

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра ТАМ

# Магістерська кваліфікаційна робота

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

на тему:

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ  
ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ  
«КОРПУС ЧЕРВ'ЯЧНОГО РЕДУКТОРА»

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Дерібо О. В.

Виконав: ст. гр. 1ПМ-17м

Перебейніс Ю.М.

## Мета і завдання дослідження

**Метою роботи** є удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора» та порівняльний аналіз техніко-економічних показників обробки заготовок партії деталей на верстатах з ЧПК з побудовою маршрутів механічної обробки за принципами диференціації і концентрації операцій, також виявлення факторів, які найсуттєвіше впливають на точність і продуктивність механічної обробки.

Для досягнення поставленої мети виконувались такі **завдання**:

- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та найраціональніший спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;
- спроектувати маршрут механічної обробки деталі;
- виконати розмірно-точнісне моделювання механічної обробки заготовки деталі, визначити технологічні розміри, розміри вихідної заготовки і припуски на обробку плоских поверхонь;
- визначити припуски на механічну обробку точних циліндричних поверхонь;
- визначити технологічні розміри, розміри вихідної заготовки і припуски на обробку циліндричних поверхонь;
- визначити сумарні похибки механічної обробки і коефіцієнти уточнення, що забезпечується тонким розточуванням для двох варіантів матеріалу заготовки деталі (Чавун СЧ18 та алюмінієвий ливарний сплав АК7).
- розрахувати режими різання;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та робітників, які необхідні для забезпечення механічної обробки заготовки деталі;
- розрахувати економічну доцільність впровадження удосконаленого ТП;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес механічної обробки заготовки корпусної деталі.

**Предмет дослідження.** Технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора».

# Наукова новизна, практичне значення одержаних результатів

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна роботи полягає в подальшому розвитку методу аналізу точності, що забезпечується тонким розточуванням головних отворів на багатоцільових свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах.

**Практичне значення одержаних результатів:** Полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора» а також дільниці механічної обробки деталей типу «Корпус черв'ячного редуктора», при цьому запропоновані такі нові рішення:

- 1) для двох альтернативних способів виготовлення заготовки – лиття в оболонкові форми та лиття в піщано-глинисті форми спроектовано заготовки та за собівартістю встановлено, що доцільним варіантом є виготовлення заготовки литтям в піщано-глинисті форми, оскільки вартість заготовки при цьому складає 1788,63 грн., що менше у порівнянні з лиття в оболонкові форми – 2902,76 грн.;
- 2) розроблено удосконалений технологічний процес механічної обробки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора»; розрахунки підтверджують доцільність впровадження удосконаленого технологічного процесу;
- 3) для удосконаленого технологічного процесу заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора» розроблено план дільниці механічної обробки, яка по ходу технологічної обробки містить 4 верстата, що обслуговуються 6 основними і 1 допоміжними працівниками.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення й результати роботи доповідалися й обговорювалися на таких науково-технічних конференціях:

