

УДК 621.01.075.

О. В. Дерібо, канд. техн. наук, доц.;  
Ж. П. Дусанюк, канд. техн. наук, доц.

## ДОСВІД ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «СУМАРНА ПОХИБКА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ЇЇ СКЛАДОВІ» ДИСЦИПЛІНИ «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН»

*Розглянуто особливості запропонованого авторами статті підходу до вивчення студентами теми «Сумарна похибка механічної обробки та її складові» дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин». Ці особливості полягають у тому, що спочатку студент має якісно проаналізувати ступінь впливу на сумарну похибку обробки всіх елементарних похибок і тільки після цього визначати їх кількісні значення і, відповідно, кількісне значення сумарної похибки обробки. Наведено приклади розв'язання таких задач.*

### Вступ і постановка задачі

Розвиток машинобудування, постійне підвищення вимог до якості машин та приладів, скорочення термінів розроблення конструкцій і освоєння виробництва нових виробів, необхідність забезпечення високої точності і стабільності технологічних процесів вимагають від інженерів-машинобудівників ґрунтовних знань і навиків щодо забезпечення точності механічної обробки. Теоретичною основою цих знань і навиків є тема «Сумарна похибка механічної обробки та її складові» дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин» (ТОТВДСМ). На кафедрі «Технологія та автоматизація машинобудування» Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) є багаторічний досвід викладання цієї важливої і досить непростой з точки зору засвоєння студентами теми. Тому *метою статті* є ознайомлення із цим досвідом викладачів машинобудівних дисциплін з інших ВНЗ.

На думку авторів, матеріали статті певною мірою можуть бути корисними також інженерам-машинобудівникам під час проектування нових та аналізу наявних технологічних процесів механічної обробки.

### Основні підходи до викладання матеріалу теми

Під час викладання курсу «ТОТВДСМ» темі «Сумарна похибка механічної обробки та її складові» обов'язково передусе розгляд теми «Способи отримання технологічних розмірів під час механічної обробки». У ній робиться наголос на тому, що спосіб спробних робочих ходів і промірів використовується для отримання технологічних розмірів тільки в умовах одиничного виробництва і лише тоді, коли певний дійсний розмір може бути легко визначений за допомогою універсального вимірювального інструмента без знімання заготовки з верстатного пристрою. Найчастіше такими розмірами є діаметральні розміри і лінійні розміри між площинами. Тому в переважній більшості випадків для виготовлення деталей використовують спосіб автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах. Через це визначення складових сумарної обробки викладається саме для випадків обробки *партії заготовок* на настроєному верстаті.

Відомо [1], що похибки, які впливають на точність механічної обробки заготовок деталей машин на настроєних на розмір обробки металорізальних верстатах, поділяють на три групи:

- похибки встановлення заготовок у верстатний пристрій  $\varepsilon_y$  (далі — похибка встановлення);
- похибки настроєння верстата  $\varepsilon_H$  (далі — похибка настроєння);
- похибки, що зумовлені самим процесом обробки; до них відносяться:
  - а) похибки, що спричиняються пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання  $\varepsilon_{пд}$ ;
  - б) похибки, що спричиняються розмірним зносом різального інструмента  $\varepsilon_i$ ;

в) похибки, що спричиняються геометричною неточністю верстата  $\varepsilon_B$  ;

г) похибки, що спричиняються тепловими деформаціями технологічної системи  $\varepsilon_T$  .

Згідно з [2], сумарна похибка механічної обробки на лінійні розміри, які координують розташування певної поверхні відносно іншої поверхні, визначається з формули

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{1}{K} \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_H^2 + \varepsilon_{\text{пд}}^2 + (1,73 \varepsilon_i)^2 + (1,73 \varepsilon_B)^2 + (1,73 \varepsilon_T)^2} . \quad (1)$$

Очевидно, ця формула може бути використана і для визначення сумарної похибки кутових розмірів (наприклад, відхилень від паралельності чи перпендикулярності) з урахуванням того, що настроювання верстата на забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. Тому можна вважати, що у цьому випадку  $\varepsilon_H = 0$  .

Формула (1) можна скористатися і для визначення сумарної похибки на показники точності макроегеометрії (наприклад, відхилень від круглості, циліндричності, прямолінійності, площинності тощо) також з урахуванням того, що настроювання верстата для забезпечення цих вимог під час обробки партії заготовок зазвичай не виконується. На ці показники точності не впливає також схема установа заготовки у верстатний пристрій і тому можна вважати, що у цьому випадку  $\varepsilon_H = 0$  і  $\varepsilon_y = 0$  .

