розмір, який утворюється тільки під час складання і пов'язує розміри двох деталей (зазор, натяг, перекриття тощо). Таким чином, замикальна ланка – це ланка, розмір якої під час виготовлення безпосередньо не витримується, а отримується в результаті виготовлення складових ланок.

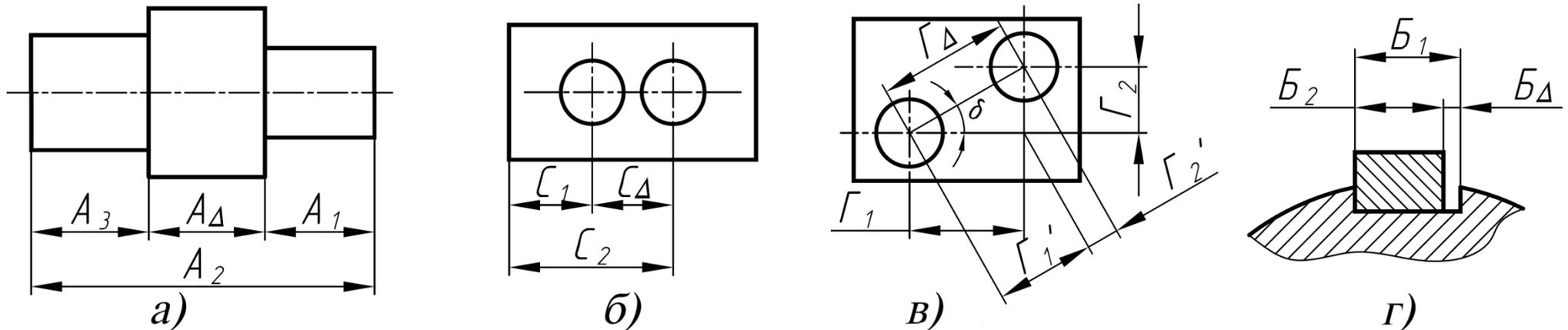
На відміну від складових ланок, розмір яких завжди величина додатна, розмір замикальної ланки може бути або додатним, або дорівнювати нулю, або бути від'ємним.

Складові ланки поділяються на збільшувальні та зменшувальні. Збільшувальні ланки позначають зверху стрілками напрямком зліва-направо, а зменшувальні – зправа-наліво.

Збільшувальною ланкою ($\overrightarrow{A}_i, \overrightarrow{B}_i, \dots$) називають ланку, із збільшенням якої (за інших постійних ланках), замикальна ланка збільшується.

Зменшувальною ланкою ($\overleftarrow{A}_i, \overleftarrow{B}_i, \dots$) називають ланку, із збільшенням якої (за інших постійних ланках), замикальна ланка зменшується.

На рис. 1 наведені приклади розмірних ланцюгів, зокрема: на рис. 1, а – лінійний детальний ланцюг, замикальна ланка $A\Delta$ – довжина середнього ступеню вала; на рис. 1, б – лінійний детальний ланцюг, замикальна ланка $C\Delta$ – відстань між осями отворів; на рис. 1, в – плоский детальний ланцюг, замикальна ланка $\Gamma\Delta$ – відстань між осями отворів, у спільній площині; рис. 1, г – лінійний складальний ланцюг, замикальна ланка $B\Delta$ – відстань (зазор) між шпонкою та бічною поверхнею шпонкового пазу.



2. Задачі, які вирішуються за допомогою розмірних ланцюгів.

Розрахунки розмірних ланцюгів є необхідним етапом конструювання, виготовлення та експлуатації широкого класу виробів (машин, механізмів, приладів, апаратів тощо). За допомогою теорії розмірних ланцюгів можуть бути вирішені такі конструкторські, технологічні та метрологічні задачі:

- встановлення геометричних та кінематичних зв'язків між розмірами деталей;
- розрахунок номінальних значень, відхилень і допусків розмірів ланок;
- розрахунок норм точності і розробка технічних умов на машини та їхні складові частини;
- аналіз правильності проставлення розмірів і відхилень на робочих кресленнях деталей;
- розрахунок міжопераційних розмірів;
- розрахунок припусків і допусків;
- перерахунок конструктивних розмірів на технологічні (при неспівпаданні конструкторських та технологічних баз);
- обґрунтування послідовності технологічних операцій при виготовленні і складанні виробів;
- обґрунтування і розрахунки необхідної точності пристосувань;
- вибір засобів і методів вимірювань, розрахунок досягнутої точності вимірів.