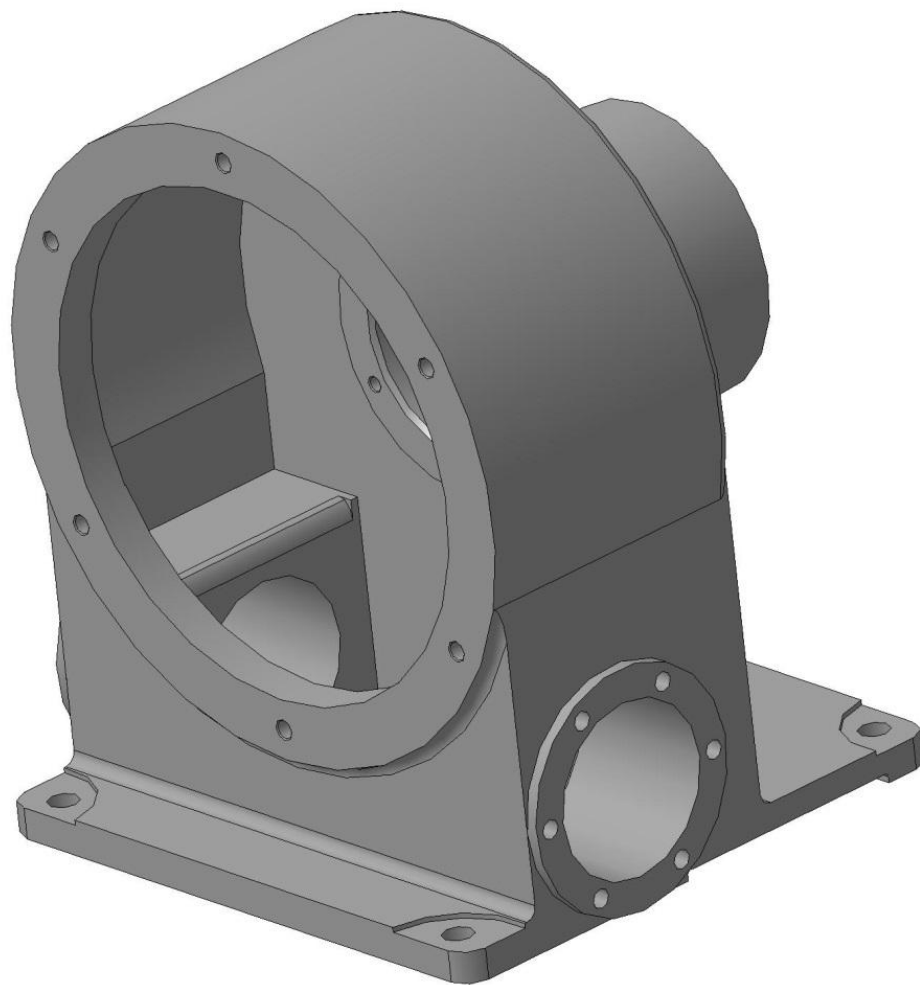
- 1) XLVI Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2017), (м. Вінниця, 21 – 22 листопада 2017 р. – Вінниця : ВНТУ, 2017).
- 2) XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Промислова гідравліка і