


Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

До Замовця


ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Резніка Власа Миколайовича
(ПІБ)


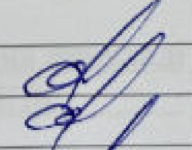



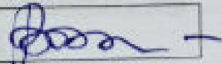
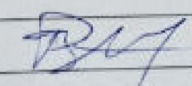
академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Комп'ютерне моделювання технології виготовлення деталі
«Корпус» та вибір раціональної структури технологічної системи»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Дербаба В.А.	78	добре	
розділів:				
Аналітичний	Дербаба В.А.	80	добре	
Технологічний	Дербаба В.А.	79	добре	
Спеціальний	Дербаба В.А.	75	добре	
Науково- дослідницький	Дербаба В.А.	75	добре	
Рецензент	Кривда В.В.	84	добре	
Нормоконтролер	Рубан В.М.	80	добре	

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Дніпро - 2025

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства

(повна назва)


(підпис)

В.А. Дербоба
(ініціали та прізвище)

« 15 » _____ 01 _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Резніку Власу Миколайовичу
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - швидкість виконання поставлених завдань в середовищі САМ-програми Autodesk PowerMill, функціональні можливості системи, складність роботи програми і повнота інформації.

Мета – ефективність використання інформаційних технологій на прикладі автоматизованої механічної обробки корпусної деталі на верстаті з ЧПК.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань режимних параметрів механічної обробки; 2) аналіз застосування інтерфейсу САМ-системи при виконанні конструкторських та технологічних задач; 3) визначення впливу режимів різання та стратегій фрезерної обробки на продуктивність і оптимальність керуючої програми для верстата з ЧПК.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено підхід до оцінки стратегій (траєкторій) фрезерної обробки деталі в САМ-системі Autodesk PowerMill та створення методики

залежності основного часу обробки від режимних параметрів обробки заданих матеріалів заготовки та інструментальних матеріалів циліндричних фрез.

Практична цінність - оптимізація стратегії обробки в САМ-програмі на прикладі корпусної деталі, скорочення (зменшення) часу на підготовку конструкторсько-технологічної документації, розрахунок оптимізованої керуючої програми для обладнання і скорочення часу механічної обробки на верстаті з ЧПК як наслідок.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створити практичні рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі типу Корпус за умов використання CAD-CAM систем.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-05.05.2025

Завдання видано


(підпис керівника)

В.А. Дербоба

(ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 5 травня 2025 р.

Прийнято до виконання


(підпис здобувача вищої освіти)

В.М. Резнік

(ініціали та прізвище)

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ЕЙ БІ ЕМ ТЕХНОЛОДЖИ».

1.1 Аналіз конструкторської і технологічної характеристика деталі

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

прокладкою 6. Для запобігання самовідкручування стопорний гвинт 7. На бічній поверхні корпусу передбачені отвори для підведення рідини від станції управління і приварені чотири вушка призначені для підйому превентора. Фланець корпусу є приєднувальним для кріплення превентора до блоку превенторного противикидного обладнання гирла свердловини.

Кришка 2 являє собою сталеву деталь із центральним прохідним отвором. У канавки внутрішньої порожнини встановлюються манжети 8 і 9.

Фланець кришки, в який загвинчуються шпильки з гайками, є приєднувальним для кріплення на превенторі агрегатів противикидного обладнання свердловини.

Ущільнювач 3 являє собою масивне гумове кільце, армоване металевими вставками, що надають жорсткості ущільнювача і запобігають витіканню гуми в процесі експлуатації.

Поршень 4 має ступінчасту форму. На поршні 4 встановлений ущільнювач 3. У зовнішні канавки поршня встановлюються манжети ущільнювачів 10 і 11.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 1.2 – "Корпус превентора" 3D модель

Корпус 1, кришка 2 і поршень 4 утворюють у превенторі дві гідравлічні камери: на відкривання (А) та на закривання (Б) превентора. Герметичність камер забезпечується манжетами ущільнювачів 8, 9, 10, 11, 12, 13. Через отвори корпусі ці камери з'єднані зі станцією управління. При нагнітанні масла

в гідравлічну камеру Б поршень 4 рухається вгору і обтискає ущільнювач 3, центральний отвір якого стискається, охоплює і ущільнює будь-яку частину колони труб, що опинилася в зоні ущільнювача або перекидає свердловину за відсутності в ній колон.

При нагнітанні масла в гідравлічну камеру закритого А превентора, поршень 4 з верхнього положення переміщається вниз, витісняючи масло в зливну лінію станції управління. Ущільнювач при цьому розтискається та набуває початкової форми.

Для роботи в зимовий час превентор має бути обладнаний камерою обігріву.

Превентор є частиною превенторного блоку противикидного обладнання свердловини, призначеного для герметизації гирла свердловини та виконання необхідних технологічних операцій при бурінні та капітальному ремонті нафтових та газових свердловин з метою попередження відкритих фонтанів та забруднення навколишнього середовища, а також забезпечення безпечних умов праці.

Превентори забезпечують розходження, повертання та протягування бурильних труб із замковими з'єднаннями (з фасками по обидва боки замкового з'єднання під кутом 18°), а також герметизацію гирла свердловини під час закриття ущільнювача на будь-якій частині бурильної колони, обсадних або насосно-компресорних труб, а також колони труб за аварійної ситуації.

Превентор призначений для експлуатації у робочих середовищах: нафта, газ, газоконденсат, буровий розчин, промивна рідина, вода та їх суміші з об'ємним вмістом CO_2 до 6 % (корозійностійке виконання К1 : .

Під час роботи за температури навколишнього середовища нижче 0°C , превентор необхідно прогріти.

Превентори виготовляються в кліматичному дизайні У, розміщення категорії 1 за для роботи в помірному макрокліматичному районі експлуатації).

1.2 Матеріал деталі та його властивості

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Термічна обробка, стан поставки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{β} , МПа	δ_5 , %	μ , %	КСУ, Дж/м ²	НВ
КП 440	100-300	440	635	16	45	59	197-235
КП 440	100-300	440	635	14	40	54	197-235
КП 490	<100	490	655	16	45	59	212-248

Таблиця 1.3 – Механічні властивості при підвищених температурах

t тест, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{β} , МПа	δ_5 , %	μ , %	КСУ, Дж/м ²
260	590	730	20	70	186
200	490	660	21	70	

Таблиця 1.4 – Механічні властивості в залежності від перетину

Термообробка, стан постачання	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{β} , МПа	δ_5 , %	μ , %	КСУ, Дж/м ²	HRC
Місце вирізки зразка – центр	40	650	820	17	71	147	27
Місце вирізки зразка – центр	60	630	800	17	69	157	27
Місце вирізки зразка - 1/2R	80	660	790	17	67	137	25
Місце вирізки зразка - 1/2R	100	610	780	18	64	147	25
Місце вирізки зразка - 1/3R	120	620	750	16	63	137	
Місце вирізки зразка – центр	40	790	930	13	61	118	30

Термообробка, стан постачання	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	μ , %	КСУ, Дж/м ²	HRC
Місце вирізки зразка – центр	60	740	870	16	64	127	31
Місце вирізки зразка - 1/2R	80	760	890	14	64	108	30
Місце вирізки зразка - 1/2R	100	700	830	17	65	137	27
Місце вирізки зразка - 1/3R	120	690	840	18	63	118	25

Таблиця 1.5 – Межа витривалості

σ_{-1} , МПа	n	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Термообробка, стан сталі
407	1E+7	820	710	Загартування 870 С, вода. Відпуск 600 С [37]

Таблиця 1.6 – Фізичні властивості

Температура випробування, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Модуль нормальної пружності E, ГПа	208	207	204	197	188	176	160			

Густина ρ_n , кг/см ³	7820	7800	7770	7740	7700	7660				
Коефіцієнт теплопровідності і Вт/(м ^{°C})		46	44	42	42	39	37	36	32	
Електричний опір (ρ , НОм м)	230									
Перевірка температури, °C	20- 100	20- 200	20- 300	20- 400	20- 500	20- 600	20- 700	20- 800	20- 900	20- 1000
Коефіцієнт лінійного розширення (10^{-6} 1/°C)	11.6	12.5	13.2	13.8	14.3					
Питоме тепло (C, Дж/(кг°C))	462									

Таблиця 1.7 – Матеріали замітники

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

1.3 Визначення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей розраховується на початковому етапі проектування технологічного процесу в залежності від річної потреби виробів і запасних частин за формулою:

$$N = N_{\text{в}} \cdot q \cdot \left(1 + \frac{h}{100}\right), \quad (\text{шт./рік}) \quad (1.1)$$

де $N_{\text{в}}$ – річна програма випуску виробів;

q – кількість деталей даного найменування в одному виробі;

h – відсоток деталей, призначених на запасні частини (від 1 % до 3 %).

$$N = 200 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 204 \text{ шт./рік}$$

Загальноприйнятим комплексним критерієм при розробці й аналізі технологічного процесу є така класифікаційна категорія, як тип виробництва. Попереднє визначення типу виробництва ґрунтується на взаємозв'язку між річною програмою випуску деталі і її масою (дуже приблизно), з урахуванням такту випуску деталей та уточнюється за коефіцієнтом закріплення операцій (найбільш точний критерій, але визначити його можна тільки за умови сталого виробництва за місячний календарний період). У курсовій роботі цей критерій не розраховується, і апіорі приймається серійний тип виробництва.

Основним показником, який характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, яка запускається періодично (серіями випускається виріб, який складається з певних деталей). Величина партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (1.2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів. Можливі значення – від 3 до 24. Іноді цей параметр називають запасом деталей на складі складального цеху;

Φ – кількість робочих днів за рік відповідно до законодавства.

$$n = \frac{204 \cdot 12}{250} \approx 10 \text{ шт.}$$

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

У випадку до конструкцій деталей пред'являються такі вимоги [7]:

- конструкція деталі повинна складатися зі стандартних та уніфікованих конструктивних елементів і бути стандартною в цілому;
- деталі повинні виготовлятися із стандартних чи уніфікованих заготовок;
- розміри і поверхні деталі повинні мати відповідно оптимальні, тобто. економічно та конструктивно обґрунтовані точність та шорсткість;
- фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу, жорсткість деталі, її форма та розміри повинні відповідати вимогам технології виготовлення, зберігання та транспортування;
- показники базової поверхні деталі (точність, шорсткість) повинні забезпечувати точність установки, обробки та контролю;
- заготівлі мають бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;
- метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;
- сполучення поверхні деталей різних класів точності та шорсткості повинні відповідати застосовуваним методам та засобам обробки;

- конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових та стандартних технологічних процесів її виготовлення.

Зазначені вимоги є узагальненням досвіду проектування та виготовлення деталей, а рівень відповідності цим вимогам характеризує конструктивно-технологічний рівень деталі.

Кількісно технологічність конструкції корпусу превентора кільцевого ПУГ-180x21-10-00 може бути оцінена сукупністю показників технологічної раціональності та наступності деталі, до яких входять коефіцієнт складності конструкції деталі; коефіцієнт застосування уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі; коефіцієнт повторюваності конструктивних елементів деталі; коефіцієнт точності та шорсткості поверхні деталі; коефіцієнт оброблюваності деталі та коефіцієнт використання матеріалу при механічній обробці [8, 9].

Коефіцієнт складності конструкції деталі визначається виразом у вигляді

$$K_{СЛ} = 0,25 \cdot (K_K + K_P + K_B + K_C) \quad (1.3)$$

де K_K, K_P, K_B, K_C – коефіцієнти, обумовлені як

$$K_i = 1 - A_i, \quad (1.4)$$

де A_i – уточнення.