Під час розмірного розрахунку складаються розмірні ланцюги, визначаються метод та спосіб отримання потрібної точності розмірів, з яких складаються розмірні ланцюги, встановлюються для цих розмірів оптимальні допуски та граничні відхилення.

За допомогою розмірних ланцюгів вирішуються пряма і обернена задачі.

Пряма задача полягає у визначенні номінальних розмірів, допусків, та граничних відхилень складових ланок розмірного ланцюга за заданими номінальним розміром та граничними відхиленнями вихідної (замикальної) ланки.

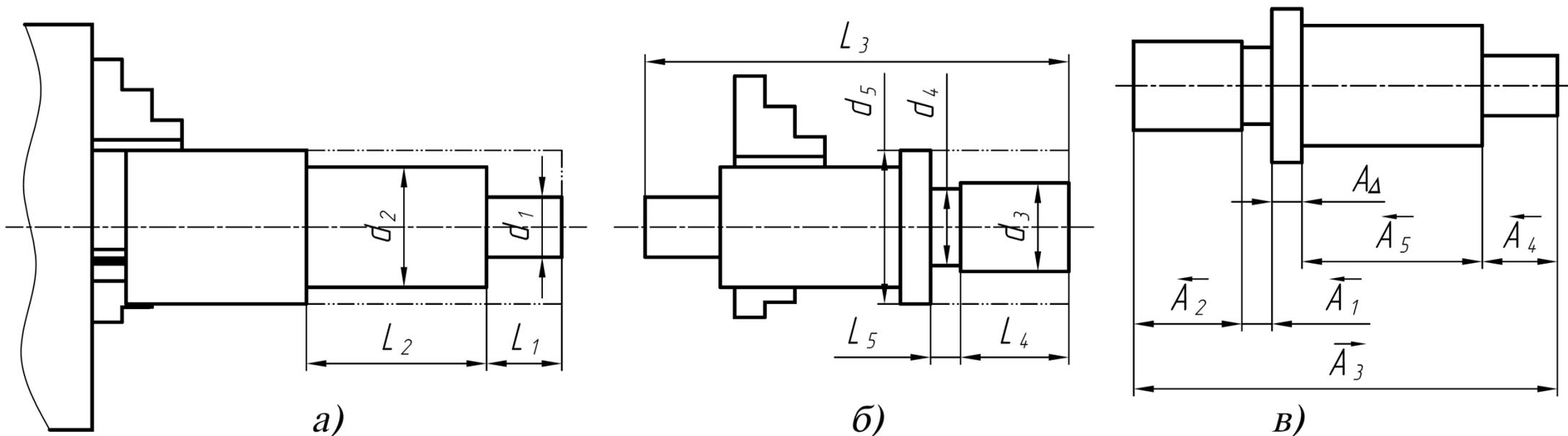
Обернена задача полягає у визначенні номінального розміру, допуску, та граничних відхилень замикальної ланки за відомими значеннями цих же параметрів складових ланок.

Обернена задача перевіряє правильність розв'язку прямої задачі.