пневматика», Вінниця, 3 – 6 жовтня 2017 р.

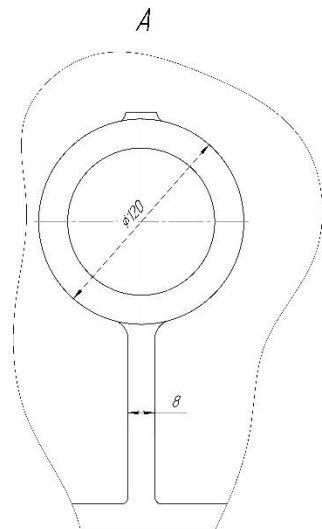
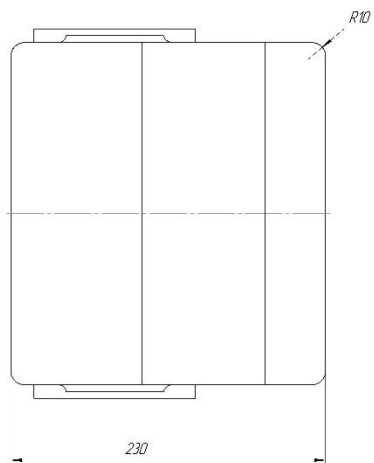
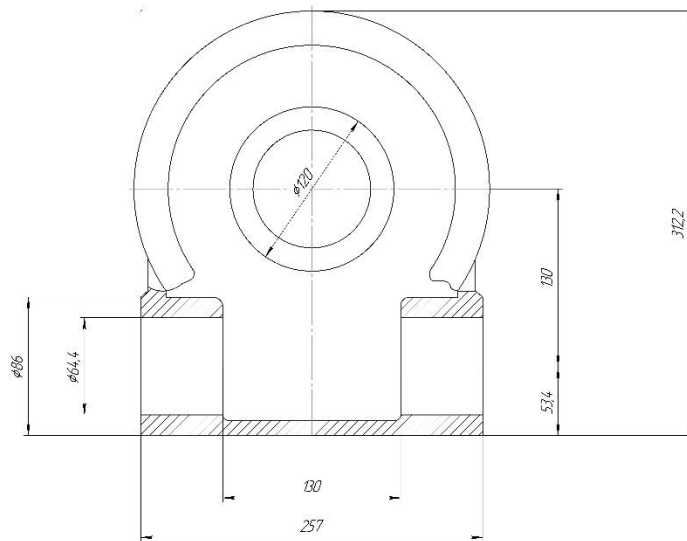
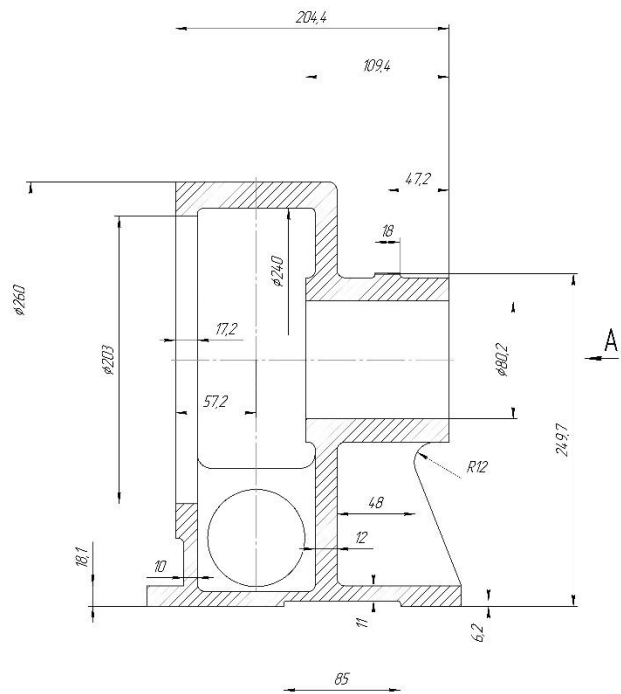
**Публікації.** Оpubліковано 2 тези доповідей:

- 1) О.В. Дерібо. Визначення коефіцієнта уточнення, що забезпечується тонким розточуванням головних отворів корпусних деталей / О.В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, Ю.М. Перебейніс, О.Є. Железняк // XLVI Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (березень 2017 р.).
- 2) О.В. Дерібо. Визначення коефіцієнта уточнення, що забезпечується точінням та розточуванням на верстатах з ЧПК / О.В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, Ю.М. Перебейніс // Матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції Промислова гідравліка і пневматика м. Вінниця, 3-6 жовтня 2017 р. – С.98.



# 3D-модель деталі

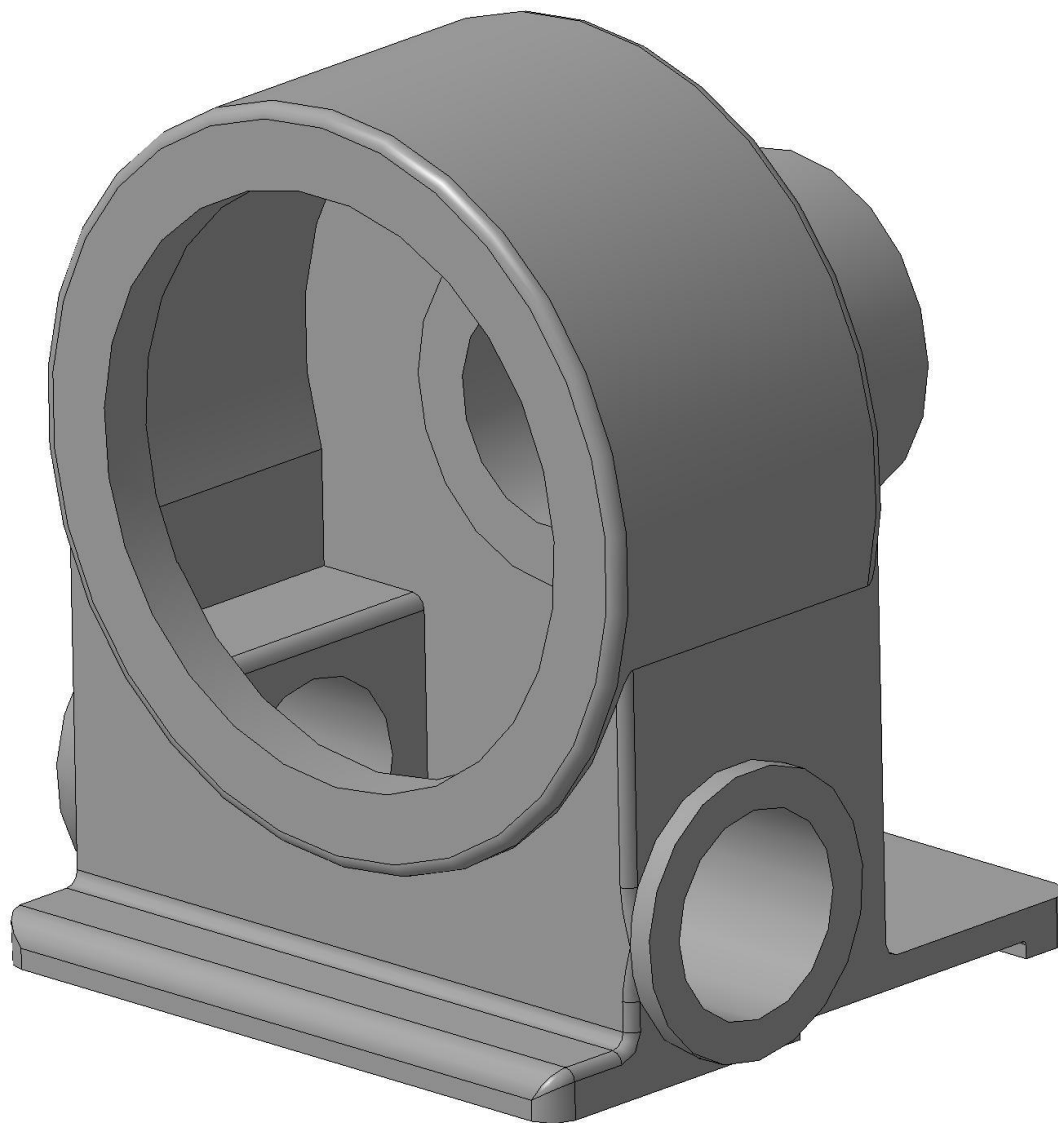




- 1.Точність вилівка 9т-7-12-9т 3м.1ГОСТ 26645-85
- 2.Міка 8,34-3,5-1184 ГОСТ 26645-85
- 3.Невказані ліфрані радіуси 2 мм
- 4.Невказані ліфрані нахили 113°
- 5.Допоказується раковини, пустоти в 2мм на глибини 2,2мм

				<b>08-26.МКР.022.00.002</b>		
				Карпус черв'ячного редуктора		
				(вилівка)		
				Лист	Міка	Масштаб
					1184	21
				AK-7 ГОСТ 2685-75 ВНТ4,2р ПМ-17м		
				Корпусовий		
				Знак		

# 3D-модель виливка



# Маршрут механічної обробки

## Операція 005

№ опер	Найменування операції. Зміст переходу	Схема установки деталі та ескіз обробки	Обладнання
005	<p><u>Вертикально фрезерна з ЧПК</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Фрезерувати площину 1 попередньо в розмір 16,35-11 мм.</li> <li>Центрувати 4 отвори 2.</li> <li>Сверлити 4 отвори 2 згідно ескіза.</li> <li>Фрезерувати площину 1 остаточно згідно ескіза.</li> </ol>	<p style="text-align: center;">A-A</p> <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra25}</math></p> <p style="text-align: right;">H14; h14; <math>\pm \frac{1}{2}</math></p>	<p style="text-align: center;">Вертикально фрезерний з ЧПК модель ГФ.2171 МФ3</p>