Коефіцієнт K_K залежить від кількості поверхонь на вихідній заготовці, з яких видаляється стружка при виготовленні деталі. При цьому комбіновані поверхні, що утворюються за один робочий хід одним інструментом, враховуються як одна поверхня.

Для існуючої конструкції корпусу

$$A_K = n_{рез} / n_{нов}, \quad (1.5)$$

де $n_{рез}$, $n_{нов}$ – кількість оброблюваних різанням та загальна кількість формотворних поверхонь деталі, відповідно.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників з креслення деталі та технологічного процесу обробки деталі різанням у вирази (1.3) та (1.2), знаходимо

$$A_K = 78/78=1 \text{ та } K_K = 1,00-1=0.$$

враховує загальну кількість заданих на кресленні даних із забезпечення необхідних точності форми та взаємного розташування поверхонь у межах 0,05 мм.

Для існуючої конструкції корпусу

$$A_P = n_{mp}/n_{нов}, \quad (1.6)$$

де n_{mp} – кількість поверхонь деталі, до яких висуваються вимоги щодо точності форми та їх взаємного розташування в межах 0,05 мм.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників з креслення деталі до виразів (1.4) та (1.2), знаходимо

$$A_P = 0/78 = 0,0 \text{ та } K_B = 1,00 - 0,0 = 1,0.$$

Коефіцієнт K_B враховує кількість різних видів обробки різанням (технологічних операторів).

Для існуючої конструкції корпусу

$$A_B = n_{то}/n_{перех}, \quad (1.7)$$

де n_{mo} – кількість технологічних операторів;

$n_{перех}$ – загальна кількість технологічних переходів обробки різанням.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників з карт технологічного процесу обробки деталі різанням у вирази (1.5) та (1.2), знаходимо

$$A_B = 4/38 = 0,10 \text{ та } K_B = 1,00 - 0,1 = 0,9.$$

Коефіцієнт K_C враховує відповідність точності та шорсткості поверхонь деталі деяким оптимальним величинам, під якими маються на увазі рекомендовані як економічність і конструктивно обґрунтовані величини. Величина A_C , що входить у вираз для цього коефіцієнта визначається за формулою

$$A_C = 0,1 \cdot \sum_{j=1}^{n_{рез}} m_j, \quad (1.8)$$

де m_j – кількість зон, на яких параметр R_a для j -ої поверхні віддалено від оптимального поєднання.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників з креслення деталі до виразів (1.6) та (1.2), знаходимо

$$A_C = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ та } K_C = 1,00 - 0,8 = 0,2.$$

Згідно з виразом (1.1) коефіцієнт складності конструкції деталі становитиме

$$K_{сл} = 0,25 \cdot (0,0 + 1 + 0,9 + 0,20) = 0,525.$$

Коефіцієнт застосування уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі визначають за формулою

$$K_{y\mathcal{E}} = \frac{N_{y\mathcal{E}}}{N_{\mathcal{E}}} - 0,1n, \quad (1.9)$$

де $N_{\mathcal{E}}$ – загальна кількість конструктивних елементів в деталі;

$N_{y\mathcal{E}}$ – кількість уніфікованих конструктивних елементів;

n – кількість неуніфікованих елементів.

Оскільки всі формотворні поверхні корпусу можна вважати уніфікованими, то коефіцієнт застосування уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі можна прийняти рівним $K_{y\mathcal{E}} = 1,0$.

Коефіцієнт повторюваності конструктивних елементів деталі розраховують за формулою.

$$K_{п\mathcal{E}} = 1 - N_{п\mathcal{E}}/N_{\mathcal{E}}, \quad (1.10)$$

де $N_{п\mathcal{E}}$ – кількість повторюваних конструктивних елементів деталі;

$N_{\mathcal{E}}$ – загальна кількість конструктивних елементів деталі.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників із креслення деталі у вираз (1.8), знаходимо.

$$K_{п\mathcal{E}} = 1 - 6/43 = 0,86.$$

Коефіцієнт відносної оброблюваності матеріалу деталі K_v виражає відносну швидкість різання, що відповідає 60-хвилинній стійкості різців у порівнянні з еталонною сталлю (сталь 45). Для сталі 30ХМ величина цього коефіцієнта становить $K_v = 0,7$, що характеризує оброблюваність цієї сталі як задовільний.

Коефіцієнт використання матеріалу при механічній обробці визначають за співвідношенням

$$K_{ИМ} = M_{Д}/M_{З}, \quad (1.11)$$

де $M_{Д}, M_{З}$ – маси готової деталі та заготовлі, відповідно.

Підставляючи чисельні значення необхідних показників з карт технологічного процесу обробки деталі різанням у вираз (1.9), знаходимо

$$K_{ИМ} = 576/1407 = 0,409.$$

Таким чином, за розрахованими можна зробити висновок про середній рівень технологічності даної конкретної деталі.

Необхідно відзначити, що корпус превентора виготовляють із заготовки, що отримується штампуванням.

Оброблювані поверхні корпусу з точки зору забезпечення точності і шорсткості не становлять значних технологічних труднощів, проте наявність фасонних канавок, що виготовляються, під ущільнення і фасонної складнопов'язаної виточки створює деякі труднощі при остаточній обробці деталі.

На технологічність конструкції деталі, що піддається обробці різанням, впливають як технологічні фактори (оброблюваність матеріалу, вибір баз та розмірних зв'язків, форма та розміри деталі, вимоги точності та шорсткості оброблюваних поверхонь), так і організаційні (обсяг випуску та тип виробництва). При цьому, обсяг випуску та тип виробництва визначають ступінь технологічного оснащення, механізації та автоматизації технологічного процесу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування форми та розмірів заготовки

Метод отримання заготівлі визначається призначенням та конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом та серійністю випуску. Для раціонального вибору заготівлі необхідно одночасно враховувати всі вищезгадані дані. При виборі способу отримання заготовки необхідно прагнути максимального наближення форми і розмірів заготовки до параметрів основної деталі і зниження трудомісткості заготівельних операцій, а також подальшої механічної обробки. Для виготовлення деталі «Корпус превентора» в серійному виробництві застосуємо заготовку відливку. (рис. 1.3).

8117 / 151 ПЛАНІЗОВАНА

100

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 2.1 – Заготовка

Лиття – один з основних способів виробництва заготовок в машинобудуванні, тому що дозволяє одержати відливки практично будь-якої форми і маси з необхідними фізико-механічними властивостями.

Заготовка відливається з припуском на сторону в 9 мм з допуском на розміри по 2 мм. Зовнішні поверхні заготовки мають приблизні контури деталі таким чином зменшуючи припуск та час на обробку. Для зменшення складності заготовки, внутрішні контури були поділені на дві ступені які мають найбільшу різницю в діаметрах. Лиття відбувається в стержневій формі. Литі сталеві деталі мають великі внутрішні напруження, тому їх необхідно піддати термічній обробці до *HB170*. Вага заготовки становить 715 кг.

2.2 Вибір методів обробки поверхонь

При визначенні маршруту виготовлення деталі орієнтуємося на вид заготовки і її точність. Кількість технологічних операцій, їхня концентрація буде зумовлюватись методами обробки поверхонь, які визначаються з огляду на необхідний квалітет розміру, параметр шорсткості й умови оброблюваності алюмінієвих ливарних сплавів. Перелік поверхонь, їх розміри і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення, наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Методи одержання поверхонь

Вид операційних, розмір, мм	Квалітет	Ra, мкм	Метод обробки поверхонь
Зовнішній $\varnothing 236_{-0,46}$, $\varnothing 380_{-0,52}$, $\varnothing 589_{-0,7}$, $\varnothing 650_{-0,8}$, $\varnothing 660_{-0,8}$.	12	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове
Внутрішній $\varnothing 560^{+0,3}$,	10	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове

Вид операційних, розмір, мм	Квалітет	Ra, мкм	Метод обробки поверхонь
$\varnothing 427^{+0,3}$, $\varnothing 574^{+0,25}$			
Внутрішній $\varnothing 589^{+0,8}$, $\varnothing 594^{+0,7}$	12	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове Тонке точіння
Отвіри 12 шт. $\varnothing 16,5$	12	12,5	Сверлити начисто
Зовнішня канавка $11,9 \pm 0,1$	17	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове
Отвіри 12 шт. $\varnothing 23$	12	6,3	Сверління чорнове Сверління чистове
Отвір $\varnothing 179,4_{-0,4}$	12	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішній $66_{-0,3}$	12	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове
Внутрішній $6,7^{+0,25}$	13	6,3	Точіння чорнове Точіння чистове
Отвори 2 шт. К1" ГОСТ 6111-52	7	12,5	Сверління чорнове Нарізання нарізі

2.3 Обґрунтування технологічного маршруту виготовлення деталі

Вибір устаткування одна із найважливіших завдань розробки технологічного процесу механічної обробки деталі. Від правильного вибору залежить продуктивність, економне використання площ, механізації та автоматизації ручної праці, електроенергії та, в результаті, собівартість виробу.

При виборі верстатного обладнання враховується таке: характер виробництва, методи досягнення заданої точності при обробці, відповідність верстата розмірам деталі, потужність верстата, зручність управління та

обслуговування верстата, габаритні розміри та вартість верстата, можливість оснащення верстата високопродуктивними пристроями та засобами механізації та автоматизації, кінематичні дані верстата, а також наявність наявного обладнання.

Сучасному світі все спрямовано на автоматизацію де тільки можливо зі збереженням часу на виготовлення. Зосередження всіх операцій виготовлення деталі на одному верстаті з мінімальною кількістю переустанов дає підвищену продуктивність.

Відповідно до типового маршруту виготовлення, на першій операції необхідно підготувати технологічні бази для подальшої обробки. Для їхньої підготовки в умовах серійного виробництва доцільно використати верстат з ЧПК. На даному етапі ці умови забезпечить токарно-карусельний верстат з ЧПК.

Подальша обробка допускає чорнове та чистове точіння всіх поверхонь. З огляду на розмір і точність заготовки, а також враховуючи практику розподілення операцій в серійному виробництві, чорнові, чистові токарні операції різьбової поверхні К1" виконуються на тому ж ЧПК (немає необхідності в переналагодженні патрона). Ці верстати характеризуються високим ступенем автоматизації, не вимагають спеціального розмірного налагодження інструмента й постійного супроводу технологів–програмістів, тому ефективні навіть в умовах дрібносерійного виробництва.

Витримання шорсткості і уникнення використання круглошліфувального верстата. На всіх відповідальних поверхнях буде тонке точіння.

Технологічний процес виготовлення деталі завершується контрольною операцією, під час якої здійснюється комплексний контроль розмірів поверхонь та їхнього взаємного розташування.

Технологічний маршрут обробки деталі «Корпус превентора» наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі

№ оп.	Найменування операцій	Стислий зміст операції	Модель верстата
05	Програмна (токарно-карусельна)	Повне чорнове, чистове, тонке точіння. Нарізнням різьби К1" , обробка отворів.	YSP VL-850R
10	Контрольна	Комплексний контроль деталі	YSP VL-850R

2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуски на механічну обробку визначаємо розрахунково-аналітичним та дослідно – статистичним методами.

Розрахуємо припуски на обробку та проміжні граничні розміри для $\varnothing 427^{+0,3}$ по токарній операції.