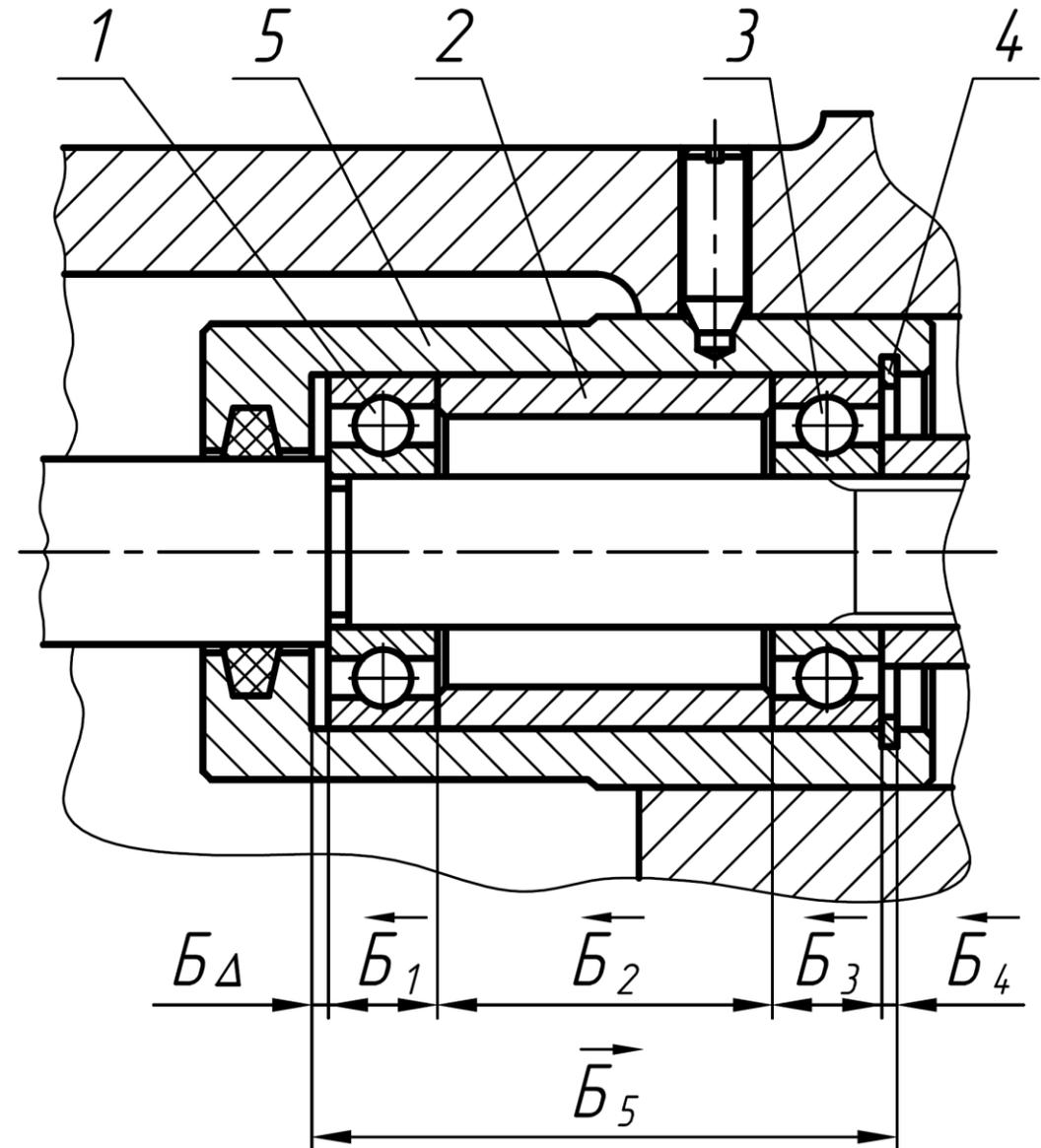
Для спрощення розрахунків розмірні ланцюги зображують у вигляді схем розмірних ланцюгів.

Під час розмірного аналізу повинна бути чітко сформульована задача, для якої складається розмірний ланцюг, встановлено вимогу до точності замикальної ланки, причому розмірний ланцюг може мати тільки одну замикальну ланку.

Приклад складання детального розмірного ланцюга показаний на рис. 2. Вал обробляється у такій послідовності: спочатку проточують діаметр d_1 на довжину L_1 , потім - діаметр d_2 на довжину L_2 (рис. 2, а). Після переустановлення вала на верстаті заготовка відрізається на довжину L_3 (рис. 2, б), потім обробляється діаметр d_3 на довжину L_4 і діаметр d_4 на довжину L_5 . Довжина ділянки вала з діаметром d_5 не обробляється, вона отримується в результаті оброблення розмірів L_1 , L_2 , L_3 , L_4 і L_5 . Відповідно цей розмір і буде замикальною ланкою. Базуючись на послідовності оброблення (рис. 2, а, б) складено детальний технологічний розмірний ланцюг (рис. 2, в). Розміри A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 витримуються під час оброблення відповідних ступенів вала – вони є складовими ланками, а розмір A_Δ - замикальною ланкою розмірного ланцюга. Збільшувальною ланкою буде розмір $\overrightarrow{A_3}$, а розміри $\overleftarrow{A_1}$, $\overleftarrow{A_2}$, $\overleftarrow{A_4}$, $\overleftarrow{A_5}$ – зменшувальними ланками.