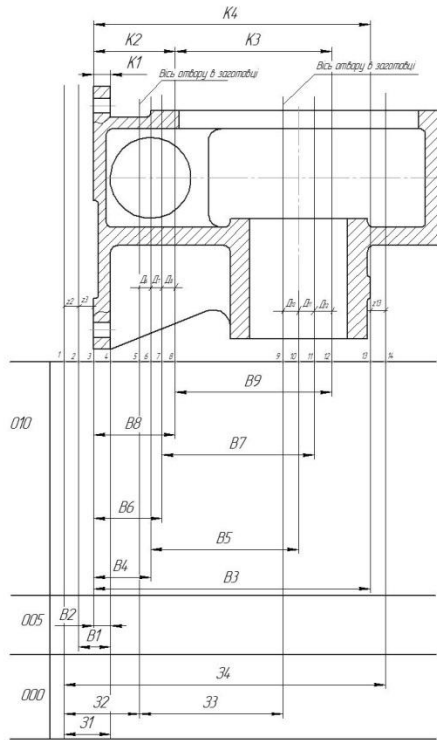


# Операція 010

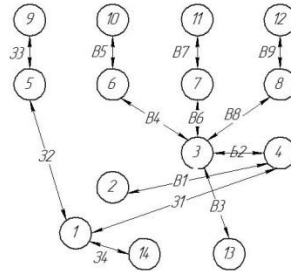
№ опер	Найменування операції. Зміст переходу	Схема установки деталі та ескіз обробки	Обладнання
010	<p><b>Комбінована</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фрезерувати площини 1, 2, 3, 4, 9 попередньо і 15 однократно.</li> <li>2. Розточити отвір 5 попередньо в розмір <math>85,034^{+0,35}</math> мм.</li> <li>3. Фрезерувати отвір 6 попередньо в розмір <math>209,545^{+0,15}</math> мм.</li> <li>4. Розточити отвори 7, 8 попередньо в розмір <math>70,36^{+0,25}</math> мм.</li> <li>5. Фрезерувати площини 1, 2, 3, 4, 9 попередньо.</li> <li>6. Розточити отвір 5 попередньо в розмір <math>85,814^{+0,15}</math> мм.</li> <li>7. Розточити отвори 7, 8 попередньо в розмір <math>70,79^{+0,12}</math> мм.</li> <li>8. Центрувати отвори 10, 11, 12, 17.</li> <li>9. Сверлити отвори 10, 11, 12.</li> <li>10. Сверлити отвір 17.</li> <li>11. Нарізати різь в отворах 10, 11, 12.</li> <li>12. Нарізати різь в отворі 17.</li> <li>13. Фрезерувати 4 фаски 13 та 14.</li> <li>14. Фрезерувати площини 1, 2, 3, 4, 9 остаточно згідно ескіза.</li> <li>15. Розточити отвір 5 остаточно згідно ескіза.</li> <li>16. Розточити отвір 6 остаточно згідно ескіза.</li> <li>17. Розточити отвори 7, 8 остаточно згідно ескіза.</li> <li>18. Фрезерувати 4 платики 16 однократно згідно ескіза.</li> </ol>	<p style="text-align: right;">√ Ra 25 (VT)</p> <p style="text-align: right;">Вертикальний багатопрохідний з поворотним столом моделі HIAS VFZ</p> <p style="text-align: right;">H14, h14, ± 0.05</p>	

# Розмірний аналіз технологічного процесу

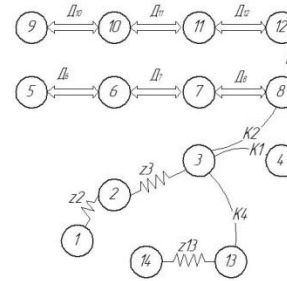
Розмірна схема технологічного процесу



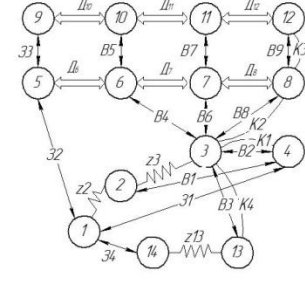
Похідний граф-дерево



Вихідний граф-дерево



Суміщений граф-дерево



Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ л-ня	Розрахунок	Вихідне рівняння	Розмір що визначається
1	$-K_1 + B_1 = 0$	$K_1 = B_1$	$B_1$
2	$-K_1 + B_2 = 0$	$K_1 = B_2$	$B_2$
3	$-K_1 + B_3 = 0$	$K_1 = B_3$	$B_3$
4	$-K_1 + B_4 = 0$	$K_1 = B_4$	$B_4$
5	$-z_1 + B_1 - B_2 = 0$	$z_1 = B_1 - B_2$	$B_1$
6	$-z_1 + z_2 - B_1 = 0$	$z_2 = z_1 - B_1$	$z_1$
7	$-L_1 - B_1 + B_2 = 0$	$L_1 = B_2 - B_1$	$B_1$
8	$-L_1 - B_1 + B_3 = 0$	$L_1 = B_3 - B_1$	$B_1$
9	$-L_1 - z_1 + z_2 - B_1 + B_2 = 0$	$L_1 = z_2 - z_1 - B_1 + B_2$	$z_1$
10	$-L_1 - B_1 - B_2 + B_3 + B_4 = 0$	$L_1 = B_3 - B_1 - B_2 + B_4$	$B_1$
11	$-L_1 - B_1 - B_2 + B_3 + B_4 = 0$	$L_1 = B_3 - B_1 - B_2 + B_4$	$B_1$
12	$-L_1 - z_1 - z_2 + z_3 - B_1 + B_2 + B_3 = 0$	$L_1 = z_3 - z_1 - z_2 - B_1 + B_2 + B_3$	$z_1$
13	$-z_1 - B_1 + B_2 - z_2 + z_3 = 0$	$z_2 = z_3 - B_1 + B_2 - z_1$	$z_1$