Сумарне значення просторових відхилень для заготівлі даного типу визначається за формулою:

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{ексц}^2}, \quad (2.1)$$

де $\rho_{см}$ – величина зміщення осі поверхні, дорівнює 1,6 мм [1].

$\rho_{ексц}$ – величина ексцентричності центрального отвору, 5,5 мм [1].

Сумарне значення просторового відхилення дорівнює

$$\rho = \sqrt{1,6^2 + 5,5^2} = 5,728 \text{ (мм)}.$$

Залишкове просторове відхилення після чорнового розточування одно

$$\rho_1 = 0,05 \cdot \rho = 0,05 \times 5,728 = 0,286 \text{ (мм)}.$$

Похибка установки при чорновому розточуванні дорівнює

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.2)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення.

Похибка базування в даному випадку $\varepsilon_6=0$.

Похибка закріплення заготовки ε_3 приймаємо 0 мкм [1]. Тоді похибка установки при чорновому розточуванні дорівнюватиме 0 мкм.

Далі робимо розрахунок мінімальних припусків, користуючись основною формулою [1]

$$2 \cdot Z_{i \min} = 2 \cdot (R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (2.3)$$

Мінімальний припуск під розточування:

чорнове $2Z_{\min 1} = 2(2000 + \sqrt{5728^2}) = 15456 \text{ мкм} = 15.456 \text{ (мм)}$;

чистове $2Z_{\min 2} = 2(250 + 240 + \sqrt{286^2}) = 1552 \text{ (мкм)}$.

Для чорнового розточування

$$d_{p1} = 427,3 - 1,552 = 425,748 \text{ (мм)}.$$

Для заготівлі

$$d_{p2} = 425,748 - 15,456 = 410,292 \text{ (мм)}.$$

Розраховуємо величину розрахункового максимального припуску за формулою

$$2z_{\max} = 2z_{\min i} + T_{i-1} - T_i \quad (2.4)$$

Потім, для переходу попереднього кінцевого, визначаємо розрахунковий розмір шляхом складання найменшого граничного розміру за кресленням та розрахункового мінімального припуску $2z_{\min}$.

Записуємо всі найбільші та найменші граничні розміри за всіма технологічними переходами. Визначаємо загальний припуск $z_{0\max}$ та $z_{0\min}$, підсумовуючи проміжні припуски на обробку, та робимо перевірку правильності призначення припусків.

$$T_{d3} - T_{d0} = z_{0\max} - z_{0\min}. \quad (2.5)$$

Перевірка: $2z_{imax} - 2z_{imin} = \delta_{Di-1} - \delta_{Di}$;

$$1,882 - 1,552 = 0,63 - 0,3;$$

$$0,33 = 0,33;$$

$$16,226 - 15,456 = 1,4 - 0,630;$$

$$0,77 = 0,77.$$

Отже, розрахунки зроблено правильно.

Отримані дані заносимо до таблиці 2.3.

2.4 Розрахунок режимів різання на механічну обробку

Розрахунок режимів різання полягає у визначенні для заданих умов обробки глибини різання, числа проходів, подачі, швидкості різання, сили різання та потужності, необхідної на різання.

Розрахуємо режими різання на операцію 05 (токарно-карусельну), яка виконується на токарно-карусельному верстаті моделі YSP VL-850R. Ескіз операції представлений рисунком 2.3. Операція 015 (токарно-карусельная)

містить 6 переходів, зміст яких наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків та граничних розмірів за технологічними переходами на обробку поверхні $\varnothing 427^{+0.3}$

Чистове	Розточування: Черновое	Поверхня $\varnothing 427^{(+0.3)}$, вилковок	Розмір елементарної поверхні та технологічні переходи ее обробтки				Елементи припуску
			$R_{z_{i-1}}$, МКМ	T_i , МКМ	ρ_{i-1} , МКМ	ε_i , МКМ	
40	250	2000					Розрахунковий припуск $2Z_{i\min}$, МКМ
40	240						
–	286	5728					
-	-						
1552	15456						
427,3	425,748	410,292					Розрахунковий розмір d_p , мм
300	630	1400					Допуск δ , МКМ
427	425,118	408,892					d_{\min} , мм
427,3	425,748	410,292					d_{\max} , мм
1,882	16,226						$2Z_{\max}$, мм
1,552	15,456						$2Z_{\min}$, мм

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

№ перехода	Зміст переходу	i	t, мм
A	Установити і після обробки зняти деталь		
1	Підрізати торець розміру 1	3	11,06
2	Точить діаметр 2 на прохід	3	16,71
3	Точить діаметр 4 витримати розмір 3	10	46,84

№ перехода	Зміст переходу	i	t, мм
4	Точить діаметр 6 витримати розмір 5	10	43,79
5	Точить діаметр 7 витримати розмір 8, виконати радіус 11	2	8,88
6	Точить діаметр 9 витримати розмір 8	4	3,65

Перехід 1. Підрізати торець розміру 1

Верстат токарно-карусельний моделі YSP VL-850R Різець К.01.4227.000-06 Т15К6

Глибина різання $t = 5$ мм.

Швидкість різання при точені, м/хв, визначається за формулою

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} \cdot K_v, \quad (2.6)$$

де C_v, x_v, y_v, m – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних;

T – стійкість інструменту, хв;

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/об;

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який визначають за формулою

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{fv} \cdot K_{\phi 1v} \cdot K_{rv}; \quad (2.7)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що відображає вплив якості оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

K_{nv} – коефіцієнт, що відображає вплив стану поверхні заготовлі на швидкість різання;

K_{uv} – коефіцієнт, що відображає вплив матеріалу різальної частини на швидкість різання;

$K_{\phi v}, K_{\phi 1v}, K_{rv}$ – коефіцієнти, що відбивають вплив параметрів різця (головний кут у плані, допоміжний кут у плані, радіус при вершині) на швидкість різання;

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 05 (рисунок 2.2) та таблиці 1.12, названі величини складають:

$t = 5$ мм; $S = 1,0$ мм/об; $C_v = 340$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$; $m = 0,2$; $T = 60$ мин;
 $K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218$; $K_{nv} = 0,8$; $K_{uv} = 1,0$; $K_{\phi v} = 1,0$ ($\phi = 45^\circ$); $K_{\phi 1v} = 0,87$; $K_{rv} = 0,94$.

Підставляючи чисельні значення формули (2.6) і (2.7), знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1.218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 0,94 = 0,796;$$
$$v_1 = \frac{340 \cdot 0,796}{60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 1,0^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,796}{2,268 \cdot 1,273 \cdot 1} = 93,74 \text{ (м/хв)}$$

Частота обертів n_1 , об/хв, визначається за формулою

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v_1}{\pi \cdot D}. \quad (2.8)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.8), знаходимо

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 93,74}{3,14 \cdot 660} = 45,20 \text{ (об/хв)}.$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{lcm} = 45$ об/хв, з урахуванням якої визначити дійсне значення швидкості різання.

$$v_{1P} = \frac{3,14 \cdot 660 \cdot 45}{1000} = 93,30 (\text{м/хв}).$$

Складові сили різання при зовнішньому поперечному точінні розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.9)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p – поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}; \quad (2.10)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється;

$$K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82;$$

$K_{\phi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{\phi p} = 1,0$; $K_{\gamma p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$

Підставляючи чисельні значення у формули (2.9) та (2.10), знаходимо

$$K_p = 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,76;$$

$$P_{z1} = 300 \cdot 5^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 93,3^{-0,15} \cdot 0,76 = 576,84 (\text{кГс}) = 5768,4 (\text{Н}).$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.11)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.11), отримуємо

$$N_1 = \frac{5768,4 \cdot 93,3}{1020 \cdot 60} = 8,79 (\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_1 \leq N_{\text{эф}}, \quad (2.12)$$

карусельного верстата моделі YSP VL-850R $N_{\text{эф}} = 22$ кВт.

$8,79$ кВт $<$ 22 кВт – умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.15)$$

де l – довжина обробки; для першого переходу $l = 150$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; при глибині різання;

$t = 5$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 45^\circ$ $l_1 = 8$ мм;

l_2 – величина перебігу інструмента; при $t = 5$ мм $l_2 = 8$ мм.

i – кількість проходів; $i = 2$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.15), отримуємо

$$T_{01} = \frac{(150+8+8) \cdot 3}{45 \cdot 1,0} = 11,06 (\text{хв}).$$

Перехід 2. Точити діаметр 2 на прохід

Верстат токарно-карусельний. YSP VL-850R Різець К.01.4227.000-06
Т15К6

Глибина різання $t = 8$ мм.

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 015 (рисунок 2.2) та таблиці 20, названі величини складають:

$t = 8$ мм; $S = 1,0$ мм/об; $C_v = 340$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$; $m = 0,2$; $T = 60$ мин;
 $K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218$; $K_{nv} = 0,8$; $K_{uv} = 1,0$; $K_{\phi v} = 1,0$ ($\phi = 45^\circ$); $K_{\phi 1v} = 0,87$; $K_{\rho v} = 0,94$.

Підставляючи чисельні значення формули (2.6) і (2.7), знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1.218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 0,94 = 0,796;$$
$$v_2 = \frac{340 \cdot 0,796}{60^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 1,0^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,796}{2,268 \cdot 1,366 \cdot 1} = 87,35 \text{ (хв)}.$$

Частота обертів n_1 , об/хв, визначається за формулою

$$n_2 = \frac{1000 \cdot v_1}{\pi \cdot D}. \quad (2.16)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.16), знаходимо

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 87,35}{3,14 \cdot 660} = 42,12 \text{ (об/хв)}.$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{2cm} = 42$ об/хв, з урахуванням якої визначити дійсне значення швидкості різання

$$v_{2P} = \frac{3,14 \cdot 660 \cdot 42}{1000} = 87 \text{ (м/хв)}.$$

Складові сили різання при зовнішньому поперечному точені розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.17)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p – поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{gp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp}; \quad (2.18)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється; $K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82$;

$K_{fp}, K_{gp}, K_{lp}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{fp} = 1,0$; $K_{gp} = 1,0$; $K_{lp} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$.

Підставляючи чисельні значення у формули (2.17) та (2.18), знаходимо

$$K_p = 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,76;$$

$$P_{z2} = 300 \cdot 8^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 87^{-0,15} \cdot 0,76 = 933,46 \text{ (кГс)} = 9334,6 \text{ (Н)}.$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.19)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.19), отримуємо

$$N_2 = \frac{9334,6 \cdot 87}{1020 \cdot 60} = 13,26 (\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_2 \leq N_{\text{ЭФ}}, \quad (2.20)$$

де $N_{\text{ЭФ}}$ – потужність верстата, що визначається за паспортом, кВт; для токарно-карусельного верстата моделі YSP VL-850R $N_{\text{ЭФ}} = 22$ кВт.

13,26 кВт < 22 кВт – умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.21)$$

де l – довжина обробки; для першого переходу $l = 215$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; за глибини різання $t = 8$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 45^\circ$ $l_1 = 11$ мм;

l_2 – величина перебігу інструмента; при $t = 8$ мм $l_2 = 8$ мм.

i – кількість проходів; $i = 3$.

Підставляючи чисельні значення формулу (2.21), отримуємо

$$T_{02} = \frac{(215+11+8) \cdot 3}{42 \cdot 1,0} = 16,71 (\text{хв}).$$

Перехід 3. Точити діаметр 4 витримати розмір 3.

Верстат токарно-карусельний. YSP VL-850R Різець К.01.4227.000-06 Т15К6

Глибина різання $t = 8$ мм.