На рис. 3 наведений фрагмент вузла із складальним конструкторським розмірним ланцюгом. Для забезпечення нормальної роботи вузла необхідно забезпечити зазор між лівим підшипником 1 та торцем стакана 5, який і буде замикальною ланкою B_{Δ} . Для складання розмірного ланцюга виявляються елементи деталей, розміри яких будуть визначати значення цього зазору. Із креслення видно, що такими є: ширина лівого підшипника 1 - B_1 ; довжина втулки 2 - B_2 ; ширина правого підшипника 3 - B_3 ; довжина кільця 4 - B_4 ; довжина внутрішнього циліндра стакана 5 - B_5 . Усі ці розміри утворюють замкнутий контур. Розмір $\overrightarrow{B_5}$ є збільшувальною ланкою, а розміри $\overleftarrow{B_1}$, $\overleftarrow{B_2}$, $\overleftarrow{B_3}$, $\overleftarrow{B_4}$ - зменшувальними.



Точність замикальної ланки розмірного ланцюга може бути забезпечена за одним із методів:

- повної взаємозамінності;
- ймовірнісний;
- групової взаємозамінності (селективне складання);
- припасування;
- регулювання.

Розрахунки розмірних ланцюгів виконують:

- методом максимуму-мінімуму, при якому враховуються лише граничні відхилення складових ланок;
- імовірнісним методом, при якому враховуються закони розсіювання розмірів деталей і випадковий характер їхнього поєднання при складанні.

Задана точність вихідної ланки має бути досягнута з мінімальними технологічними та експлуатаційними витратами.

3. Метод повної взаємозамінності.

За цим методом задана точність замикальної ланки досягається за будь-якого поєднання розмірів деталей (складових ланок), виготовлених в межах розрахованих допусків. Деталі під час складання з'єднуються без припасування, регулювання та підбору.

Розрахунок здійснюється методом максимуму-мінімуму, за якого враховуються тільки граничні відхилення складових ланок. Причому припускають, що в одному розмірному ланцюзі одночасно можуть бути всі ланки з граничними розмірами: всі збільшувальні ланки з найбільшими граничними розмірами, а зменшувальні - з найменшими або навпаки. Будь-яке з цих сполучень розмірів є несприятливим і призводить до найменшої точності замикальної ланки, хоча спрощується процес складання.

Із умови замкнутості отримане основне рівняння розмірних ланцюгів, яке для лінійного розмірного ланцюга з паралельними ланками має вигляд:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A}_i \quad (1)$$

де: A_{Δ} – номінальний розмір замикальної ланки; \vec{A}_i – номінальні розміри збільшувальних ланок; \overleftarrow{A}_i – номінальні розміри зменшувальних ланок; m – кількість збільшувальних ланок; n – кількість зменшувальних ланок.

Граничні розміри замикальної ланки визначаються, як

$$A_{\Delta max} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i max}} - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A_{i min}} \quad (2)$$

$$A_{\Delta min} = \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A_{i min}} - \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A_{i max}} \quad (3)$$

За визначенням, допуск розміру – це різниця між найбільшим та найменшим граничними розмірами. Віднявши від рівняння (2) рівняння (3), отримують рівняння для визначення допуску замикальної ланки:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m T\overrightarrow{A_i} - \sum_{i=1}^n T\overleftarrow{A_i} \quad (4)$$

Таким чином, допуск замикальної ланки розмірного ланцюга дорівнює сумі допусків усіх складових ланок:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m+n} TA_i \quad (5)$$

Аналогічно знаходяться верхнє та нижнє відхилення замикальної ланки:

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m ES\vec{A}_i - \sum_{i=1}^n EI\overleftarrow{A}_i \quad (6)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EI\vec{A}_i - \sum_{i=1}^n ES\overleftarrow{A}_i \quad (7)$$

де $ES\vec{A}_i$ – верхні відхилення збільшувальних ланок; $EI\overleftarrow{A}_i$ – нижні відхилення збільшувальних ланок; $ES\overleftarrow{A}_i$ – верхні відхилення зменшувальних ланок; $EI\vec{A}_i$ – нижні відхилення зменшувальних ланок.