Результати розмірного аналізу

Позначення розміру	Граничні значення розмірів			Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі
	мінімальний розмір	максимальний розмір	Допуск		
$B_1$	15,25	16,35	1,1	15,35	$15,35_{-0,11}$
$B_2$	14,4	15	0,7	15	$15_{-0,6}$
$B_3$	24,24	24,3	1	24,3	$24,3_{-0,6}$
$B_4$	49,805	50,195	0,39	50	$50_{-0,195}$
$B_5$	129,685	130,315	0,63	130	$130_{-0,315}$
$B_6$	49,92	50,08	0,16	50	$50_{-0,08}$
$B_7$	129,875	130,125	0,25	130	$130_{-0,125}$
$B_8$	49,8	50,2	0,1	50	$50_{-0,2}$
$B_9$	129,95	130,05	0,1	130	$130_{-0,05}$
$z_1$	17,55	18,65	1,1	18,1	$18,1_{-0,55}$
$z_2$	52,6	54,2	1,6	53,4	$53,4_{-0,8}$
$z_3$	129	131	2	130	$130_{-1}$
$z_4$	248,45	250,85	2,4	249,7	$249,7_{-1,2}$

Максимальні припуски

$Z_{max}$	$Z_{max}$	$Z_{max}$
3,4	1,95	5,9



## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УТОЧНЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ РОЗТОЧУВАННЯМ ГОЛОВНИХ ОТВОРІВ В ЗАГОТОВКАХ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТОЦІЛЬОВИХ СВЕРДИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

Метою роботи є виявлення впливу матеріалу заготовки на точність остаточного (тонкого) розточування і визначення відповідних коефіцієнтів уточнення.

Сумарна похибка обробки

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \varepsilon_n)^2 + (K_3 \varepsilon_{\text{пд}})^2 + (K_4 \varepsilon_i)^2 + (K_5 \varepsilon_p)^2 + (K_6 \varepsilon_{\text{т}})^2}$$

Елементарні похибки:

Похибка настроювання,  $\varepsilon_n = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + \left(\frac{K_{\text{вм}} \varepsilon_{\text{вм}}}{2}\right)^2}$

$\varepsilon_p = 2 \text{ мкм}; \varepsilon_{\text{вм}} = 1 \text{ мкм}; K_p = 1,73; K_{\text{вм}} = 1; \varepsilon_n = 4 \text{ мкм};$

Похибки, що спричиняються пружними деформаціями елементів системи ВПД,  $\varepsilon_{\text{пд}} = \omega_{\Sigma} (P_{x_{\text{max}}} - P_{x_{\text{min}}})$

$\varepsilon_{\text{пд}} = 2 \text{ мкм} - \text{СЧ18}; \quad \varepsilon_{\text{пд}} = 1 \text{ мкм} - \text{АК7};$

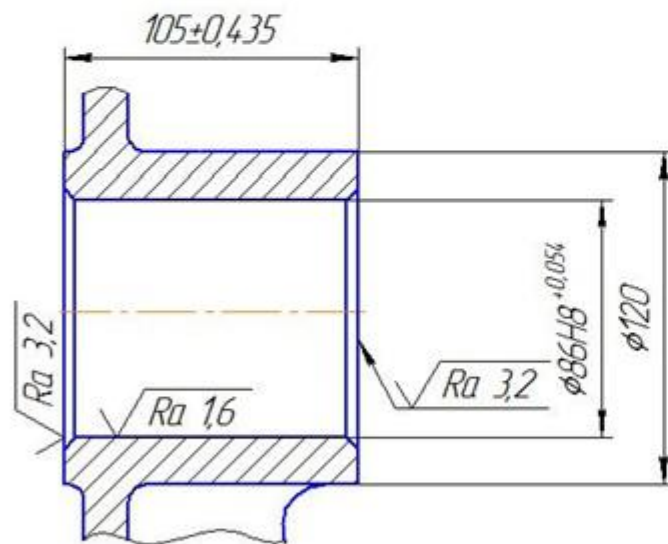
Похибки що виникають через розмірний знос інструмента,

$$\varepsilon_i = \frac{u_0 L}{1000}$$

$u_0 = 21,5 \text{ мкм/км} - \text{СЧ18}; u_0 = 0,001 \text{ мкм/км} - \text{АК7};$

$L = 45366 \text{ м};$

$\varepsilon_i = 21 \text{ мкм} - \text{СЧ18}; \quad \varepsilon_i = 1 \text{ мкм} - \text{АК7}.$