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 015 (рисунок 2.2) та таблиці 2.1, названі величини складають

$$t = 8 \text{ мм}; S = 1,0 \text{ мм/об}; C_v = 340; x_v = 0,15; y_v = 0,45; m = 0,2; T = 60 \text{ мин};$$

$$K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218; K_{nv} = 0,8; K_{uv} = 1,0; K_{\phi v} = 0,7 (\phi = 90^\circ); K_{\phi 1v} = 1;$$

$$K_{\rho v} = 0,94.$$

Підставляючи чисельні значення формули (2.23) і (2.22), знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1.218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,94 = 0,916;$$

$$v_3 = \frac{340 \cdot 0,916}{60^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 1,0^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,916}{2,268 \cdot 1,366 \cdot 1} = 100,52 \text{ (хв)}.$$

Частота обертів n_3 , об/хв, визначається за формулою

$$n_3 = \frac{1000 \cdot v_3}{\pi \cdot D}. \quad (2.22)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.22), знаходимо

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 100,52}{3,14 \cdot 560} = 57,16 \text{ (об/хв)}.$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{3ст} = 57$ об/хв, з урахуванням якої визначити дійсне значення швидкості різання

$$v_{3P} = \frac{3,14 \cdot 560 \cdot 57}{1000} = 100,22 \text{ (м/хв)}.$$

Складові сили різання при розточуванні розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.23)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p – поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}; \quad (2.24)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється; $K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82$;

$K_{\phi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{\phi p} = 0,89$; $K_{\gamma p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$.

Підставляючи чисельні значення у формули (2.23) та (2.24), знаходимо

$$K_p = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,82;$$

$$P_{z3} = 300 \cdot 8^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 100,22^{-0,15} \cdot 0,82 = 985,99(\text{кГс}) = 9859,9(\text{Н}).$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.25)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.26), отримуємо

$$N_3 = \frac{9859,9 \cdot 100,22}{1020 \cdot 60} = 16,14(\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_3 \leq N_{\text{ЭФ}}, \quad (2.26)$$

де $N_{\text{ЭФ}}$ – потужність верстата, що визначається за паспортом, кВт; для токарно-карусельного верстата моделі YSP VL-850R = 22 кВт.

16,14 кВт < 22 кВт - умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.27)$$

де l – довжина обробки; для третього переходу $l = 162$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; при глибині різання $t = 8$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ $l_1 = 11$ мм;

l_2 – величина перебігу інструмента; при $t = 8$ мм $l_2 = 8$ мм.

i – кількість проходів; $i = 10$.

Підставляючи чисельні значення формулу (2.27), отримуємо

$$T_{03} = \frac{(248+11+8) \cdot 10}{57 \cdot 1,0} = 46,84(\text{хв}).$$

Перехід 4. Точити діаметр 6 витримати розмір 5.

Верстат токарно-карусельний моделі YSP VL-850R. Різець К.01.4207.000-11 Т15К6

Глибина різання $t = 8$ мм.

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 05 (рисунок 2.2) та таблиці 2.4, названі величини складають

$t = 8$ мм; $S = 1,0$ мм/об; $C_v = 340$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$; $m = 0,2$; $T = 60$ хв;
 $K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218$; $K_{nv} = 0,8$; $K_{uv} = 1,0$; $K_{\phi v} = 0,7$ ($\phi = 90^\circ$); $K_{\phi 1v} = 1$;
 $K_{\rho v} = 0,94$.

Підставляючи чисельні значення формули (2.31) і (2.30), знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1.218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,94 = 0,916;$$

$$v_3 = \frac{340 \cdot 0,916}{60^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 1,0^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,916}{2,268 \cdot 1,366 \cdot 1} = 100,52 \text{ (м/хв)}.$$

Частота обертання n_4 , про/хв визначається за формулою

$$n_4 = \frac{1000 \cdot v_4}{\pi \cdot D}. \quad (2.28)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.28), знаходимо

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 100,52}{3,14 \cdot 546} = 58,63 \text{ (об/хв)}.$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{4cm} = 58$ об/хв, з урахуванням якої визначаємо дійсне значення швидкості різання

$$v_{4P} = \frac{3,14 \cdot 546 \cdot 58}{1000} = 99,43 \text{ (м/хв)}.$$

Складові сили різання при розточуванні розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.29)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p – поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp}; \quad (2.30)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється; $K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82$;

$K_{fp}, K_{yp}, K_{lp}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{fp} = 0,89$; $K_{yp} = 1,0$; $K_{lp} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$

Підставляючи чисельні значення у формули (2.29) та (2.30), знаходимо

$$K_p = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,82;$$

$$P_{Z4} = 300 \cdot 8^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 99,43^{-0,15} \cdot 0,82 = 987,18(\text{кГс}) = 9871,8(\text{Н}).$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.31)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.35), отримуємо

$$N_4 = \frac{9871,8 \cdot 99,43}{1020 \cdot 60} = 16,03(\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_4 \leq N_{\text{эф}}, \quad (2.32)$$

де $N_{\text{ЭФ}}$ – потужність верстата, що визначається за паспортом, кВт; для токарно-карусельного верстата моделі YSP VL-850R $N_{\text{ЭФ}} = 22$ кВт.

16,03 кВт < 22 кВт – умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.33)$$

де l – довжина обробки; для четвертого переходу $l = 235$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; при глибині різання $t = 8$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ $l_1 = 11$ мм;

l_2 – величина перебігу інструменту; при $t = 8$ мм $l_2 = 8$ мм.

i – кількість проходів; $i = 10$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.33), отримуємо

$$T_{04} = \frac{(235+11+8) \cdot 10}{58 \cdot 1,0} = 43,79(\text{хв}).$$

Перехід 5. Точити діаметр 7 витримати розмір 8, виконати радіус 11.

Верстат токарно-карусельний. YSP VL-850R. Різець К.01.4207.000-11 Т15К6

Глибина різання $t = 8$ мм.

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 05 (рисунок 2.2) та таблиці 20, названі величини складають:

$t = 8$ мм; $S = 1,0$ мм/об; $C_v = 340$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$; $m = 0,2$; $T = 60$ хв;
 $K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218$; $K_{nv} = 0,8$; $K_{uv} = 1,0$; $K_{\varphi v} = 0,7$ ($\varphi = 90^\circ$); $K_{\phi v} = 1$;
 $K_{\rho v} = 0,94$.

Підставляючи чисельні значення формули (2.6) і (2.7), знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1.218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 0,94 = 0,916;$$

$$v_5 = \frac{340 \cdot 0,916}{60^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 1,0^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,916}{2,268 \cdot 1,366 \cdot 1} = 100,52(\text{м/хв})$$

Частота обертання n_5 , об/хв, знаходяться по формулі

$$n_5 = \frac{1000 \cdot v_5}{\pi \cdot D}. \quad (2.34)$$

Підставляючи чисельні значення в формулу (2.33), находим

$$n_5 = \frac{1000 \cdot 100,52}{3,14 \cdot 413} = 77,51 (\text{об/хв}).$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{5cm} = 77$ об/хв, з урахуванням якої визначаємо дійсне значення швидкості різання

$$v_{5P} = \frac{3,14 \cdot 413 \cdot 77}{1000} = 99,85(\text{м/хв}).$$

Складові сили різання при розточуванні розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.35)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p – поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp}; \quad (2.36)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється; $K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82$;

$K_{\phi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{\phi p} = 0,89$; $K_{\gamma p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$.

Підставляючи чисельні значення у формули (2.35) та (2.36), знаходимо

$$K_p = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,82;$$

$$P_{Z5} = 300 \cdot 8^{1,0} \cdot 1^{0,75} \cdot 99,85^{-0,15} \cdot 0,82 = 986,55(\text{кГс}) = 9865,5(\text{Н}).$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.37)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.43), отримуємо

$$N_5 = \frac{9865,5 \cdot 99,85}{1020 \cdot 60} = 16,09(\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_5 \leq N_{\text{ЭФ}}, \quad (2.38)$$

де $N_{\text{ЭФ}}$ – потужність верстата, що визначається за паспортом, кВт; для токарно-карусельного верстата моделі YSP VL-850R $N_{\text{ЭФ}} = 22$ кВт.

$16,09$ кВт < 22 кВт – умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.39)$$

де l – довжина обробки; для п'ятого переходу $l = 323,2$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; при глибині різання $t = 8$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ $l_1 = 11$ мм;

l_2 – величина перебігу інструмента; при $t = 8$ мм $l_2 = 8$ мм.

i – кількість проходів; $i = 2$.

Підставляючи чисельні значення формулу (2.45), отримуємо

$$T_{05} = \frac{(323,2+11+8) \cdot 2}{77 \cdot 1,0} = 8,88(\text{хв}).$$

Перехід 6. Точити діаметр 9 витримати розмір 8.

Верстат токарно-карусельний. YSP VL-850R. Різець К-01-3637-000 Т15К6

Глибина різання $t = 5$ мм.

Згідно з довідковими даними [23], ескізу операції 05 (рисунок 2.2) та таблиці 20, названі величини складають:

$$t = 5 \text{ мм}; S = 0,5 \text{ мм/об}; C_v = 340; x_v = 0,15; y_v = 0,45; m = 0,2; T = 60 \text{ хв}; \\ K_{mv} = (750/\sigma_B)^n = (750/586)^1 = 1,218; K_{nv} = 0,8; K_{uv} = 1,0; K_{\phi v} = 0,7 (\varphi = 90^\circ); K_{\phi 1v} = 1; \\ K_{\rho v} = 0,94.$$

Підставляючи чисельні значення формули (2.6) і (2.7) знаходимо розрахункове значення швидкості різання

$$K_v = 1,218 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,94 = 0,916; \\ v_6 = \frac{340 \cdot 0,916}{60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = \frac{340 \cdot 0,916}{2,268 \cdot 1,273 \cdot 0,784} = 137,59(\text{м/хв})$$

Частота обертання n_6 , об/хв визначається за формулою

$$n_6 = \frac{1000 \cdot v_6}{\pi \cdot D}. \quad (2.40)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.48), знаходимо

$$n_6 = \frac{1000 \cdot 137,59}{3,14 \cdot 250} = 175,27 \text{ (об/хв)}.$$

За паспортом верстата YSP VL-850R призначаємо стандартну частоту обертання $n_{6ст} = 175$ об/хв, з урахуванням якої визначаємо дійсне значення швидкості різання

$$v_{6P} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 175}{1000} = 137,37 \text{ (м/хв)}.$$

Складові сили різання при розточуванні розраховують за формулою

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{n_p} K_p, \quad (2.41)$$

де C_p, x_p, y_p, n_p – коефіцієнт та показники ступеня, які обираються залежно від умов різання з довідкових даних; $C_p = 300$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$;

K_p - поправочний коефіцієнт, який обчислюють за рівнянням

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp}; \quad (2.42)$$

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{n_p}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей сталі, що обробляється; $K_{mp} = (586/750)^{0,8} = 0,82$;

$K_{fp}, K_{yp}, K_{lp}, K_{rp}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструменту на складові сили різання; $K_{fp} = 0,89$; $K_{yp} = 1,0$; $K_{lp} = 1,0$; $K_{rp} = 0,93$.