Координата середини поля допуску замикальної ланки визначається як:

$$ECA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EC\vec{A}_i - \sum_{i=1}^n EC\overleftarrow{A}_i \quad (8)$$

де $EC\vec{A}_i$ – середні відхилення збільшувальних ланок; $EC\overleftarrow{A}_i$ – середні відхилення зменшувальних ланок.

Координати середин полів допусків замикальної та складових ланок розраховуються за формулами:

$$ECA_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2} \quad (9)$$

$$ECA_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2} \quad (10)$$

4. Ймовірнісний метод розрахунку розмірних ланцюгів.

За цим методом допускається, що для певної, наперед передбаченої, кількості виробів, розмір замикальної ланки вийде за межі встановлених граничних розмірів. Деталі під час складання з'єднуються без припасування, регулювання та підбору.

Цей метод допускає певний відсоток (досить малий) бракованих виробів, але дозволяє призначати більш широкі та економічні, порівняно з методом повної взаємозамінності, допуски складових ланок.

За ймовірнісним методом припускається, що розміри деталей у виробі – це незалежні випадкові величини і їхнє поєднання у виробі має випадковий характер. Замикальна ланка також є випадковою величиною, похибки якої є сумою незалежних (за значеннями відхилень) похибок складових ланок. Для визначення залежності між допусками замикальної та складових ланок розмірного ланцюга використовують закони розподілу випадкових величин та теореми теорії ймовірності.

Допуск замикальної ланки визначається за формулою:

$$TA_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \cdot \sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \cdot TA_i^2} \quad (11)$$

де λ - коефіцієнти відносного розсіювання замикальної та складових ланок відповідно, які залежать від закону розподілу похибок складових та замикальної ланок.

В розрахунках розмірних ланцюгів найбільш часто застосовуються закони розподілу випадкових величин такі, як нормальний закон (закон Гауса), закон рівної ймовірності, закон трикутника (закон Сімпсона).

Коефіцієнт відносного розсіювання λ для наведених законів становить:

для нормального закону $\lambda = 1/3$;

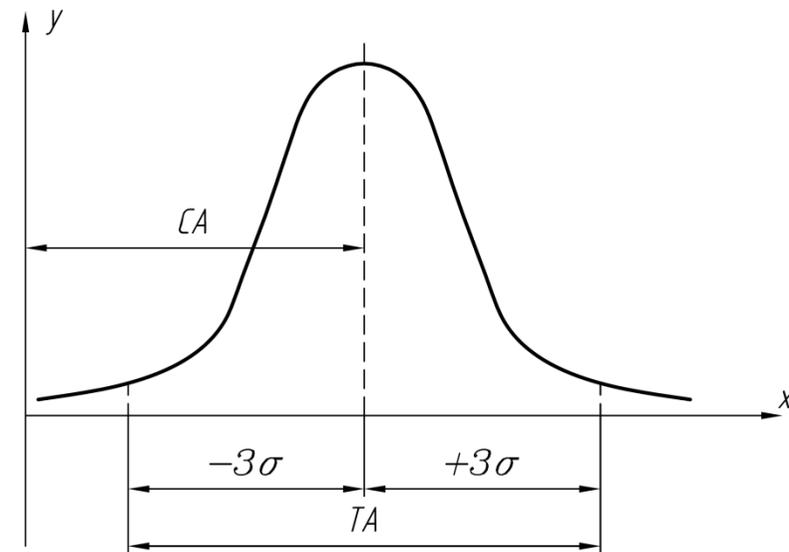
для закону рівної ймовірності $\lambda = 1/\sqrt{3}$;

для закону трикутника $\lambda = 1/6$;

Розподіл розмірів замикальної ланки, незалежно від характеру розподілу розмірів складових ланок, буде наближатись до закону нормального розподілу.

В усталеному виробництві, у більшості випадків, розподіл розмірів деталей відбувається за законом нормального розподілу (закону Гауса).