**Тонке розточування на свердильно-фрезерно-розточувальному верстаті**

## Елементарні похибки (продовження):

Похибка, що спричиняється геометричною неточністю верстата,

$$\epsilon_B = 5 \text{ мкм};$$

Похибка, що спричиняється, тепловими деформаціями елементів системи ВПД,

$$\epsilon_T = 0 \text{ мкм};$$

Сумарні похибки обробки,

$$\epsilon_{\Sigma} = 20 \text{ мкм.} - AK7;$$

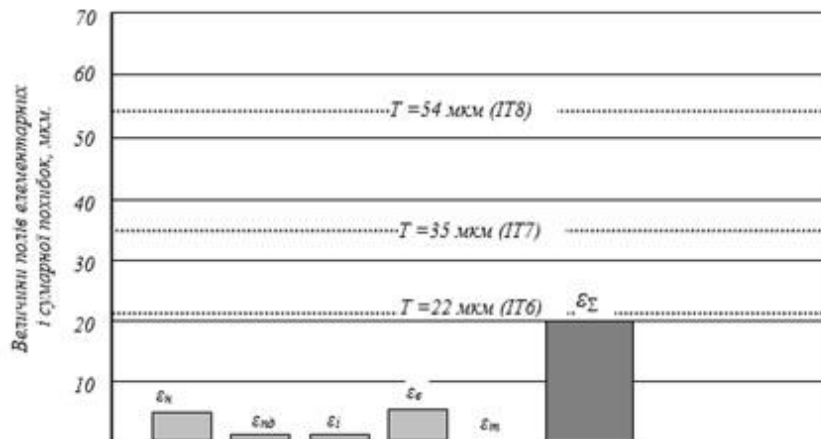
$$\epsilon_{\Sigma} = 45 \text{ мкм.} - CЧ18;$$

Коефіцієнти уточнення,

$$K_y = 4,35 - AK7;$$

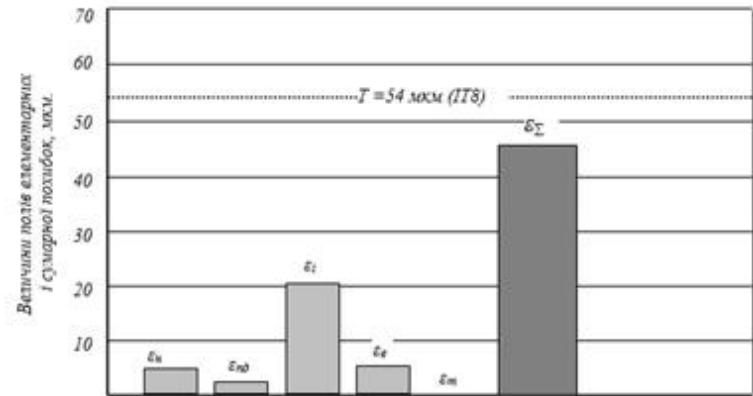
$$K_y = 1,9 - CЧ18.$$

Графік величин похибок для AK7



Поля елементарних і сумарної похибок

Графік величин похибок для CЧ18



Поля елементарних і сумарної похибок

### Висновки

1. На прикладі остаточної обробки точного отвору в заготовці корпусної деталі з сірого чавуну і з ливарного алюмінієвого сплаву проведений порівняльний аналіз з виявленням елементарних похибок, які мають вплив на сумарну похибку.

2. Показано, що найсуттєвіший вплив на точність остаточної обробки заготовок деталей з чавуну на верстаті з ЧПК має похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента. Величина коефіцієнта уточнення для розглянутих технологічних умов узгоджується із загальноприйнятими рекомендаціями.

3. Під час тонкого розточування отворів в заготовках з алюмінієвих сплавів інструментом з надтвердих матеріалів похибка, що виникає через розмірний знос інструмента майже не впливає на точність обробки. Це дозволяє обробляти великі партії заготовок без піднастроювання.

4. Величина коефіцієнта уточнення для тонкого розточування отворів в заготовках з алюмінієвих сплавів ( $K_y = 4,35$ ) показує, що під час розробки маршруту обробки можна зменшити кількість переходів. Але для прийняття рішення з цього питання потрібно визначити уточнені значення  $K_y$  для чорнової і напівчистої обробки.

5. Результати роботи можуть бути використані під час проектування нових технологічних процесів механічної обробки у машинобудівному виробництві і у навчальному процесі.