Підставляючи чисельні значення у формули (2.50) та (2.49), знаходимо

$$K_p = 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,82;$$

$$P_{z6} = 300 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 137,375^{-0,15} \cdot 0,82 = 349,44(\text{кГс}) = 3494,4(\text{Н}).$$

Потужність різання підраховують за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}. \quad (2.43)$$

Підставляючи чисельні значення формулу (2.42)

$$N_6 = \frac{3494,4 \cdot 137,37}{1020 \cdot 60} = 7,84(\text{кВт}).$$

Встановлений режим різання повинен відповідати умовам

$$N_6 \leq N_{\text{ЭФ}}, \quad (2.44)$$

де $N_{\text{ЭФ}}$ – потужність верстата, що визначається за паспортом, кВт; для токарно-карусельного верстата моделі YSP VL-850R $N_{\text{ЭФ}} = 55$ кВт.

7,84 кВт < 22 кВт – умови виконуються.

Основний час T_0 , хв розраховують за формулою

$$T_0 = \frac{(l+l_1+l_2) \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.45)$$

де l – довжина обробки; для шостого переходу $l = 70$ (мм);

l_1 – величина врізання інструменту; при глибині різання $t = 5$ мм прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ $l_1 = 5$ мм;

l_2 – величина перебігу інструмента; при $t = 5$ мм $l_2 = 5$ мм.

i – кількість проходів; $i = 4$.

Підставляючи чисельні значення формулу (2.45), отримуємо

$$T_{06} = \frac{(70+5+5) \cdot 4}{175 \cdot 0,5} = 3,65(\text{хв}).$$

Сумарний основний час виконання операції 015 складе

$$T_0 = 11,06 + 16,71 + 46,84 + 43,79 + 8,88 + 3,65 = 130,93 (\text{хв}).$$

Допоміжний час на операцію визначають за формулою

$$T_B = T_{УСТ} + T_{ПЕР} + T_{ИЗМ}, \quad (2.46)$$

де $T_{УСТ}$ – допоміжний час на встановлення та зняття деталі;

$T_{ПЕР}$ – допоміжний час, пов'язаний із переходом;

$T_{ИЗМ}$ – допоміжний час на контрольні виміри.

Нормативний час на встановлення та зняття деталі $T_{УСТ}$ передбачає виконання наступних робіт: встановлення та закріплення деталі, включення та вимикання верстата, відкріплення та зняття деталі, очищення пристосування від стружки. При масі оброблюваної заготовлі понад 1000 кг та застосування чотирикулачкового патрона за загальномашинобудівними нормативами часу [24] $T_{УСТ} = 15,5$ хв.

Допоміжний час $T_{ПЕР}$, пов'язане з переходом, включає час на зміну числа оборотів шпинделя $T_{пер} = 0,63$ хв;

Допоміжний час на контрольні вимірювання [9] скрадатиметься з часу, що витрачається на проміри штангенциркулем

$$T_{ИЗМ1} = 6 \times 0,21 = 1,26 (\text{хв}).$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.54), знаходимо

$$T_B = 15,5 + 1,26 + 0,63 = 17,39 \text{ (хв)}.$$

При цьому величина оперативного часу становитиме

$$T_{OP} = T_0 + T_B = 130,93 + 17,39 = 148,32 \text{ (хв)}.$$

Норма штучного часу визначається за формулою

$$T_{шт} = (T_0 + T_B) \times \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{омд}}{100}\right), \quad (2.47)$$

де $a_{обс}$ – час, що витрачається обслуговування робочого місця (організаційне і технічне); для верстатів токарно-карусельної групи з діаметром столу 1500мм, воно становить $a_{обс} = 3\%$ від оперативного часу T_{OP} ;

$a_{омд}$ – час перерв на відпочинок та особисті потреби; відповідно до [24] воно становить $a_{омд} = 8\%$ від оперативного часу T_{OP} .

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.47), знаходимо

$$T_{шт} = 148,32 \times \left(1 + \frac{3+8}{100}\right) = 164,63 \text{ (хв)}.$$

Розрахунок режимів різання та технічного нормування інших операцій технологічного процесу виготовлення корпусу виконується аналогічно. Результати розрахунків наведено у технологічній карті.

2.5 Обґрунтування вибраного обладнання

Автоматизація, висока продуктивність та мінімальна трудомісткість операцій при високій мінімізації витрат часу на переналагодження, все це

забезпечить використання високопродуктивного обробного токарно-карусельного верстату з ЧПК. Його використання цілком доцільне, так як деталь має фрезерні операції, що дозволить оброблювати всі поверхні на одному верстаті з ЧПК.

Обробка деталі виконується на токарно-карусельному верстаті з ЧПК YSP VL-850R рис. 2.3, технічні характеристики верстату занесені в таблицю 2.5, а комплексний контроль оброблених поверхонь виконується щупом RENISHAW.

Операція 05 Програмна.

Установ 1.

Заготовка базується в 3-х кулачковому патроні. На цій операції оброблюється торець з однієї сторони нарізаються різьби K1" точаться $\varnothing 589$, $\varnothing 650$, $\varnothing 660$. Розточуються $\varnothing 589$, $\varnothing 574$, $\varnothing 560$, $\varnothing 427$, $\varnothing 260$ також свердлити та нарізати різьби M12-6H.

Установ 2.

Заготовка базується в 3-х кулачковому патроні. На цій операції оброблюється торець та точаться $\varnothing 236$, $\varnothing 380$ канавка на $\varnothing 223,1$. Свердяться отвори $\varnothing 16,5$ та розточуються $\varnothing 179,4$.

Операція 10 Програмна.

Не знімаючи деталь з верстату, після обробки, виконується контроль оброблених поверхонь.

Yu Shine була заснована в 1983 році і починала з виробництва машин різного призначення та спеціального призначення. Вони розробляють та поставляємо наші машини для всіх основних виробників мотоциклів, автомобілів, аерокосмічних, суднобудівних та важких транспортних засобів / вантажних автомобілів у Японії, США та Європі.



Рисунок 2.3 – Токарно-карусельний верстат з ЧПК YSP VL-850R

Таблиця 2.5 – Основні характеристики верстату YSP VL-850R

Параметр:	Значення:
Параметри обробки:	
Максимальний діаметр обертання	1000 мм
Максимальний діаметр, що обробляється	850 мм
Максимальна висота, що обробляється	750 мм
Шпиндель:	
Тип шпинделя	A2-11
Обороти шпинделя	20 – 1500 об/хв
Підшипник шпинделя (внутрішній діаметр)	220 мм

Параметр:	Значення:
Револьверна голова:	
Тип револьверної голови	Горизонтальний
Кількість інструментів	8 (10 - 12 опція)
Розмір інструменту	32, Ø50 мм
Робочі переміщення:	
Переміщення по осі X	550 мм
Переміщення по осі Z	800 (1000 – опція) мм
Прискорене переміщення по осі X	20 м/хв
Прискорене переміщення по осі Z	20 м/хв
Двигуна:	
Двигун шпинделя: <ul style="list-style-type: none"> • Постійна потужність • Пікова короточасна потужність (30 хв) 	18,5 кВт 22 кВт
Потужність серводвигуна осі X	7 кВт
Потужність серводвигуна осі Z	7 кВт
Потужність двигуна гідравлічної системи	2,2 кВт
Потужність двигуна конвеєра стружки	0,2 кВт
Потужність помпи охолодження СОЖ	0,75 + 0,75 + 1,1 кВт
Інше:	
3-х кулачковий патрон ЧПК керований	24 дюйма / 610 мм
Тримач інструменту	6 штук
Цанга інструменту	4 штуки
Габарити:	
Розміри (довжина x ширина)	4285 x 2300 мм
Розміри (висота)	4020 мм
Вага	13000 кг
Необхідна потужність	45 кВт

Пізніше, у відповідь на попит на ринку, Yu Shine почала поступовий перехід на виробництво токарних верстатів із ЧПК.

Ґрунтуючись на наших знаннях у галузі машин спеціального призначення та досвіді проектування, накопиченому у всіх сферах застосування промисловості, у політиці компанії, Yu Shine стає першою компанією, що пропонує клієнтам автомобільної промисловості повністю автоматизовану (або напівавтоматичну) лінію з впровадженням роботизованих рук-маніпуляторів, що використовуються у зонах із високим ризиком, високим рівнем забруднення.

Yu Shine має великий технічний досвід у проектуванні індивідуальних машин, підвищення ефективності роботи, оптимізовані розташування виробничих ліній, вибір інструменту та дизайн тощо.

Yu Shine – це стала інновація, яка протягом багатьох років навчається випуску ексклюзивних обробних верстатів, щоб отримувати прибуток для клієнтів і встановлювати взаємовигідні відносини співпраці з клієнтами.

Вся продукція Yu Shine проходить CE (європейська сертифікація), ISO9001 (Міжнародна організація стандартизації).

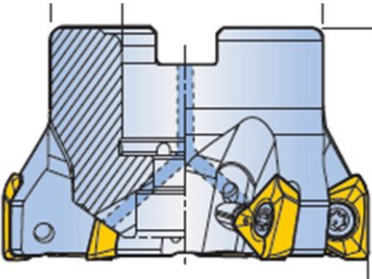

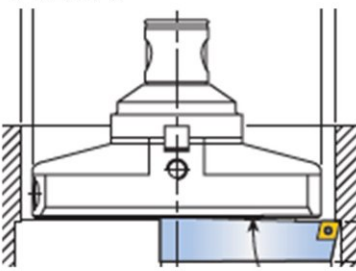

Високоточні машини визнані та користуються довірою з боку клієнтів та агентів у всьому світі. Ви можете легко знайти наші машини, встановлені в Китаї, Німеччині, Японії, Росії, Італії, Великій Британії, США, Франції і т. д. А також у 56 країнах на 5 континентах.

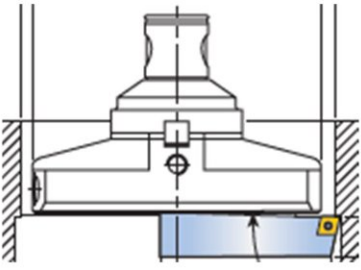


Yu Shine беруть участь у міжнародних виставках, таких як EMO Europe, Пекін, Китай, Токіо, Японія, Чикаго, США та Тайбей, Тайвань.

3. СРЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

У технологічному процесі виготовлення деталі використовуються стандартний ріжучий інструмент та оправки, зведені у таб.3.1

Таблиця 3.1 – Зміст та оснащення операцій [8]

№ пер	Зміст інструментально го переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
1	Фрезерувати торець деталі поверхню $\varnothing 700$, поверхню зубів і торець деталі $\varnothing 85$	ЗР TF90- 6100-32R-15-B пласт ЗРКТ 150516R- МТТ9080 ТТ9080 	Комбінуюча оправка G r i n t форма ADB BT40-32(код 302895 
4	Розточувати отв. $\varnothing 150$	Розточна головка IHSR 121-162 BW BHR MB80- 80 пласт CCMT 1204ТТ9080 пласт. получист. CCMT 1204 ТТ7080	Оправка BT40-MB40 $\square 120$ A/B
6	Розточувати начисто отв. $\varnothing 150$	Розточна головка IHRF 56-802 BW VHF125+VHFH40 $\square 133$ $\varnothing 140-240$ пласт. CCGT 09T3 ТТ2510 	Оправка BT40-MB40 $\square 120$ A/B 

№ пер	Зміст інструментального переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
8	Розточувати начерно отв. Ø55	Розточна головка IHSR51-70 BW BHR MB40-40Ø50,5-60 пласт ССМТ 1204 ТТ9080 пласт полуцистова ССМТ 1204 ТТ7080 	Оправка ВТ40-МВ40 □120 А/В
10	Розточувати начисто отв. Ø55	Розточна головка IHRF-50.5-65 BW BHF40-40 пласт ССГТ 09Т3 ТТ2510	Оправка ВТ40-МВ40 □120 А/В
11	Зенкувати фаску Ø55	Цековка кобінуюча D = 55мм код 156730 	Цанговий патрон ER форма ADB ВТ40_40 короткий Erϫglu код 302760
	Центрувати 3отв.Ø10	Свердло центровочне Gϫnt №121000 для сталей<900Н/мм ²	Цанговий патрон ER форма ADB ВТ40_40 короткий Erϫglu код 302760 

№ пер	Зміст інструментального переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
			
11	Свердлити 3отв.Ø10	<p>Свердло твердосплавне НРС с циліндричним хвостовиком DIN 6535 HA D=10mm \squared:122306</p> 	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_40 короткий Er \square glu код 302760
13	Нарізати різьбу M10	Метчик 035-2620-0513	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_40 короткий Er \square glu код 302760
14	Фрезерувати 23 зуба попередньо	<p>Фреза TE90AX520-19-06-L чорнова пласт. AXMT 0602R-HF TT9080 чист пласт AXMT 0602R-HF TT2510</p> 	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_40 короткий Er \square glu код 302760
15	Фрезерувати 23 зуба остаточно	<p>Фреза 2S-TE90CV-310-10-05 пластина чорнова CVHT 0502PNR-L TT9080</p>	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_20 довгий G \square r \square nt код 302765 ISO 7388-2

№ пер	Зміст інструментального переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
		пласт чистова CVKT 0502R-HF TT2510 	
Перевертання деталі			
16	Фрезерувати торець Ø90	3P TF90- 6100-32R-15-B	Комбінуюча оправка G _r nt форма ADB BT40-32(код 302895)
17	Фрезерувати торець Ø240	пласт 3PKT 150516R-MTT9080	
18	Фрезерувати Ø200	TT9080(мат чорнової пласт.) 3PKT 150508R-M TT7080 	
19	ФаскаØ150	Зенковка 90° для сталей Ø8 T ₁ CN код 150378 DIN335-C	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_20 довгий G _r nt код 302765 ISO 7388-2
20	Центрувати 3отв.Ø10	Свердло центровочне G _r nt №121000 для сталей<900Н/мм ²	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_40 короткий Er ₁ glu код 302760 

№ пер	Зміст інструментально го переходу	Різальний інструмент	Допоміжний інструмент
21	Свердлити 3отв.Ø10	Свердло 035-2300-1258	Патрон191113050 ТУ 2-035-986-85
22	Нарізати різьбу М10	Метчик 035-2620-0513	Цанговий патрон ER форма ADB BT40_40 короткий Er glu код 302760

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Постановка задачі теоретичного дослідження

Аналіз науково-технічної літератури [21] з технології машинобудування показав, науковці базуються на класифікації складових технологічної системи, яка показана на рисунку 4.1.

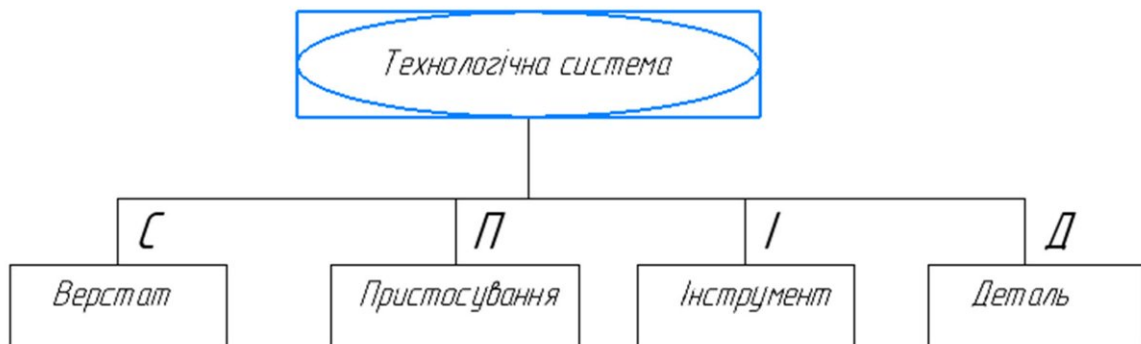


Рисунок 4.1 – Традиційна класифікація складових технологічної системи

Така класифікація не враховує суттєвих змін, що відбулися у промисловості у напрямку тотального поширення у світі обладнання з ЧПК у поєднанні з можливостями комп'ютерного моделювання.

Тому поставлена задача створення адекватної класифікації, яка б враховувала вказані особливості сучасного машинобудування.

4.2 Метод розв'язання наукової задачі

Єдиного загальноприйнятого формалізованого методу для вирішення поставленої задачі не виявляється можливим, що пояснюється її складністю.

Але можливо застосувати методи аналізу і синтезу у поєднанні з методами експертних оцінок.

Саме на цій методологічній основі базується сучасна САМ-система ESPRIT, яка має вбудовані бази даних основних компонентів технологічної системи. Науковцю надається можливість методами комп'ютерного експерименту у діалоговому режимі вести пошук оптимальної структури технологічної системи.

4.3 Обґрунтування запропонованої класифікації структури технологічної системи

Розвиток методів та засобів наукового пошуку оптимальних структур технологічних систем потребує насамперед подальшого розвитку класифікації їх підсистем.

На рис. 4.2 наведена запропонована класифікація складових технологічної системи.

Відрізняється наведена класифікація порядком представлення складових. На перше місце серед складових винесена деталь, бо врахування її технічних параметрів має найвищий пріоритет та найбільший вплив на раціональність (оптимальність) технологічної системи. Стає обов'язковим створення тривимірної моделі деталі у сучасних САМ-програмах. На цій стадії аналізують не лише конструктивну придатність деталі до виконання покладених на неї функцій у вузлі, агрегати, машині, але й технологічність її виготовлення тим чи іншим способом, на тому чи іншому обладнанні. Переваги надаються верстатам з ЧПК, тривимірним принтерам, або комбінованому обладнанню, що використовує обидва способи виготовлення деталей.

Друге місце у структурі відведено верстату. Під час вибору верстату, потрібно враховувати значну кількість обмежень. Зазвичай обирають серед обладнання, що вже є на підприємстві, обирають з найменш навантажених

виробничою програмою верстатів, або тих, на яких виготовлення конкретної деталі буде найбільш економічно доцільним. Але саме вже вибраний верстат і його технічні характеристики впливають кардинальним чином на технічний рівень технологічного процесу виготовлення запроєктованої технології.

Третя частина складається з вибору інструменту це важлива частина у структурі. Під час вибору інструментів потрібно враховувати механічні властивості інструментів, їх стійкість та вартість. Зазвичай обирають з тих, що вже використовуються на підприємстві, або замовляють окремо задля отримання потрібного економічного ефекту.

У четвертій частині треба вибрати (оптимальну структуру керуючої програми). Тут зазвичай використовують спеціалізовані комп'ютерні програми, у яких обирають то чи інший сценарій (стратегію) виготовлення деталі (обробки поверхонь).

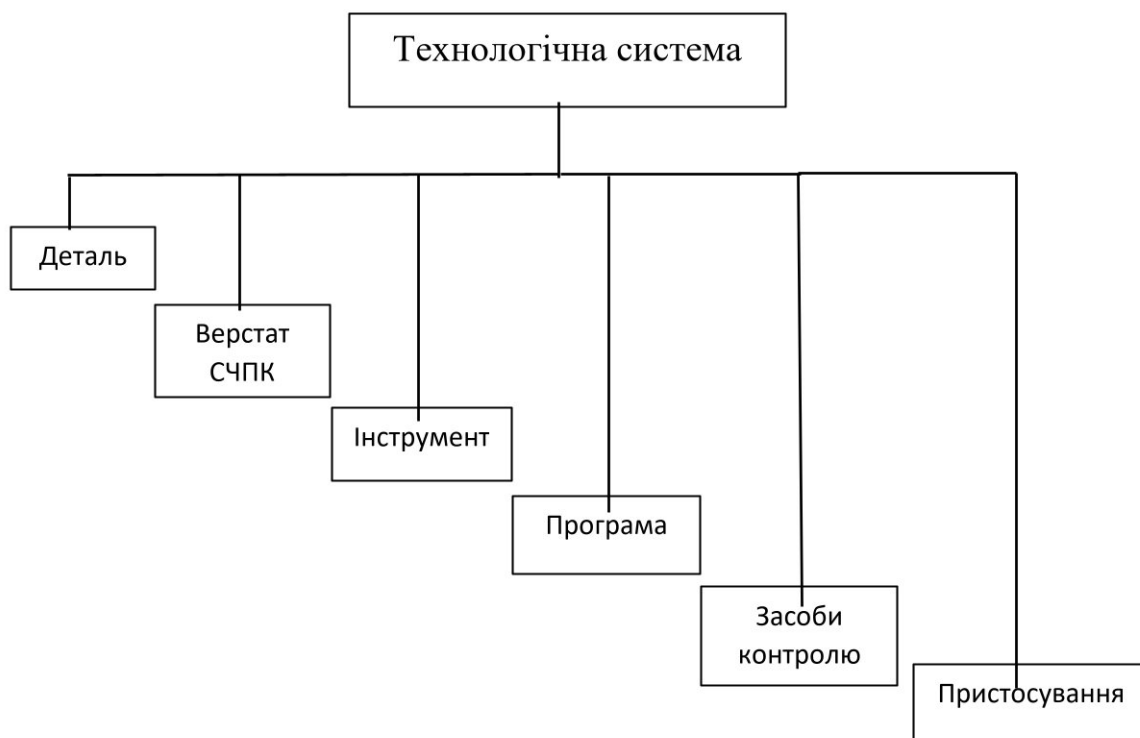


Рисунок 4.2 – Запропонована класифікація складових технологічної системи

Наступна частина складається з (засобів контролю). Контроль за якістю деталі буде проводитися за допомогою спеціалізованих датчиків (наприклад, контактного датчика компанії Renishaw). Для автоматизації цього процесу весь контроль розмірів буде проводитися ще на верстаті з ЧПК. Тому засоби контролю пропонується включати як новий підклас технологічної системи.

Обґрунтування цієї пропозиції викладено в наступному підрозділі.

4.4 Обґрунтування включення до класифікації засобів контролю

На сучасному етапі розвитку машинобудівного виробництва дуже важливим є застосування контролю не лише як засобу розділення готової продукції на придатну і браковану [20]. Контроль повинен забезпечувати автоматизоване керування обладнанням з метою одержання розмірів в заданому допуску, встановлення оптимальних режимів оброблення а також попередження і виключення браку. Одним з найбільш прогресивних методів контролю є активний контроль. У минулому ці засоби використовувалися на верстатах шліфувальної групи, де необхідно забезпечити високу точність оброблення при відносно низькій розмірній стійкості різального інструменту.

Останнім часом активний контроль все частіше використовують на токарних, фрезерних і фрезерно-свердлильно-розточувальних верстатах з ЧПК [21].

Засоби активного контролю повинні входити до класифікаційних складових технологічної системи бо вони можуть фіксувати зміну контрольованих розмірів деталей безпосередньо в процесі оброблення, видавати сигнали про досягнення заданого розміру під час оброблення, або про досягнення заданого положення виконавчих механізмів верстата, або різального інструмента. При цьому виключена необхідність в зупинці верстата, тобто час контролю суміщений з часом обробки. У засобах активного контролю відпрацьовуються відповідні сигнали, які керують механізмами металорізального верстата у відповідь на зміну ходу технологічного процесу,

циклу роботи або на зупинку верстата. В цьому напрямку позитивно показали себе засоби контролю Renishaw [31].