Якщо похибки усіх ланок (і складових, і замикальної) змінюються за законом нормального розподілу, і границі розподілу розмірів $\pm 3\sigma$ збігаються з границями полів допусків T_{Ai} (рис. 6), тоді для складової і замикальної ланок можна записати: $T_{A\Delta} = 6\sigma_{\Delta}$



Після підстановки даних залежностей у формулу (11), отримано рівняння для визначення допуску замикальної ланки для цього випадку:

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_1^{m+n} TA^2_i} \quad (12)$$

При цьому, у 0,27 % виробів розміри замикальної ланки можуть вийти за границі поля допуску. Тобто відсоток ризику Р (відсоток браку) складає всього 0,27 %.

Якщо за певних конкретних умов допускається інший відсоток виробів, у яких розміри замикальної ланки вийдуть за границі поля допуску, тоді рівняння для визначення допуску замикальної ланки розмірних ланцюгів, у яких розподіл розмірів замикальної ланки відбувається за нормальним законом, має вигляд:

$$TA_{\Delta} = t \cdot \sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \cdot TA^2_i} \quad (13)$$

де t – коефіцієнт ризику, який характеризує ймовірність виходу відхилень замикальної ланки за границі допуску, і залежить від прийнятого відсотку ризику Р (відсотку бракованих виробів).

Враховуючи, що $TA_i = k_i \cdot i_i$ і число одиниць допуску k повинно бути однаковим для усіх ланок ($k = \text{const}$), із рівняння (13), отримано формулу для визначення числа одиниць допуску k , за яким призначається квалітет складових ланок:

$$k = \frac{TA_{\Delta}}{t \cdot \sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \cdot i_i^2}} \quad (14)$$

Після цього перевіряють виконання рівняння (12). Якщо отриманий розрахунковий допуск замикальної ланки відрізняється від заданого допуску? то рекомендується визначити можливий відсоток ризику P за призначених значень допусків складових ланок та оцінити його допустимість. Для цього розраховують коефіцієнт t :

$$t = \frac{TA_{\Delta}}{t \cdot \sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \cdot TA_i^2}} \quad (15)$$

за яким визначається можливий відсоток ризику P . Якщо відсоток ризику (кількість браку) буде надмірною, тоді допуски на деякі ланки призначають за більш високим або більш низьким квалітетом.

Граничні відхилення складових ланок (крім залежної ланки) призначають: для розмірів отворів - як для основного отвору H ($EIA_i = 0$); для розмірів валів - як для основного вала h ($ESA_i = 0$), для решти розмірів граничні відхилення призначають симетричними $\pm TA_i / 2$.

Граничні відхилення залежної ланки визначаються за формулами:

$$ESA_i = ECA_i + \frac{TA_i}{2} \quad (16)$$

$$EIA_i = ECA_i + \frac{TA_i}{2} \quad (17)$$

де ECA_i - координата середини поля допуску залежної ланки.

5. Метод групової взаємозамінності (селективного складання).

За цим методом деталі виготовляють з порівняно широкими, технологічно здійсненими допусками. Після виготовлення їх сортують на рівну кількість груп з більш вузькими груповими допусками. Складання вузлів та механізмів здійснюють з деталей, що належать до однойменних груп. Складання з попереднім сортуванням деталей на групи називається селективним складанням. Потрібна точність замикальної ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до відповідних груп. Перевагою цього методу є можливість підвищення точності замикальної ланки, не підвищуючи точність складових ланок. Недоліком є ускладнення контролю, зростання трудомісткості складання, можливість незавершеного виробництва. Застосовують у масовому та крупносерійному виробництві.

Розрахунки виконуються за методом максимуму-мінімуму. Основними розрахунковими формулами є формули (5) та (8).

Кількість груп сортування деталей визначається, як:

$$n_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^{m+n} TA_i}{TA_{\Delta}} \quad (18)$$

де TA_i – економічно прийнятні виробничі допуски складових ланок; TA_{Δ} – допуск замикальної ланки; m – кількість збільшувальних ланок; n – кількість зменшувальних ланок.

Отримане число округляється до цілого. Зазвичай, кількість груп сортування $n_{\text{гр}}$ береться від 2 до 5, тільки у виробництві підшипників $n_{\text{гр}} = 10 \dots 15$.

Допуск складової ланки в межах однієї групи (груповий допуск) становить:

$$TA_{i \text{ гр.}} = \frac{TA_i}{n_{\text{гр}}} \quad (19)$$

відповідно допуск замикальної ланки буде:

$$TA_{\Delta} = n \sum_1^{m+p} TA_{i \text{ гр.}} \quad (20)$$

Причому необхідно дотримуватись умови рівності суми допусків збільшувальних та зменшувальних ланок.

Селективне складання доцільніше застосовувати, коли в посадках допуски отвору і валу однакові ($TD=Td$), тоді груповий зазор або натяг для кожної групи сортування залишається постійним і з'єднання отримуються більш однорідним.

6. Метод припасування.

За цим методом потрібна точність замикальної ланки розмірного ланцюга досягається під час складання за рахунок зміни розміру наперед визначеної деталі – компенсатора, шляхом зняття з нього певного шару матеріалу. Розміри усіх складових ланок виготовляють за економічно прийнятними допусками, зумовленими умовами виробництва. В результаті допуск замикальної ланки TA'_Δ може перевищувати встановлений допуск замикальної ланки TA_Δ : $TA'_\Delta > TA_\Delta$

Величина компенсації, яка повинна бути видалена з розмірного ланцюга шляхом зміни розміру компенсуючої ланки визначається, як:

$$TA_k = TA'_\Delta - TA_\Delta \quad (21)$$

Виробничий допуск замикальної ланки TA'_Δ визначається з урахуванням допуску компенсуючої ланки: за формулою (5), якщо задача вирішується методом максимуму-мінімуму або за формулою (11), якщо задача вирішується ймовірнісним методом.

Для того, щоб забезпечити на компенсаторі шар матеріалу (припуск), необхідний для припасування i , в той же час, достатній для видалення максимального відхилення замикальної ланки, до координати середини поля допуску компенсуючої ланки додається поправка Δ_k :

$$\Delta_k = \frac{TA_k}{2} + ECA_{\Delta'} - ECA_{\Delta} \quad (22)$$

де $ECA_{\Delta'}$ – середина поля допуску замикальної ланки, розрахована за встановленими економічно доцільними серединами полів допусків складових ланок; ECA_{Δ} – середина заданого поля допуску замикальної ланки.

За компенсуючу ланку (компенсатор) береться деталь, що входить в розмірний ланцюг, зміна розміру якої, під час додаткового оброблення, потребує найменших витрат. Це може бути кільце, втулка, планка тощо.

Перевагою методу припасування є можливість забезпечення високої точності замикальної ланки за виготовлення складових ланок з економічно прийнятними допусками. Недоліками цього методу є ускладнення та здорожчання виготовлення, так як припасувальні роботи, в основному, виконуються вручну висококваліфікованими робітниками, також ускладнюється планування та нормування виробництва.

7. Метод регулювання.

За цим методом потрібна точність замикальної ланки розмірного ланцюга досягається під час складання зміною розміру компенсуючої ланки без видалення матеріалу або зміною її положення. Розміри складових ланок виготовляють за економічно прийнятними допусками.

Застосовуються нерухомі або рухомі компенсатори. У якості нерухомих компенсаторів застосовують комплекти деталей: змінні кільця, прокладки, втулки, шайби тощо. Комплект змінних деталей складається із декількох груп (ступенів), кількість яких N визначається потрібною величиною компенсації TA_K (21) і допуском замикальної ланки TA_Δ :

$$N = \frac{TA_\Delta'}{TA_\Delta - TA_K} \quad (23)$$

де TA_K – допуск на виготовлення нерухомого компенсатора.

Товщина s кожної змінної прокладки повинна бути менша допуску замикальної ланки:
 $s \leq TA_\Delta$.

Залежно від величини TA_K підбирають змінну деталь з відповідної групи або змінюють їхню кількість.

У якості рухомих компенсаторів застосовують спеціальні конструкції деталей - регульовані упори, клини тощо, за рахунок регулювання положення яких (переміщення або повороту) досягається потрібне значення замикальної ланки.

Перевагою методу регулювання є можливість призначення економічно прийнятних допусків складових ланок та можливість регулювання розміру замикальної ланки не тільки під час складання, а й під час експлуатації механізму, наприклад, для компенсації зношування.

Недоліком є можливе збільшення деталей в механізмі, а значить, ускладнення конструкції та складання.

Література

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 188 с.
1. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання (2-е видання доповнене і перероблене): Підручник / За ред. Сірого І.С. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 353 с.
2. Железна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2004. – 796 с.