Оскільки на точність діаметральних розмірів похибка встановлення не впливає, то згідно з [2], сумарна похибка на такі розміри складатиме

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{2}{K} \sqrt{\varepsilon_H^2 + \varepsilon_{\text{пд}}^2 + (1,73 \varepsilon_i)^2 + (1,73 \varepsilon_B)^2 + (1,73 \varepsilon_T)^2} . \quad (2)$$

У формулах (1) і (2)  $\frac{1}{K}$  — коефіцієнт, який залежить від бажаної імовірності роботи без браку [2].

Під час лекцій і практичних занять особлива увага студентів звертається на те, що сумарна похибка визначається не на обробку поверхні в цілому, а на конкретний показник точності (розмір між поверхнями чи діаметральний розмір) або на іншу вимогу точності (відхилення від співвісності, перпендикулярності, паралельності, циліндричності, площинності, прямолінійності тощо). Це твердження повною мірою стосується і кожної із складових сумарної похибки (елементарної похибки).

Викладення матеріалу під час вивчення елементарних похибок ґрунтується на відомих підручниках та навчальних посібниках [1, 3, 4, 5], монографії [6], довіднику [2] та виданими у ВНТУ за участі авторів статті навчальних посібниках [7, 8].

Стосовно кожної з елементарних похибок на лекціях, практичних заняттях і під час виконання лабораторних робіт розглядаються такі питання: механізм (причини) виникнення; характер виявлення (систематична постійна; систематична, що закономірно змінюється чи випадкова); шляхи зменшення; випадки, у яких похибка відсутня.

Важливим є те, що перед визначенням кількісного значення певної елементарної похибки, студент має переконатись, що ця похибка за таких технологічних умов впливатиме на точність обробки і, відповідно, на величину сумарної похибки.

### Зміст практичних занять і лабораторних робіт

Зміст *першого* практичного заняття («Аналіз можливості впливу елементарних похибок на точність механічної обробки») з цієї теми полягає у проведенні якісного оцінювання наявності чи відсутності впливу елементарних похибок на певний показник точності. Студентам пропонуються задачі (індивідуальні завдання), приклади яких є в навчальному посібнику [7].

На початку практичного заняття викладач привертає увагу студентів на те, що розв'язуючи задачу, слід обов'язково враховувати таке:

1. Похибка встановлення за будь-яких технологічних умов не впливає на точність діаметральних розмірів і розмірів, що визначають відносне розташування поверхонь, отримуваних обробкою з одного установа.

2. Виконання принципу суміщення баз запобігає появі лише похибки базування. На інші складові похибки встановлення дотримання цього принципу ніяк не впливає.

3. Вид схеми базування і, відповідно, похибка базування не впливає на показники точності форми поверхонь (площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості тощо).

4. Похибка закріплення не впливає на точність розмірів, які направлені перпендикулярно до напрямку дії сили закріплення.

5. Похибка настроєння впливає на точність певного розміру тільки тоді, коли перед обробкою партії заготовок передбачене настроювання верстата або різального інструмента на цей розмір.

6. Похибка, що спричиняється пружними деформаціями технологічної системи під дією сил різання практично не впливає на точність діаметральних розмірів отворів у заготовках з достатньою товщиною стінок у випадках, якщо ці отвори обробляються інструментами з декількома різальними кромками (спіральними свердлами, зенкерами, розвертками, розточувальними головками тощо).

7. Похибка, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента, не впливає на міжосьові розміри і, відповідно, на співвісність циліндричних поверхонь.

8. Похибки, що спричиняються температурними деформаціями технологічної системи, практично завжди впливають на точність лінійних і кутових розмірів, показники точності геометричної форми поверхонь та інші вимоги точності. На переходах попередньої обробки цим впливом зазвичай нехтують. Якщо ж механічна обробка має забезпечувати жорсткі допуски, то у відповідності з рекомендаціями [2] величину  $\varepsilon_T$  можна наближено знайти за формулами:  $\varepsilon_T = (0,1 \div 0,15) \Delta_{\Sigma}$  (для обробки лезовим інструментом) і  $\varepsilon_T = (0,3 \div 0,4) \Delta_{\Sigma}$  (для шліфування).