Так як вимірювання розмірів деталей здійснюється засобами активного контролю безпосередньо в процесі оброблення, то вони дозволяють керувати ходом і точністю всього технологічного процесу, що досягається наявністю відповідних засобів зв'язку, які дозволяють відслідковувати положення виконавчих механізмів верстата, попереджуючи появу браку.

Широкого застосування останнім часом в засобах активного контролю набув електронний принцип вимірювань. Цьому сприяє швидкодія, можливість перетворення сигналу в потрібну та зручну форму, добре розвинена елементна база для створення приладів, а також наявність стандартизованих вторинних пристроїв проміжних перетворень і отримання відліку, сигналу і команд в потрібній формі [27].

Всі ці обставини призвели до того, що останнім часом в машинобудуванні все інтенсивніше розробляють і застосовують схеми і засоби автоматичного контролю. Отже, включення до класифікації складових технологічної системи активного контролю є науково обґрунтованою пропозицією.

Останньою складовою запропонованої технологічної системи може бути підсистема пристосувань. З появою багатокординатних верстатів з ЧПК необхідність мати унікальні пристосування відпадає. Але це питання може бути предметом окремої наукової дискусії.

4.5 Опис наукової новизни

Науковою новизною є вперше запропонована розширена та рангована класифікація підсистем сучасної технологічної системи механічної обробки, що на перше місце ставить деталь й включає в собі також стадію контролю розмірів на усіх етапах її виготовлення.

4.6 Результат розв'язання наукової задачі

Після механічної обробки на верстаті завжди потрібно контролювати розміри відповідно до технічного завдання. Ручне контролювання розмірів завдяки людському фактору призводить як до похибки виміру, так і до великої кількості витраченого часу. Тому для більшої автоматизації весь контроль розмірів буде проводитися на верстаті з ЧПК.

Контактний датчик міжнародної компанії Renishaw, яка поглиблено спеціалізується в області вимірювання, повністю вирішує дану потребу. Для контролю деталі вал цілком відповідає модель OMP60, яка показана на рис. 4.3. Використання даного датчика дозволить виконати контроль параметрів та якості в процесі її виготовлення і комплексний контроль після обробки. Враховуючи вищезгадане, використання контактного датчика моделі OMP60 цілком доцільно.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

В цілому це компактний контактний тригерний 3D-датчик із оптичною передачею сигналу. Використовується для встановлення заготовки та контролю її обробки на різних середніх та великих обробних центрах.

Сумісний із усіма існуючими приймачами оптичних сигналів Renishaw дозволяє користувачам легко модернізувати існуючі установки.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Автоматизовані вимірювання в процесі за допомогою Renishaw рис. 4.3 можуть допомогти усунути ризик. Система радіозонда Renishaw OMP60 може сприяти наступним заходам для вдосконаленого управління виробництвом, що призводить до збільшення продуктивності рисунок 4.4. Поділяються на певні етапи, такі як:

- фундаментальний аналіз процесу;
- налаштування процесу;
- контроль процесу;
- моніторинг після процесу.

Моніторинг після процесу передбачає перевірку відповідності компонента до вилучення з машини. OMP60, який використовується разом із програмним забезпеченням OMV для перевірки машин Renishaw, забезпечує надійну перевірку за моделлю САПР, що означає меншу перевірку поза машиною, отже менше налаштування та переробки. Дає можливість скоротити час і витрати на перевірку поза машиною, швидше простежувати звітування

про відповідність деталей специфікації та в цілому підвищує впевненості у виробничому процесі.

Програмне забезпечення для контактного налагодження інструменту. Даний пакет макросів для контактного налагодження інструменту дозволяє точно задати довжину та діаметр ріжучих інструментів на обробних центрах з ЧПУ до обробки, а також виявити поломку інструменту та температурну деформацію в процесі обробки. Досвідчені користувачі можуть створювати та виконувати вимірювальні цикли, користуючись традиційними G-кодами. Нові та недосвідчені користувачі можуть скористатися різними зручними графічними інтерфейсами Renishaw (включаючи Set and Inspect) або програмою для смартфона GoProbe.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Основні технічні характеристики та призначення щупа Renishaw OMP60 зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Основний опис призначення Renishaw RMP600

Значення	Опис передачі модульованого сигналу
Основне призначення	Вимірювання розмірів деталей та налаштування на технологічні операції на обробних центрах будь-якого габариту та мало- та середньогабаритних багатоцільових верстатів
Спосіб передачі сигналу	Передача оптичного сигналу інфрачервоного діапазону в межах 360° (модульованого або звичайного)
Сумісні інтерфейси	ОМІ-2, ОМІ-2Т, ОМІ-2Н, ОМІ-2С або ОСІ / ОММ-2, ОММ-2С
Робочий діапазон	До 6 м
Рекомендовані щупи	Керамічні, довжиною від 50 до 150 мм
Вага без хвостовика (з батарейками)	885 г
Режими включення / вимикання	Оптичне включення (Оптичне виключення або таймеру) Увімкнення обертанням (Вимкнення обертанням або по таймеру) Увімкнення від вимикача на хвостовику (Вимкнення від вимикача на хвостовику)
	Не більше 1767 днів, залежно від режиму увімкнення/вимкнення

Значення		Опис передачі модульованого сигналу
Термін служби батарейок (2 літій-тіонілхлорідніе батарейки AA 3,6 В)		Не більше 690 годин, залежно від режиму увімкнення/вимкнення
Напрямок вимірювань		$\pm X, \pm Y, + Z$
Одностороння повторюваність		1,00 мкм (2 σ) (см. прим. 1)
Зусилля спрацьовування щупа (див. прим. 2 та 3)	Низьке зусилля спрацьовування ХУ	площина ХУ (Типове мінімальне значення) – 0,20 Н, 20 гс в напрямку + Z (Типове мінімальне значення) - 1,90 Н, 194 гс
	Висока зусилля спрацьовування ХУ	площина ХУ (Типове мінімальне значення) – 2,80 Н, 286 гс (див. прим. 3) в напрямку + Z (Типове мінімальне значення) - 9,80 Н, 999 гс (див. прим. 4)
	Напрямок +Z	3 мм / хв з автоскиданням
Клас захисту		IPX8 (EN / IEC 60529)
Робоча температура		від +5 ° С до +55 ° С

Примітка 1. Перевірка експлуатаційних характеристик виконувалася за стандартної швидкості 480 мм/хв (18,9 дюйма/хв) зі щупом 50 мм. Залежно від вимог конкретного завдання, може вибиратися більш висока швидкість.

Примітка 2. Зусилля спрацьовування, яке є особливо важливим у деяких галузях застосування, є силою, прикладеною до деталі щупом у момент спрацьовування датчика. Максимальне зусилля досягається після точки спрацьовування, тобто при перебігу. Величина зусилля залежить від відповідних змінних факторів, включаючи швидкість вимірювання та величину уповільнення переміщення на верстаті.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Примітка 3. Це заводські налаштування; передбачене ручне регулювання. Докладніше див. у Посібнику з установки датчика OMP60 (номер за каталогом Renishaw H-4038-8505).

Для датчиків OMP60 рисунок 4.6 обираємо щуп підвищеної міцності з вуглецевого волокна з високим значенням коефіцієнта Юнга. Цей щуп, розроблений з метою зведення до мінімуму робочого ходу і підвищення точності датчика, розпізнаються по гладкій обробці поверхні графіту.

Щуп підвищеної міцності з вуглецевого волокна показаний на рисунку 4.7 та зведені розміри в таблиці 3.2 нижче, забезпечує оптимальні робочі характеристики тензодатчика RMP600.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Таблиця 4.2 – Основні розміри щупа Renishaw RMP600

	Опис розміру	A-5003-7306
A	Діаметр сферичного наконечника, мм	6,0
B	Довжина, мм	50,0
C	Діаметр стержню щупа, мм	4,5
D	Ефективна робоча довжина, мм	38,5
	Вага, г	4,1

4.7 Принципи роботи та інновації в технології сенсорного датчика тригера

З моменту винаходу сенсорного щупа в 1970-х роках ці пристрої стали основним засобом датчиків для вимірювання розмірів на координатно-вимірювальних машинах (КВМ) і верстатах. Датчики сканування все частіше використовуються на КВМ для вимірювання складних форм і для характеристики форми призматичних компонентів. Проте сенсорні тригерні датчики все ще відіграють важливу роль у перевірці розміру та

положення компонентів на КВМ, а також у налаштуванні заготовки та контролі в процесі на верстатах.

У цьому модулі розглянемо характеристики роботи двох ключових технологій сенсорного датчика (кінематичного резистивного і тензометричного) і виділимо, як розвиток цих датчиків продовжує приносити користь на виробництві.

Кінематичні резистивні зонди

Основними вимоги до сенсорного щупа можна віднести:

- відповідність таким чином, що стилус відхиляється, коли він стикається з поверхнею компонента, прикладає низьку силу до компонента і дає час машині уповільнитися, перш ніж відступити від поверхні;
- механічна повторюваність, так що стилус завжди повертається в одне і те ж місце відносно верстата/шпинделя, коли він не контактує з деталлю;
- електрична повторюваність, так що датчик завжди спрацьовує при однаковому відхиленні стилуса в будь-якому конкретному напрямку

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Оригінальний щуп із сенсорним тригером заснований на пружинному кінематичному розташуванні стрижнів і кульок, як показано на рисунку 4.8. Вони забезпечують шість точок контакту, гарантуючи, що держатель стилуса

тримається в унікальному місці з чудовою повторюваністю. Механізм дозволяє відхиляти щуп зонда, коли він зустрічається з поверхнею деталі, тоді як пружина забезпечує повторне встановлення механізму, коли стилус

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

під дією пружини) були дуже малими. Через контакти проходить електричний ланцюг, і саме опір цього ланцюга вимірюється електронікою зонда.

1) Коли щуп щупа рухається до компонента, пружина утримує всі кінематичні елементи в контакті, так що ігла перебуває у відомому положенні відносно пінолі/шпинделя.

2) Стилус зустрічається з поверхнею.

3) Оскільки рух машини продовжує приводити стилус до контакту з деталлю, у механізмі датчика починають створюватися сили. Контактна сила на наконечнику щупа створює момент у механізмі зонда щодо набору контактів на лівій стороні механізму, який урівноважується реактивним моментом, створеним пружиною, що обертається приблизно на тому самому набору контактів. У міру зростання цих сил стилус зазнає згинання (на схемі значно перебільшено для ілюстрації).

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

праворуч розходяться, розриваючи електричне коло в зонді. Перш ніж це станеться, генерується тригер, див. розділ про електричне перемикання нижче). Сигнал тригера використовується, щоб зафіксувати положення машини в цей момент і надати машині команду сповільнитися і відступити від поверхні.

5. Після того, як машина відступить від поверхні, зонд знову встановиться у своє повторюване положення спокою.

Електричне перемикання

Через кінематичні контакти укладено електричне коло. Кульова пластина ізольована від сфер з карбиду вольфраму, тоді як циліндри та держатель стилуса також ізольовані один від одного (див. рисунок 4.10а). Проводи в кульковій пластині несуть струм між наборами контактів.

Під навантаженням пружини контактні елементи зазнають пружної деформації (див. рисунок 4.10б), створюючи невеликі контактні ділянки, через які може протікати струм. Опір на кожній ділянці контакту обернено пропорційний до площі ділянки контакту ($R = \rho/A$). У міру збільшення сили між іглою та компонентом реактивний момент, який створюється в механізмі датчика, викликає збільшення зусиль між одними контактними елементами, тоді як сила між іншими зменшується. Оскільки сила між двома контактними елементами зменшується, площа плями контакту стає меншою, що збільшує опір між цими елементами. З усіма шістьма контактами, з'єднаними послідовно, контакти з найменшою силою між ними сильно впливають на загальний опір в ланцюзі датчика.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 4.11. Тригер генерується, коли опір ланцюга датчика перевищує порогове значення

Коли опір досягає порогового значення, вихід датчика встановлюється на «спрацьовує» (див. рисунок 4.11). Важливо, що кулі та стрижні все ще знаходяться в контакті, коли відбувається спусковий механізм, так що стилус знаходиться у визначеному положенні, забезпечуючи повторювані вимірювання.

Фактори продуктивності кінематичного резистивного датчика

Перед переміщенням

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 4.12 – Баланс сил у сенсорному тригерному зонді

Коли стилус стикається з поверхнею, встановлюється баланс сил. Перед досягненням порога тригера ці зростаючі сили змушують стилус згинатися. Оскільки машина все ще рухається, величина згинання стилуса, що відбувається до спрацьовування датчика, впливає на зафіксоване положення машини під час запису тригера. Такий згин стилуса перед спусковим гачком відомий як попередній хід.

Посилаючись на рисунку 4.12, попередній хід залежить від F_C і L , а також від жорсткості стилуса за формулою:

Попереднє переміщення = $F_C \cdot L^3 / 3EI$ (де E — модуль Юнга матеріалу штока щупа, а I — момент інерції).

Перед роз'єднанням контактних елементів баланс сил виглядає наступним чином:

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Варіація перед поїздкою (лобінг)

Контактні набори в кінематичному резистивному зонді утворюють трикутне розташування. Це означає, що відстань повороту R змінюється в залежності від напрямку, в якому діє контактна сила по відношенню до механізму зонда. Для певного стилуса (тобто L є постійною) контактна сила F_C пропорційна R .

На рисунку 6 показано, як змінюється контактна сила для даного стилуса в залежності від напрямку контакту. У напрямку малої сили (FL) відстань повороту R приблизно вдвічі менша, ніж у напрямку високої сили (FH). Малюнки 4.14 і 4.15 ілюструють це більш детально. Оскільки $R1 > R2$, то $Fc1 > Fc2$. Для досягнення порога спускового механізму в напрямку високої сили потрібна більша сила, що призводить до більшого попереднього переміщення

в цьому напрямку. Зміна сили тригера призводить до явища, відомого як варіація перед пересуванням (PTV) або лобування.

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 4.14 – Точка опори знаходиться далі від центральної лінії стилуса в напрямку високої сили

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

напрямку малої сили

На рисунку 4.16 показаний типовий графік ХУ перед ходом для кінематичного резистивного датчика сенсорного тригера TP6. Три напрямки високої сили можна розглядати як пікові точки цього графіка. Максимальне відхилення попереднього ходу в цьому випадку становить близько 3,3 мкм (0,00013 дюйма).

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

XYZ варіація перед поїздкою

Попередня подорож існує не тільки в площині XY, а й у напрямку Z. У цьому випадку немає механічної переваги (дія важеля) над пружиною щупа, тому контактне зусилля таке ж, як і зусилля пружини (див. рисунок 4.17); тому спускова сила в цьому напрямку набагато вище, ніж у площині XY. Однак, оскільки стилус стискається під час спрацьовування в цьому напрямку, його ефективна жорсткість набагато вища, а попередній хід у напрямку Z, як правило, набагато менший, ніж у площині XY.

Кінематичні резистивні датчики демонструють 3-вимірний (XYZ) PTV, комбінацію ефектів XY і Z перед переміщенням. При вимірюванні складних поверхонь це стає важливою характеристикою.

Калібрування зонда

Сам по собі попередній хід не є формою помилки, оскільки його можна легко компенсувати за допомогою калібрування датчика. Базовий елемент, відомого розміру та положення, вимірюється для встановлення середнього попереднього ходу для відповідного стилуса. Коли це буде завершено, ключовим фактором, що впливає на точність вимірювання, є повторюваність датчика (див. наступний розділ).

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Однак є деякі обмеження. На складних частинах може знадобитися багато напрямків зондування. Якщо значення RTV для комбінації датчик/щуп є досить низьким, то його вплив на точність вимірювання може бути прийнятним. Однак, якщо ця потенційна похибка вимірювання неприпустимо велика, то може знадобитися калібрувати зонд для кожного напрямку, в якому він буде використовуватися.

Повторюваність

Здатність датчика спрацьовувати в одній і тій же точці кожен раз відома як повторюваність. Це випадкова помилка і кінематичні резистивні датчики для верстатів, які зазвичай повторюються в межах 1,0 мкм (0,00004 дюйма) (2σ) на кінчику стилуса. Багато кінематичних резистивних датчиків ШМ можуть повторюватися в межах 0,35 мкм (0,000014 дюйма) (2σ). Важливо зазначити, що це значення на випробувальній установці і не обов'язково відображають повторюваність вимірювань системи. Будь-яка зміна часу, необхідного для фіксації положення машини з моменту, коли датчик видає тригерний сигнал, буде проявлятися як збільшення повторюваності. Хоча проекти керування ШМ оптимізовано навколо входу датчика, для верстатів з ЧПУ це не завжди так.

Інші фактори, які можуть вплинути на повторюваність вимірювань щупів верстатів, включають:

- Частота вибірки сигналу датчика контролером машини - на СММ це зазвичай переривання в реальному часі, в той час як деякі верстати з ЧПУ оснащені високошвидкісними входами для пропуску, щоб мінімізувати невизначеність положення в точці тригера. Однак деякі ЧПУ вибірки вводяться лише кожні кілька мілісекунд.

- Повторюваність передачі – зміна часу, необхідного для передачі сигналу тригера пробника до контролера. Оптичні та радіопередачі Renishaw розроблені так, щоб мати коротку і дуже повторювану затримку.

Гістерезис

Напрямок спускового механізму попереднього щупа має невеликий вплив на точку спускового гачка - схоже на люфт у кульково-гвинтовому механізмі. Гістерезис максимізується, коли вимірювання слідує за переміщенням зондування в протилежному напрямку в площині XY. Цей ефект посилюється із збільшенням довжини стилуса та сили контакту. Однак кінематичний механізм мінімізує гістерезис, тому він зазвичай є лише невеликою складовою односпрямованої повторюваності зонда.

Фактори ефективності корегуються за важливістю

1. Повторюваність.

Це ключова вимога до продуктивності будь-якого датчика тригера і є основним обмеженням продуктивності системи. Гістерезис сприяє повторюваності.

2. Передрухові варіації.

Цей фактор можна видалити за допомогою калібрування за умови, що всі напрямки зондування відомі.

Точність вимірювання буде знижена, якщо зонд з високим значенням RTV використовується в некваліфікованому напрямку. RTV швидко збільшується з довжиною стилуса в кінематичних резистивних датчиках.

3. Гістерезис.

Невеликий коефіцієнт для зондів з кінематичними механізмами.

Технологія тензометричного зонда

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 4.18 – Тензодатчик, закріплений на перетинці всередині зонда

Новіша форма сенсорної технології вирішила обмеження продуктивності механізму кінематичного резистивного зонда: кремнієвих тензодатчиків. Це стало можливим завдяки сучасній компактній електроніці та твердотільному датчику, який Renishaw розробив для зондів розміром до 13 мм (0,5 дюйма) в діаметрі.

Хоча тензодатчики все ще використовують кінематичний механізм для утримання стилуса, вони не використовують опір через контактні елементи як засіб для виявлення тригера. Замість цього набір тензорезисторів розташований на ретельно розроблених полотнах у структурі зонда над кінематикою (див. рисунок 4.17). Ці датчики вимірюють контактну силу, прикладену до стилуса, і генерують тригер, коли деформація перевищує порогове значення. Це забезпечує низьку силу спускового механізму, а оскільки датчик не залежить від кінематики, забезпечує постійну характеристику тригера в усіх напрямках.

Вимірювання контактної сили

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рисунок 4.19 – Схема тензорезистора, що вимірює контактну силу

На рисунку 4.19 показана схема тензометричного зонда. При малих контактних зусиллях кінематика залишається в силі, і сила передається через них на структуру зонда. Тензодатчики – три вимірювальні манометри, вирівняні по осі X, Y і Z – встановлені на тонких полотнах. Вони виявляють сили в конструкції, і їх вихідні результати підсумовуються разом, так що, як тільки поріг сили порушено в будь-якому напрямку, генерується сигнал тригера. Це порогове зусилля, як правило, становить кілька грамів - набагато нижче, ніж зусилля тригера на еквівалентному резистивному датчику.

Тензодатчики дуже чутливі до зусиль, що діють на конструкцію, і виявляють вібрації на машині, поки стилус не контактує з поверхнею деталі. Схема фільтрації всередині зонда визначає, чи є деформації, що спостерігаються на манометрах, результатом реального та постійного відхилення стилуса. Щоб досягти цього, коротка і дуже повторювана затримка вводиться в ланцюг виявлення з моменту першого перевищення поріг сили, після чого необхідно спостерігати постійну і зростаючу силу перед тим, як спрацює тригер в кінці періоду затримки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В сучасній ринковій економіці є певне співвідношення між масовим та одиничним виробництвом, але найчастіше зустрічається серійне та дрібносерійне виробництво деталей типу “Корпус”. На кожному підприємстві завжди виникає потреба в одиничному виробництві і в цілому розглянуто сучасну тенденцію розвитку машинобудівної галузі. Було обрано раціональну структуру технологічної системи, призначеної для оброблення деталі Корпус превентора.

Науковою новизною є вперше запропонована розширена та рангована класифікація підсистем сучасної технологічної системи механічної обробки, що на перше місце ставить деталь й включає в собі також стадію контролю розмірів на усіх етапах її виготовлення.

У кваліфікаційній роботі розроблено прогресивну технологію обробки деталі “Корпус превентора” в умовах серійного виробництва. Розглянуто інноваційні технології зі створення режимів різання, методи утворення поверхонь та симуляція обробки в програмах CAD/CAM систем. Комбіновані операції формоутворень поверхонь деталі досліджені на сучасних верстатах з ЧПК.

Докладно описано конструкторські та технологічні особливості. Зроблена оцінка технологічності конструкції деталі. Проаналізовано обраний метод отримання заготовки. На підставі розрахунку запропоновані технологічні маршрути обробки деталі. Зроблені розрахунки режимів різання, з використанням норм часу. У проекті виконано підбір прогресивного ріжучого інструменту, спеціального вимірювального пристрою, а також обґрунтовано чому нова технологічна система краще старій.

Запропонована технологія має інноваційну структуру технологічної системи бо, використання одного сучасного токарно-карусельний верстата з ЧПК та приводним інструментів замінює роботу трьох верстатів універсальних: токарного, фрезерного та шліфувального. Все це спричинено

досить високою жорсткістю та точністю сучасних верстатів з ЧПК, які прямо впливають на точність та шорсткість виготовленої деталі. Це дозволяє досягти заданої точності та шорсткості поверхні деталі при тонкому точінні замість використання шліфувального верстату. Окрім того, функція приводного інструменту дає можливість обробки отворів, що виключає використання свердлильного верстату. Технологічна система з ЧПК зменшує ризики, пов'язані з людським фактором та зменшує в цілому брак на виробництві.