# Графіки завантаження обладнання



*Техніко-економічне порівняння варіантів технологічного процесу*

<i>Базовий технологічний процес</i>	<i>Удосконалений технологічний процес</i>
<i>Техніко-економічні показники</i>	
<i>Матеріал</i>	
АК7	АК7
<i>Спосіб виготовлення заготовки</i>	
<i>Лиття в оболонковій формі</i>	<i>Лиття в піщано-глинисті форми</i>
<i>Собівартість заготовки</i>	
2962,76 грн.	1788,63 грн.
<i>Коефіцієнт точності маси заготовки</i>	
0,62	0,72
<i>Кількість операцій</i>	
3 операцій	2 операції
<i>Кількість верстатів</i>	
5 верстатів	4 верстати
<i>Кількість працюючих</i>	
5 основних робітників	3 основних робітники
<i>Виробнича площа ділянки, м<sup>2</sup></i>	
39,94	28,44
<i>Виробнича собівартість одиниці продукції</i>	
2972,28 грн	2055,63 грн
<i>Капітальні вкладення</i>	
-	2376344,7 грн.
<i>Економічний ефект</i>	
-	412974,14 грн.
<i>Термін окупності</i>	
-	0,58 року

# ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та економічно обґрунтовано удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора». При цьому поставлено і виконано такі завдання.

1. Визначено тип виробництва і форма організації роботи, виконано аналіз технологічності конструкції деталі, вибрано спосіб виготовлення заготовки з урахуванням техніко-економічного порівняння доцільних варіантів – лиття в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням) і лиття в оболонкові форми. Для цих способів спроектовано заготовки та техніко-економічним порівнянням встановлено, що економічно доцільнішим варіантом є виготовлення заготовки литтям в піщано-глинисті форми (з машинним формуванням), оскільки вартість заготовки при цьому складає 1788,63 грн., що менше у порівнянні з литтям в оболонкові форми – 2962,76 грн.

2. Вибрано чистові і чорнові технологічні бази, спроектовано технологічний процес, виконано розмірний аналіз технологічного процесу, вибрано припуски на механічну обробку, встановлено режими різання та норми часу на виконання переходів і операцій.

3. Технологічний маршрут механічної обробки заготовки розроблений на основі типових технологічних процесів виготовлення подібних деталей, що дало змогу прискорити процес проектування і покращити якість розробки. Обладнання вибрано з урахуванням нових тенденцій обробки різанням, з урахуванням можливості використання високопродуктивних методів. Саме тому акцент було зроблено на використанні багатоцільових верстатів з ЧПК. Вибір моделей верстатів, способів виготовлення заготовки виконано на основі техніко-економічних розрахунків, що дало можливість вибрати оптимальні варіанти.

4. На прикладі остаточної обробки точного отвору в заготовці корпусної деталі з сірого чавуну і з ливарного алюмінієвого сплаву проведений порівняльний аналіз з виявленням елементарних похибок, які мають вплив на сумарну похибку. Показано, що найсуттєвіший вплив на точність остаточної обробки заготовок деталей з чавуну на верстаті з ЧПК має похибка, що зумовлена розмірним зносом різального інструмента. Величина коефіцієнта уточнення для розглянутих технологічних умов узгоджується із загальноприйнятими рекомендаціями.

5. Встановлено, що під час тонкого розточування отворів в заготовках з алюмінієвих сплавів інструментом з надтвердих матеріалів похибка, що виникає через розмірний знос інструмента майже не впливає на точність обробки. Це дозволяє обробляти великі партії заготовок без піднастроювання.



## ВИСНОВКИ

6. Величина коефіцієнта уточнення для тонкого розточування отворів в заготовках з алюмінієвих сплавів ( $K_u=4,35$ ) показує, що під час розробки маршруту обробки можна зменшити кількість переходів. Але для прийняття остаточного рішення з цього питання потрібно визначити уточнені значення  $K_u$  для чорнової і напівчистої обробки.

7. Для удосконаленого технологічного процесу, виконано проектування ділянки для реалізації удосконаленого технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус черв'ячного редуктора». При цьому визначено кількість необхідного обладнання, що склала 4 верстати; розраховано коефіцієнти завантаження 0,44 та 0,89 відповідно для 005 та 010 операцій; побудовано графіки завантаження обладнання; розраховано кількість необхідних працівників на ділянці – 7 чол.

8. Виконані розрахунки капітальних вкладень на удосконалення технологічного процесу та ділянки для його реалізації, які склали 2376344,7 грн. Визначено собівартість продукції, економічний ефект від впровадження удосконаленого технологічного процесу склав 4129741,7 грн. На основі отриманих даних спрогнозовано термін окупності впровадження технологічного процесу – 0,58 року, що не перевищує рекомендованого значення 3-5 років.

9. У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» доведено відповідність впроваджених розробок вимогам безпеки та проаналізовано умови праці на розробленій ділянці механічної обробки, а також виконано розрахунок занулення автомата на вимикаючу здатність та визначено максимальну величину напруги дотику.

Дякую за увагу!