У формулах (3) і (4)  $\Delta_{\Sigma}$  — сумарна похибка механічної обробки без урахування похибки базування і самої похибки, що спричиняється температурними деформаціями.

Наведені вище рекомендації далеко не повністю охоплюють усі можливі випадки впливу тієї чи іншої елементарної похибки на сумарну похибку обробки. Але з використанням знань з вивчених раніше фундаментальних та загальноінженерних дисциплін та відповідних розділів курсу ТОТВДСМ, студент цілком спроможний самостійно виконати якісний і кількісний аналіз точності обробки на певній операції і певному переході з урахуванням конкретних технологічних умов.

Порядок виконання індивідуального завдання:

1. Накреслити операційний ескіз.

2. Послідовно проаналізувати якісно (без розрахунків) можливість впливу (впливатиме чи не впливатиме) кожної із заданих в умові задачі елементарних похибок на заданий розмір або іншу вимогу точності.

3. Якщо елементарна похибка впливатиме на сумарну похибку за даних технологічних умов, то слід записати формулу або скласти розмірний ланцюг (якщо це похибка базування), з використанням яких цю похибку можна знайти.

4. Пояснити, який характер виявлення матимуть ті елементарні похибки, що впливатимуть на величину сумарної похибки.

### Приклади виконання індивідуального завдання

#### Приклад 1

Для операції фрезерування (рис. 1) партії заготовок (рис. 1) проаналізувати можливість впливу на точність розміру  $62_{-0,2}$  мм елементарних похибок: похибки базування; похибки настроєння; похибки закріплення за таких умов:

- обладнання — вертикально-фрезерний верстат;
- різальний інструмент — торцева фреза.

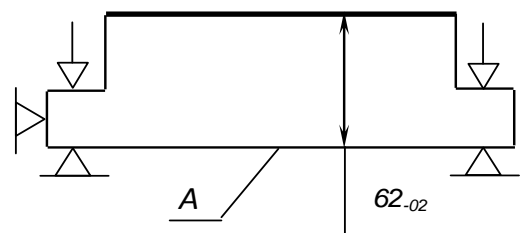


Рис. 1. Операційний ескіз до прикладу 1

#### Розв'язання задачі

1. Похибка базування на точність розміру  $62_{-0,2}$  не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз — технологічна база збігається з вимірювальною (площиною  $A$ ).

2. Похибка настроєння впливатиме на точність розміру  $62_{-0,2}$ , оскільки перед обробкою партії заготовок на цій операції робітник настроює фрезу на розмір обробки. Похибка настроєння визначається за формулою

$$\varepsilon_H = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + (K_B \varepsilon_B)^2},$$

де  $\varepsilon_p$  — похибка регулювання;  $\varepsilon_B$  — похибка вимірювання;  $K_p = 1,73$  і  $K_B = 1,0$  — коефіцієнти, що враховують відхилення законів розподілу похибок  $\varepsilon_p$  і  $\varepsilon_B$  від закону нормального розподілу.

За характером виявлення похибка настроєння є випадковою похибкою.

3. Похибка закріплення впливатиме на точність розміру  $\varnothing 60_{-0,2}$ , оскільки сили закріплення направлені паралельно цьому розміру. Величину похибки закріплення можна знайти з використанням співвідношення

$$\varepsilon_3 = y_{\max} - y_{\min},$$

де  $y_{\max}$  і  $y_{\min}$  — відповідно, максимальне і мінімальне зміщення вимірювальної бази під дією сил закріплення.

За характером виявлення похибка закріплення є випадковою похибкою.

## Приклад 2

Для операції токарної обробки (рис. 2) партії заготовок проаналізувати можливість впливу на точність обробки циліндричної поверхні стосовно вимоги співвісності елементарних похибок: похибки базування; похибки настроєння; похибки, що спричиняється неточністю виготовлення і складання установних елементів пристрою за таких умов:

— обладнання — токарно-револьверний верстат з ЧПК;

— різальний інструмент — прохідний різець.

*Розв'язання задачі*

1. Похибка базування на вимогу співвісності у випадку, що розглядається, не впливатиме, оскільки виконується принцип суміщення баз — вимірювальна база (вісь поверхні  $\varnothing 60_{-0,2}$ ) використовується і за технологічну базу завдяки встановленню заготовки саме на цю поверхню в трикулачковому самоцентрувальному патроні.

2. Похибка настроєння не впливатиме на розташування осі оброблюваної циліндричної поверхні  $\varnothing 72_{-0,05}$  відносно осі поверхні  $\varnothing 60_{-0,2}$ , оскільки перед обробкою партії заготовок верстат не настроюється на забезпечення вимоги співвісності.

3. Похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання встановлювальних елементів пристрою (трикулачкового самоцентрувального патрона) безпосередньо впливатиме на дійсне значення відхилення від співвісності. Це відхилення і, відповідно, розглядувана похибка дорівнюватиме відстані між осями контрольної оправки, затиснутої в кулачках патрона, і віссю циліндричної або конічної поверхні патрона, яка є його конструкторською основною базою.

Якщо партія заготовок обробляється на одному верстаті, то похибка, що спричиняється неточністю виготовлення і складання встановлювальних елементів пристрою, за характером виявлення є систематичною постійною похибкою.

У *другому* практичному занятті [7] з цієї теми «Розрахунок точності механічної обробки» студентам пропонується кількісно визначити елементарні похибки і сумарну похибку обробки циліндричної поверхні, порівняти отримане значення сумарної похибки з допуском, зробити висновки про можливість обробки за таких технологічних умов і, за необхідністю, запропонувати заходи щодо зменшення тих елементарних похибок, які мають найбільший вплив на сумарну похибку. Аналогічна задача запропонована також в навчальному посібнику [1].

Визначення окремих складових сумарної похибки обробки розглядається і під час виконання лабораторних робіт з такими темами: «Дослідження базування заготовок у системі прямокутних координат»; «Дослідження похибки базування, що виникає під час установлення партії заготовок у призму»; «Визначення похибки закріплення заготовки в трикулачковому самоцентрувальному спіральньо-рейковому патроні»; «Визначення похибки закріплення, яка виникає з установленням

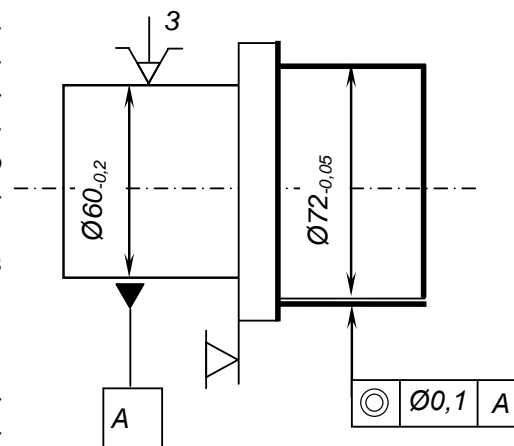


Рис. 2. Операційний ескіз до прикладу 2

тонкостінного кільця в трикулачковий самоцентрувальний патрон»; «Дослідження похибки механічної обробки, що спричиняється деформаціями системи ВПД від дії сили різання»; «Визначення похибки установа інструмента на еталон, як складової похибки настроєння» [8].

### Висновки

1. Запропоновано підхід до вивчення теми «Сумарна похибка механічної обробки та її складові» дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин», сутність якого полягає в тому, що спочатку студент має навчитись якісно оцінювати ступінь впливу на сумарну похибку обробки всіх елементарних похибок і тільки після цього визначати їх кількісні значення і, відповідно, кількісне значення сумарної похибки обробки. Це сприяє систематизації знань і суттєво спрощує аналіз точності механічної обробки.

2. Матеріали статті можуть бути використані у навчальному процесі, а також для аналізу наявних та проектування нових технологічних процесів механічної обробки на машинобудівних підприємствах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / [Аверченков А. В., Суслев А. Г., Ильницкий В. Б. и др.] ; под ред. О. А. Горленко. — М : Машиностроение, 1988. — 216 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т. 1 / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.
3. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Б. С. Балакшин. — М. : Машиностроение, 1969. — 358 с.
4. Маталин А. А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Маталин. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
5. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Колесов. — М. : Высшая школа, 2001. — 591 с.
6. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
7. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1 : практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 114с.
8. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Лабораторний практикум / [Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Мироненко О. М. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 119 с.

Рекомендована кафедрою технології та автоматизації машинобудування

Стаття надійшла до редакції 20.09.11  
Рекомендована до друку 26.09.11

*Дерібо Олександр Володимирович* — доцент, *Дусанюк Жана Павлівна* — доцент.

Кафедра технології та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця