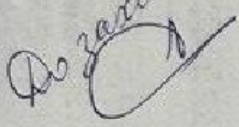


Міністерство освіти і науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

До записки


ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
 кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Норець Людмили Володимирівни
 (ПІБ)




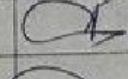

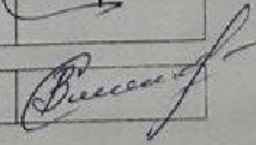
академічної групи 131М-23зн-1 ММФ
 (шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
 машинобудівного виробництва»

на тему: «Розробка автоматизованого процесу виготовлення та
 дослідження міцності деталі «Стакан» методами комп'ютерного моделювання»

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

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Алексеєнко С.В.	78	<i>добре</i>	
розділів:				
Аналітичний	Алексеєнко С.В.	78	<i>добре</i>	
Технологічний	Алексеєнко С.В.	78	<i>добре</i>	
Спеціальний	Алексеєнко С.В.	78	<i>добре</i>	
Науково- дослідницький	Алексеєнко С.В.	78	<i>добре</i>	
Рецензент	<i>Богданівська З.В.</i>			


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.

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» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Норець Людмилі Володимирівні
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23зн-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 типу «Стакан» в умовах серійного машинобудівного виробництва.

Предмет досліджень – методи автоматизації технологічного процесу виготовлення деталі «Стакан», включаючи комп'ютерне моделювання, САМ-програмування та інтегрований контроль точності на верстаті з ЧПК.

Мета – розробити та обґрунтувати ефективний автоматизований технологічний процес виготовлення деталі «Стакан» із використанням комп'ютерного моделювання, САМ-систем та інтегрованого вимірювального контролю, що забезпечує підвищену точність і зниження витрат часу у виробництві.

Вихідні дані для проведення роботи – 1) конструкторська документація на деталь "Стакан"; 2) річна потреба у виробах – 1200 штук; 3) заготівка – відливка за ДСТУ 8781:2018; 4) стандарти Єдиної системи технологічної документації, нормативи режимів різання, матеріальні та трудові нормативи.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – удосконалено підхід до контролю геометричних параметрів деталі шляхом інтеграції високоточних контактних датчиків Renishaw безпосередньо у верстат із ЧПК, що дозволяє виконувати оперативний контроль у процесі обробки.

Практична цінність – результати можуть бути впроваджені в серійне машинобудівне виробництво для зниження часу технологічної підготовки, підвищення точності та скорочення впливу людського фактору на контроль якості виготовлення деталей.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Розробити оптимізований автоматизований технологічний процес виготовлення деталі «Стакан», створити її 3D-модель, САМ-програму для верстата з ЧПК, а також впровадити систему інтегрованого вимірювального контролю. Провести комп'ютерне дослідження міцності деталі з аналізом напружено-деформованого стану. Розробка має забезпечити підвищення точності, ефективності та адаптивності обробки до умов серійного виробництва.

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	22.04.2025-19.05.2025

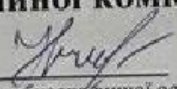
Завдання видано


(підпис керівника)

С.В. Алексеенко
(ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 9 травня 2025 р.

Прийнято до виконання 
(підпис здобувача вищої освіти)

Л.В. Норець
(ініціали та прізвище)

ВСТУП

Ефективність машинобудування має підвищуватися внаслідок зміни структури парку металорізального обладнання. Це досягається шляхом збільшення питомої ваги автоматизованого устаткування, оснащених мікропроцесорною та обчислювальною технікою, що дає змогу швидко й ефективно перебудувати виробництво на випуск нових виробів. В машинобудівному виробництві понад 50% парку металорізальних верстатів працюють в умовах серійного та одиничного виробництва. При цьому, питома вага машинного (основного) часу становить не більше 20-40%.

Зважаючи на це, під час проєктування нових цехів необхідно забезпечити оптимальне співвідношення наявних універсальних верстатів, напівавтоматів і верстатів із ЧПК, оснащених оснащенням, яке можна переналагоджувати. Економічно обґрунтоване завантаження устаткування повинне забезпечуватися відповідною організацією виробничого процесу в цеху, заснованою на прогнозуванні та оперативному управлінні з використанням обчислювальної техніки, що дає змогу скоротити час на технологічну підготовку і простої верстатів у налагодженні.

У випускній роботі розроблено технологічний процес механічної обробки деталі "Стакан" в умовах середньосерійного виробництва. Річна потреба у виробках становить 1200 штук.

Заготовкою є відливка за ДСТУ 8781:2018, що забезпечує ефективність використання матеріалу в 50%.

Для виготовлення деталі використано як універсальний токарно-револьверний верстат, так і високоавтоматизований токарно-револьверний верстат із ЧПК, оснащений оперативною системою керування "Fanuc", що дає змогу створювати та редагувати керуючу програму безпосередньо на робочому місці.

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 «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічна характеристика об'єкта виробництва

Для розроблення оптимального технологічного процесу виготовлення деталі, забезпечення раціональної концентрації технологічних операцій із застосуванням економічно обґрунтованих і технологічно необхідних методів оброблення необхід-

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.

3-
2-
4,
4-
2-
: і
3-

ною конструкторською базою. Виходячи з цього, обидві поверхні мають бути співвісні в межах допуску на розмір $55h11$ мм, тобто - 0,095 мм. Оскільки нижній то-

рець деталі контактує з верхнім витком пружини і визначає напрямок її зусилля, він є допоміжною конструкторською базою і має бути перпендикулярний осям основних баз. У процесі експлуатації стакан не піддається значним механічним впливам, впливу агресивного середовища і високої температури. Робоче навантаження незначне за величиною, спрямоване в один бік і змінюється в невеликому діапазоні. Контактні напруження на поверхнях, що сполучаються, значно нижчі за допустимі і під час переміщень не призведуть до інтенсивного зносу. Тому для виготовлення деталі "Стакан" підходить будь-який матеріал, що зберігає форму і розміри за незначних навантажень і не схильний до температурних деформацій у

з
Г
Е
Л
С
Г
Л
Х
Д

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

0,12
Меха
пуску
власт
Табл

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

тках
4
ості.
від-
арні

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

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Проаналізував кресленик деталі (рис.2) виявилось, що конструкція характеризується поєднанням поверхонь правильної геометричної форми.

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

Рис.2 Фрагмент кресленника деталі «Стакан»

Практично всі поверхні допускають обробку на прохід. За винятком кільцевої канавки для виходу різця в отворі М30х1,5-7Н і зовнішньої циліндричної пове-

рхні діаметром 55h11 мм. Значну ширину канавки можна вважати нетехнологічним елементом, оскільки вона потребуватиме багатопрохідного оброблення стандартним розточувальним канавочним різцем. Однак з іншого боку, така ширина допускає використання стандартного мітчика для нарізування грубої різьбової поверхні, замість багатопрохідної обробки точінням. Нетехнологічним елементом конструкції деталі можна вважати незначну протяжність (5 мм) зовнішньої циліндричної поверхні діаметром 62 мм, оскільки це єдина технологічна база для обробки верхньої частини склянки. Використання отвору в заготівлі або остаточно обробленої поверхні різьблення значно ускладнить маршрут механічного оброблення та конструкції пристосувань. Водночас обробка можлива, але за обмежених режимів різання і додаткових витрат часу на встановлення деталі в токарному патроні

Є
Т
ї
Д
Т

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

СИХ
НІЙ
Ь І
НЯ
ІАС-

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталі

Виробнича програма випуску деталей встановлюється залежно від річної потреби виробів та організаційно-технічних умов виробництва і складання. За завданням приймається серійний тип виробництва. Вважаючи, що річна потреба в редукторах 1200 штук і в одному виробі застосовують чотири деталі цього найменування, виробничу програму випуску деталей визначаємо за формулою:

$$N = N_{и} \cdot q \left(1 + \frac{h}{100} \right) = 1200 \cdot 4 \cdot \left(1 + \frac{2,5}{100} \right) = 4920 \text{ (шт/рік)} \quad (1.1)$$

де $N_{и}$ – річна програма випуску виробів;

q – кількість деталей даного найменування в одному виробі;

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

Основним показником, що характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, які одночасно запускаються у виробництво (серіями запускається виріб, що складається з певних деталей). Розмір партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi} = \frac{4920 \cdot 6}{254} = 116,2 \text{ (шт)}, \quad (1.2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

Φ – число робочих днів на рік.

Приймаємо розмір партії 120 штук, щоб розмір партії був кратний річній програмі випуску деталей. Тоді на рік буде запускатися 41 партія.

2.2 Вибір заготовки

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати призначення і конструкцію деталі, технічні вимоги, масштаб і серійність випуску, а також економічність виготовлення. Обрати заготовки – значить установити спосіб її одержання, призначити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри і вказати вимоги до точності виготовлення.

Оскільки на робочому кресленні деталі не вказано вид заготівлі та відсутні вимоги до структури матеріалу, пов'язані зі способом її одержання, приймаємо вид заготовки, що забезпечує більшу економію матеріалу і стабільні механічні властивості матеріалу.

Спосіб отримання виливки призначаємо з огляду на масу, конфігурацію деталі та орієнтуючись на серійний тип виробництва. З огляду на досить просту форму і невисокі вимоги до точності та взаємного розташування необроблених поверхонь, а також незначний обсяг механічного оброблення, приймаємо найпоширеніший спосіб одержання виливків – лиття в піщано-глинисті форми.

Розміри виливки та їхню точність визначимо за методикою, запропонованою ДСТУ який поширюється на виливки з чорних і кольорових металів і сплавів і встановлює допуски розмірів, форми, розташування і нерівностей поверхні, допуски маси і припуски на обробку. Номінальний розмір виливки приймається рівним номінальному розміру деталі для необроблених поверхонь і сумі середнього розміру деталі та загального припуску на обробку для оброблених поверхонь.

Норми точності на виливки встановлюються загалом і характеризуються класом розмірної точності виливки, ступенем викривлення, ступенем точності поверхонь і класом точності маси. Обов'язковому застосуванню підлягають класи розмірної точності і точності маси виливки.

Рекомендовані та прийняті значення норм точності під час отримання виливок із необроблених сталевих сплавів у піщано-глинисті сирі форми з сумішею із вологістю від 2,8% до 3,5% і міцністю від 120 до 160 кПА, з рівнем ущільнення до твердості не нижче 80 одиниць наведені в такій таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Найменування норми точності	Критерії	Норма точності	
		Діапазон	Прийнято
Клас розмірної точності	Найбільший габаритний розмір виливки до 100 мм	7т-11т	9
Ступінь жолоблення	Відношення довжини до діаметра понад 0,2	3-6	4
Ступінь точності поверхні	Найбільший габаритний розмір виливки до 100 мм	9-16	12
Клас точності маси	Ном. маса виливки до 1кг	5-13т	10

Ряд припусків призначається залежно від прийнятого ступеня точності поверхні. За додатком "Д" він дорівнює чотирьом.

Величина припуску на механічну обробку призначається залежно від ряду припуску, загального допуску елемента поверхні та виду остаточної обробки (чорнова, напівчистова, чистова, тонка). Загальний допуск враховує спільний вплив допуску розміру від поверхні до бази і допусків форми та розташування поверхні. Він встановлюється за спеціальною таблицею після призначення допусків розміру і форми поверхні.

Допуск зміщення вилівки по площині роз'єму в діаметральному вираженні встановлюють на рівні класу розмірної точності вилівки за номінальним розміром найтоншої зі стінок вилівки, що виходять на роз'єм.

Для того, щоб визначити, на які поверхні необхідно призначити припуск на механічну обробку, на яких утворюється технологічний напуск, а які залишаться необробленими, аналізується робоче креслення деталі. У результаті доходимо висновку, що припуск на механічну обробку призначають на внутрішню поверхню М30х1,5, усі зовнішні циліндричні, торцеві поверхні та бічні поверхні квадрата розміром 19 мм. Форма вилівки наведена на рисунку 3.

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

Значення припусків і допусків на розміри заготівлі, встановлені за прийнятими вихідними даними відповідно до ДСТУ 8781:2018, наведені в таблиці 3.2. Мі-

німальний припуск для усунення нерівностей і дефектів поверхні дорівнює 0,4 мм. Для оброблених поверхонь виливки встановлюється симетричне розташування полів допусків. Для необроблених поверхонь допускається будь-яке розташування, зокрема й одностороннє. Параметр шорсткості поверхонь виливки встановлено за додатком Ж і становить Ra 25 мкм.

Таблиця 3.2

Розмір за кресленням, мм	Допуск розміру, мм	Допуск форми, мм	Загальний допуск, мм	Припуск на сторону, мм		Розмір заготовлі, мм
Ø62 _{-0,74}	2,0	0,24	2,0	z ₂	1,6	Ø65,2±1,0
Ø55 _{-0,19}	2,0		2,0	z ₈	2,3	Ø59,6±1,0
Ø30,6(M30x1,5)	1,8		2,0	z ₁	2,1	Ø26,4±0,9
19	1,6	0,24	0,16	z ₅	1,5	22,0±0,8
30±0,5	1,8	0,24	2,0	z ₆ , z ₇	1,5	33,0±0,9
22±0,5	1,6		1,6	z ₄	1,5	25,0±0,8
18±0,5	1,6		1,6	z ₉	1,5	18±0,8
5 _{-0,3}	1,1		1,2	z ₃	1,2	7,7±0,55

З урахуванням цих рекомендацій і даних таблиці 3.2 виконано робоче креслення виливки.

Одним із показників технологічності конструкції заготовлі є коефіцієнт вагової точності, який визначається за формулою:

$$K_{\text{в.т.}} = \frac{G_{\text{д}}}{G_{\text{з}}}, \quad (3.1)$$

де $G_{\text{д}}$ - маса готової деталі;

$G_{\text{з}}$ - маса заготовлі, що надходить із заготівельного цеху.

Використовуючи дані робочого креслення виливки, визначаємо масу заготовки шляхом поділу її форми на елементарні геометричні фігури, для яких визначають об'єм і масу, з урахуванням густини сталі 15Л. Розрахунок виконано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Позначення фігури	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
-------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Об'єм фігури, 10^{-6} м^3	25,7	47,4	3,53	-9,84
Об'єм виливки, 10^{-6} м^3	92,29			
Маса виливки, кг	0,72			
Маса деталі, кг	0,36			
Коефіцієнт вагової точності	0,5			

2.3 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі

Під час розроблення маршрутної технології виготовлення деталі, кількість технологічних операцій та їхня концентрація визначатиметься методами оброблення поверхонь, що призначені з огляду на необхідну точність розміру, параметр шорсткості та умови оброблюваності сталей звичайної якості. Перелік оброблюваних поверхонь і методи оброблення, що можуть забезпечити виконання вимог креслення, наведені в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1

Вид поверхні, розмір, мм	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Метод обробки поверхні
Зовнішня $\varnothing 55h11$	11	3,2	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішня $\varnothing 62h14$	14	12,5	Точіння однократне
Зовнішня $\square 19$	12	12,5	Фрезерування
Внутрішня M30x1,5-7H	-	6,3	Розточування Нарізування різьби
Внутрішня $\varnothing 4H14$	14	12,5	Свердління
Торцева $30 \pm 0,42$	15	6,3	Точіння однократне

Для забезпечення співвісності всіх внутрішніх поверхонь деталі і перпендикулярності їхньої загальної осі нижнього торця необхідно забезпечити їхню оброб-

ку з одного установа. Єдиною технологічною базою для цього може бути попередньо оброблена зовнішня поверхня діаметром $55h11$ мм. Ця поверхня має бути оброблена на першій операції. При цьому можлива обробка і двох торців, пов'язаних розмірами $30\pm 0,42$ і $22\pm 0,42$ мм. Така обробка можлива на універсальному токарно-револьверному верстаті під час базування за зовнішньою необробленою поверхнею діаметром $65,2\pm 1,0$ мм. Тоді на наступній токарній операції можлива комплексна обробка внутрішніх поверхонь. Обладнанням може слугувати як токарно-гвинторізний, так і токарно-револьверний верстат. Мінімальну трудомісткість операції і відсутність переналагодження забезпечить використання токарного напівавтомата з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Обробку квадрата раціонально виконувати на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК, налаштованому на цикл автоматичних переміщень у подовжньому і поперечному напрямках, з базуванням деталі в лещатах із призматичними губками 4.2

Таблиця 4.2

Опер.	Найменування операції	Короткий зміст операції	Модель верстата
05	Токарно-револьверна	1. Чорнове та чистове точіння зовнішньої поверхні $\varnothing 55h11$ мм 2. Підрізування торця	WFL Mill Turn
10	Токарна з ЧПК	1. Підрізування торця 2. Розточування отвору 3. Свердління отвору $\varnothing 4H14$ мм 4. Нарізування різьби M30x1,5-7H	
15	Фрезерна	Фрезерування квадрата 19h12 мм	
20	Контрольна	Комплексний контроль деталі	-

2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуски на механічну обробку значною мірою впливають на технологічну собівартість виготовлення деталі. Видалення надмірного припуску пов'язане зі

збільшенням машинного часу на чорнову обробку, як у разі виконання додаткових обдирних проходів, так і внаслідок зниження режимів різання в разі значної глибини різання. При цьому підвищується витрата різального інструменту і загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

Припуски на три поверхні призначаємо статистичним (табличним) методом. У цьому випадку загальний припуск приймається рівним припуску, призначеному на заготівлю за нормативно-технічним документом, а припуск на обробку, наступну після чоргової, за таблицями, наведеними в довідковій літературі [11]. Методику розрахунку проілюструємо для зовнішньої поверхні діаметром 55h11 мм.

Загальний припуск на діаметр дорівнює 4,6 мм, допуск на розмір заготовки 2,0 мм (див. табл. 3.2). На чистове точіння зовнішніх поверхонь діаметром 50-80 мм завдовжки до 100 мм рекомендується припуск 1,1 мм на діаметр (11. табл.1).

Припуск на чорнове точіння визначається як різниця між загальним припуском на механічну обробку і сумою операційних припусків.

$$Z_{\text{чорн}} = Z_{\text{заг}} - Z_{\text{точ.чист}} = 4,6 - 1,1 = 3,5(\text{мм}) \quad (5.1)$$

Розрахунковий розмір для останнього переходу приймається рівним мінімальному розміру за кресленням (54,81 мм). Для наступного переходу він визначається шляхом додавання призначеного припуску (55,91 мм). Аналогічні обчислення виконуються для всіх переходів МОП. Отримані значення приймають як мінімальний операційний розмір після округлення з урахуванням значущих цифр технологічного допуску. Максимальні операційні розміри відрізняються від мінімальних на величину технологічного допуску.

Граничні припуски для кожного переходу МОП визначаються шляхом віднімання граничних розмірів на двох сусідніх переходах:

$$\text{для чорнового точіння } Z_{\text{чорн. min}} = 59,00 - 55,91 = 3,09 \text{ (мм)}$$

$$Z_{\text{чорн. max}} = 61,00 - 56,37 = 4,63 \text{ (мм)}$$

$$\text{для чистового точіння } Z_{\text{чист. min}} = 55,91 - 54,81 = 1,10 \text{ (мм)}$$

$$Z_{\text{чист. max}} = 56,37 - 55,00 = 1,37 \text{ (мм)}$$

Правильність обчислень перевіряється за формулою:

$$Z_{i \max} - Z_{i \min} = \delta_{i-1} - \delta_i \quad (5.2)$$

Для даного розрахунку: $6,00 - 4,19 = 2000 - 190$ чи $1,81 = 1810$.

Підсумкові дані та розрахунок міжопераційних розмірів і граничних припусків на механічну обробку торців, зв'язаних розміром 30 мм, подано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Метод обробки поверхні (МОП)	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Розмір, мм		Припуск, мкм	
				d_{\min}	d_{\max}	Z_{\min}	Z_{\max}
Зовнішня циліндрична діаметром 55 h11(-0,19) мм							
Заготівля		59,41	2000	59,0	61,0		
Точіння чорнове	3,5	55,91	460	55,91	56,37	3,09	4,63
Точіння чистове	1,1	54,81	190	54,81	55,00	1,10	1,37
Торцеві, пов'язані розміром 22±0,42 мм							
Заготівля		24,58	1600	24,6	26,2		
Точіння верхнього торця	1,5	23,08	1220	23,1	24,32	1,5	1,88
Точіння нижнього торця	1,5	21,58	840	21,58	22,42	1,52	1,9

2.5 Детальна розробка технологічних операцій

Основна мета детальної розробки технологічної операції - розроблення технологічної документації, що містить повну інформацію про зміст операції, її технологічне та метрологічне оснащення, трудовитрати. Вихідними даними, що визначають послідовність операцій та їх призначення, є технологічний маршрут, наведений у таблиці 4.2. Призначення режимів різання, вимог до точності розмірів здійснюємо на підставі результатів розрахунку міжопераційних припусків і розмірів, які наведено в таблиці 5.1.

Виготовлення деталі "Стакан" передбачає 3 технологічні операції механічної обробки.

Операція 05, Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарно-фрезерному верстаті моделі WFL Mill Turn (рис.4) з горизонтальною віссю обертання шестипозиційної револьверної голівки і поперечним супортом. Деталь встановлюється в трикулачковому самоцентрувальному патроні по зовнішній поверхні діаметром 62 мм і торцю.



Рис.4 Токарно-фрезерний обробний центр WFL Mill Turn

Коротка характеристика верстата:

1. Найбільші розміри виробу, що встановлюється, мм

над станиною	250
над поперечним супортом	80
3. Діаметр отвору шпинделя, мм 31
4. Число позицій револьверної голівки 6
5. Діаметр отвору в РГ для кріплення інструменту, мм 20
6. Частота обертання шпинделя, об/хв 100;160;200;250;320;400;500;800;1000;1250;1600;2000;2500;4080
7. Подача

поздовжня, мм/об	0,04;0,09;0,14;0,21;0,4
поперечна, мм/мин (б/с)	20-300
8. Число поперечних супортів 1
9. Потужність електродвигуна головного руху, кВт 1,7

Операція включає три технологічні переходи, що виконуються із застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини на основі емульсії НГЛ-205 (2-5%).

1) Здійснюється чорнове точіння зовнішньої поверхні діаметром 55h11 мм. Застосовується прохідний наполегливий різець із пластиною з твердого сплаву T5K10 2102-0295, який встановлюється в першу позицію револьверної голівки (РГ) за допомогою різцетримача 191711002

2) З використанням поперечного супорта здійснюється підрізування торця в розмір 32,4-1,3 мм. Використовується підрізний різець за 2102-0059 перерізом 20x20мм з тригранною пластиною TNUN-160408 який встановлюється безпосередньо в різцетримач супорта.

3) Здійснюється чистове точіння зовнішньої поверхні діаметром 55 h11 мм. Застосовується прохідний наполегливий різець із пластиною з твердого сплаву T15K6 2102-0295 який встановлюється в п'яту позицію револьверної голівки (РГ) за допомогою різцетримача 191711002

Розрахунок режимів різання проілюструємо для першого переходу. Результати розрахунку для всіх переходів цієї операції наведено в таблиці 6.1.

Початкові дані:

- максимальна глибина різання 2,32 мм (див. табл. 5.1)
- переріз державки різця 20x20мм.

Рекомендоване значення подачі під час чорнового точіння різцями з твердого сплаву поверхні діаметром 50 мм 0,38 мм/об [9. табл.26]. Це значення уточнюється за змінюваними умовами обробки за формулою:

$$S_O = S_{от} \cdot K_{сп} \cdot K_{си} \cdot K_{сф} \cdot K_{сз} \cdot K_{сж} \cdot K_{см} = 0,31 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,20 \quad (6.1)$$

де $S_{от}$ – табличне значення подачі на оберт (0,38);

$K_{сп}$ – коефіцієнт, який враховує стан поверхні;

$K_{си}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

$K_{сф}$ – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

$K_{сз}$ – коефіцієнт, який враховує вплив загартування;

$K_{сж}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

$K_{см}$ – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу.

За паспортом верстата подача може бути прийнята 0,14 або 0,21 мм/об. У цьому випадку може бути прийнято більше значення, оскільки воно перевищує розрахункове не більше, ніж на 5%.

За таблицею 36 [9] з використанням методу інтерполяції призначається швидкість різання 234 м/хв. Це значення уточнюється за змінюваними умовами обробки за формулою:

$$V = V_T \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{VF} \cdot K_{VM} \cdot K_{VJ} \cdot K_{VP} \cdot K_{VO} = 234 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,85 \cdot 1 = 108,1 \quad (6.2)$$

де V_T – матричне значення швидкості різання (234 м/хв);

K_{VM} – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{VI} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту (1,0);

K_{VF} – коефіцієнт, що враховує кут у плані (0,81);

K_{VM} – коефіцієнт, що враховує вид обробки (1,0);

K_{VJ} – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

K_{VP} – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{VO} – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОР (1,0);

За розрахунковою швидкістю різання визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 108,1}{3,14 \cdot 61} = 564,4 \text{ (об/мин)} \quad (6.3)$$

За паспортом верстата найближче значення $n_{CT} = 500$ об/хв.

Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$T_o = \frac{L_{px}}{n_{CT} \cdot S_{CT}} \cdot i = \frac{l + l_1 + l_2}{n_{CT} \cdot S_{CT}} = \frac{18,5 + 0,5 + 0}{500 \cdot 0,21} \cdot 1 = 0,18 \text{ (мин)} \quad (6.4)$$

де l – довжина обробки;

l_1 – врізання;

l_2 – перебіг;

i – кількість проходів

Таблиця 6.1 Режими різання для технологічних переходів операції 05

Позиція РГ	t, мм	S, мм/об	L _{рх} , мм	V, м/хв	n, об/хв	T _о , хв
1	2,32	0,21	19	108,1	500	0,18
5	0,69	0,40	19	132,2	800	0,06
Поперечний супорт	1,9	0,09	16	60,7	800	0,22

Операція 10, Токарна з ЧПК

Операцію виконують на токарно-револьверному верстаті WFL Mill Turn, оснащеному ЧПУ Fanuc, восьмипозиційною револьверною головкою з вертикальною віссю обертання і поперечним супортом.

Деталь базується в трикулачковому самоцентрувальному клиновому патроні 7102-0077 -1-1В ДСТУ 24351-2000 по зовнішній поверхні діаметром 55 мм і правому торцю. Обробка здійснюється з охолодженням 2-5% емульсією НГЛ-205. Операція включає п'ять інструментальних переходів:

- 1) точіння торця, фаски і зовнішньої поверхні діаметром 62 мм;
- 2) розточування отвору під різьбу М30х1,5-7-Н;
- 3) розточування різьбової канавки;
- 4) свердління отвору діаметром 4 мм;
- 5) точіння різьби М30х1,5-7Н.

На першому переході застосовується прохідний-підрізний різець зі змінною багатогранною пластиною (СМП) з твердого сплаву 2103-0711 Т5К10

Різець встановлюється в різцетримачі 191711006

На другому переході використовується розточувальний різець для глухих отворів 2141-0007 Т5К10 встановлений у різцетримачі 191711042

На третьому переході застосовується канавочний різець шириною 4,8 мм К.01.4154.000 встановлений у різцетримачі 191711042

На четвертому переході використовується свердло 2300-0027 встановлене в патроні К2.475.000 який зі свого боку базується в перехідній втулці 191831202

На п'ятому переході застосовується різьбовий різець 2662-0521 тип2, який встановлюють у різцетримачі 191711042

Операція 15, Фрезерна

Операція виконується на універсальному токарно-фрезерному верстаті моделі WFL Mill Turn. Деталь базується в самоцентрувальних лещатах із призматичними губками для круглих деталей 7200-0251 За один установ в автоматичному циклі здійснюється фрезерування квадрата зі стороною 19 мм і поверхні торця з глибиною різання 1,5 мм (див. табл. 3.2). Використовується п'ятизуба кінцева фреза діаметром 20 зі швидкорізальної сталі з конічним хвостовиком Морзе 2 035-2223-0104 тип 2, яка кріпиться в шпинделі верстата через перехідну втулку 191831051 Як мастильно-охолоджувальну рідину застосовується 2-5% емульсія НГЛ 205.

Розрахунок режимів різання на цій операції виконуємо за методикою, наведеною в [9].

1. Призначається рекомендована подача на зуб фрези залежно від глибини фрезерування і діаметра фрези. Із табл. 111 знаходимо $S_{ZT} = 0,13$ мм.

2. Рекомендоване значення подачі уточнюється залежно від конкретних умов обробки за допомогою поправочних коефіцієнтів за формулою:

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{S_Z} = S_{ZT} \cdot K_{S_{Zc}} \cdot K_{S_{Zи}} \cdot K_{S_{ZR}} \cdot K_{S_{Z\phi}} = 0,13 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,117 \text{ мм/зуб}, \quad (6.5)$$

де S_{ZT} - матричне значення, мм/зуб;

$K_{S_{Zc}}$ - коефіцієнт, що враховує технологічні умови оброблення (за таблицею 108 с.299-301 встановлюється шифр типової схеми оброблення за відношення вильоту фрези до діаметра, що дорівнює 4 (III), потім за таблицею 109 - коефіцієнт $K_{S_{Zc}} - 0,9$);

$K_{S_{Zи}}$ - коефіцієнт, що враховує матеріал фрези (табл.114 с.305);

$K_{S_{ZR}}$ - коефіцієнт, що враховує шорсткість обробленої поверхні;

$K_{S_{Z\phi}}$ - коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні;

3 Визначаємо матричне значення швидкості різання (V_T) залежно від діаметра фрези, глибини фрезерування й уточненого значення подачі (S_Z). $V_T = 53$ м/хв.

Табличне значення швидкості різання уточнюється залежно від ступеня жорсткості технологічної схеми і умов обробки, що змінюються, за формулою:

$$V = V_T \cdot K_{Vc} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vi} \cdot K_{Vn} \cdot K_{Vo} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{VB} = 53 \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 41,98 \text{ м/хв} \quad (6.6)$$

де V_T - матричне значення швидкості;

K_{Vc} - схеми оброблення, потім за таблицею 109 - коефіцієнт $K_{Vc} = 0,9$; коефіцієнт, що враховує технологічні умови обробки (за таблицею 108 с.299-301 встановлюється шифр типової

K_{Vm} - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{Vi} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

K_{Vn} - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{Vo} - коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$K_{V\phi}$ - коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

K_{VB} - коефіцієнт, що враховує відношення фактичної ширини фрезерування до нормативної;

Розраховуємо частоту обертання фрези (n), що забезпечує необхідну швидкість різання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 41,98}{3,14 \cdot 20} = 668,5 \text{ об/хв}, \quad (6.7)$$

де V – рекомендована швидкість різання;

D_{ϕ} – діаметр фрези, мм.

Розрахункове значення n порівнюється з паспортними даними верстата. Для подальших розрахунків приймається найближче менше значення з ряду частот обертання шпинделя. Допускається збільшене значення частоти обертання, якщо воно не перевищує 5% розрахункового. Приймаємо 630 об/хв. Тоді розрахункова подача становитиме 368,6 мм/хв, а коробка подач верстата забезпечить 315 мм/хв.

Машинний час на виконання цього переходу визначимо за формулою:

$$T_o = \frac{L_{px}}{S_m} = \frac{170}{315} = 0,54 \text{ хв}. \quad (6.8)$$

де L_{px} – довжина робочого ходу фрези в автоматичному циклі, мм

S_m – хвилине подавання столу, мм/хв

2.6 Створення твердотільної моделі деталі «Стакан» в програмі SOLIDWORKS та інтегрування її в програму ESPRIT CAM.

Сучасні технології машинобудування відрізняються не тільки інноваційними розробками в сфері передового інструменту, обладнання і оснастки, але також виділяється сучасне програмне забезпечення, за допомогою якого можна робити моделювання і розрахунок технології, від кореня моделі заготовки і до готової деталі. Розглянемо програмний модуль ESPRIT CAM. для токарно-фрезерної обробки

маємо
ЧПУ.

грамі

**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.**

Гс
конверт
туємо ф
Таким ч

приступати до наступного етапу.

3.2 Створення технологічного процесу обробки деталі в ESPRIT.

Для початку відкриваємо програму ESPRIT і створюємо новий файл (Точіння / Фрезерування (рис 4.2)). Вказуємо одиниці виміру - міліметрів.

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

Далі імпортуємо нашу модель в систему ESPRIT. При цьому програма зробить запит на коригування осі Z (рис 4.3), направляємо її так, щоб вона збігалася з віссю деталі від шпинделя в сторону заднього центру.

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

На наступному етапі створимо заготовку, перед цим потрібно відмовитися від автоматичної підгонки розмірів заготовки по деталі і від автоматичного визначення елементів, так як дана інформація може бути не коректна і її потрібно буде редагувати. У вікні "створити геометрію точіння" (рис 4.4) слід прийняти умови і натиснути "Готово"

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

Далі, після створення заготовки і корекції системи координат, ми отримуємо деталь окреслені контури заготовки.

На наступному етапі зробимо візуалізацію механічної обробки деталі, для цього в пункті "Елемент" виберемо "новий елемент", далі просуваємося по контекстного меню по пунктам "Торець - напрямок подачі - Готово"

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

Виконуємо токарну обробку зовнішніх циліндричних та конічних поверхонь «Кришки». Виконуємо наступний алгоритм: Елементи - точіння - точіння - вказати елемент - готово. В параметрах вказуємо геометрію ріжучої частини інструменту та режими різання. В результаті візуалізації отримуємо наступне (рис 4.7).

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

Наступним етапом виконується переустанов деталей для цього у вікні "обробка", обираємо: установи – новий установ - установ 2. Та виконується обробка внутрішніх поверхонь і підрізна торця. Виконуємо наступний алгоритм: Елементи - точіння - розточування - вказати елемент – готово. Обробка представлена (рис 4.8, рис 4.9)

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

Рис. 4.8 – Чорнова токарна обробка

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

Виконуємо обробку двадцяти отворів деталі. Виконуємо наступний алгоритм: Елементи - точіння – отвір - вказати елемент –готово. В параметрах вказуємо геометрію ріжучої частини інструменту та режими різання. В результаті візуалізації отримуємо наступне (рис 4.10).

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

Результатом роботи ми отримуємо код керуючої програми для верстата з ЧПУ. Таким чином, обробка деталі в системі FeatureCAM закінчена. Керуюча програма для верстата з ЧПК має вигляд:

```
%  
O1000  
/INSTANOR1 STAKAN 1 12 2024 \
```

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

```
INOU G3055000  
N85 G96S1600M3
```

N90 X-8.8976 Z0.2756
N95 Z0.
N100 G1 X-7.4178 F0.006
N105 X-7.629 Z0.1056

Висновок. За рахунок використання сучасних CAD-CAM систем виконано оптимізовану механічну обробку деталі на сучасному верстаті з ЧПК. Оптимізація була виконана за рахунок включення в проект автоматизованої обробки деталі сучасного високо-швидкісного обладнання, прогресивного ріжучого інструменту, якісного допоміжного інструменту, високоточного верстатного пристосування та раціональних режимів різання.

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка принципової схеми вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК

Після механічної обробки на верстаті завжди потрібно контролювати розміри відповідно до технічного завдання. Вручну контролювати розміри завжди призводить як до людського фактору похибки виміру так і велику кількість 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 RMP600 яка показана на рис. 3 та в роботі рис. 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 RMP600 цілком доцільно.

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

Рисунок 3 – Renishaw RMP600

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

Рисунок 4 – Renishaw RMP600 в роботі, закріплений в супорті

Автоматизовані вимірювання в процесі за допомогою Renishaw можуть допомогти усунути ризик. Система радіозонда Renishaw RMP600 може сприяти наступним заходам для вдосконаленого управління виробництвом, що призводить до збільшення продуктивності. Поділяються на певні етапи, такі як:

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

До першого відносять використовується разом із програмним забезпеченням Renishaw, AxiSet™ Check-Up, що забезпечує швидкі, точні та надійні дані про ефективність завдяки комплексним, але й простим звітам. В цілому дає можливість швидко орієнтуватися в самій роботі та як наслідок усуває помилки машини, зменшує кількість незапланованих зупинок.

До “налаштування процесу” відносять можливість зміни щупу на різні довжини без суттєвого зниження ефективності датчика, що таким чином зменшує час на налаштування. Все це виключає дорогі пристосування та помилки ручного налаштування, підвищує швидкість впровадження нових процесів та реагування на нові потреби споживачів. Та найголовніше, покращується якість та зменшується брак.

Субмікронна продуктивність RMP600 3D дозволяє зондування складної геометрії. Адаптивна обробка може бути легко інтегрована, якщо вона використовується разом із Renishaw’s Productivity +™. Включає покращення можливостей процесу та відстеження, компенсує екологічні та машинні умови, скорочує невиробничий час та брак, а отже збільшує продуктивність та прибуток включає третю частину.

Моніторинг після процесу передбачає перевірку відповідності компонента до вилучення з машини. RMP600, 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.

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.



Рису

Табл

Значення	Опис
Основне призначення	Вимірювання розмірів деталей і настройка на технологічні операції на багатоцільових верстаках і обробних центрах, включаючи портальні.
Спосіб передачі сигналу	Радіопередача за методом частотних стрибків (FHSS) в діапазоні частот від 2400 до 2483,5 МГц
Сумісні інтерфейси	RMI і RMI-Q
Робочий діапазон	До 15 м
Рекомендовані щупи	З вуглецевого волокна з високим значенням модуля Юнга, довжиною від 50 до 200 мм
Вага без хвостовика (з бата-	1010 г

Значення	Опис
рейками)	
Режими включення / вимикання	Включення з радіосигналу / Вимкнення по радіосигналу або по таймеру Включення обертанням / Вимкнення обертанням або по таймеру Включення від вимикача на хвостовику / Вимкнення від вимикача на хвостовику
Термін служби батарейок (2 літій-тіонілхлорідніе батарейки AA 3,6 В)	Тривалість роботи в режимі очікування не більше 1300 днів, в залежності від режиму включення / вимикання При безперервному використанні не більше 230 годин, в залежності від режиму включення / вимикання
Напрямок вимірювань	$\pm X, \pm Y, + Z$
Одностороння повторюваність	0,25 мкм (2s) - для щупів довжиною 50 мм (див. прим. 1) 0,35 мкм (2s) - для щупів довжиною 100 мм
Пелюстковий ефект 2D по X, Y	$\pm 0,25$ мкм - для щупів довжиною 50 мм (див. прим. 1) $\pm 0,25$ мкм - для щупів довжиною 100 мм
Пелюстковий ефект 3D по X, Y, Z	$\pm 1,00$ мкм - для щупів довжиною 50 мм (див. прим. 1) $\pm 1,75$ мкм - для щупів довжиною 100 мм
Зусилля спрацювання щупа (див. прим. 2 і 5)	площина XY (Типове мінімальне значення) – 0,20 Н, 20 гс в напрямку + Z (Типове мінімальне значення) - 1,90 Н, 194 гс
Зусилля щупа при перебігу	площина XY (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)
Мінімальна швидкість вимірювання	3 мм / хв з автоскиданням
Клас захисту	IPX8 (EN / IEC 60529)
Робоча температура	від +5 °С до +50 °С

Примітка 1 Перевірка експлуатаційних характеристик виконувалася при стандартній швидкості 240 мм / хв. Залежно від вимог конкретного завдання може вибиратися більш висока швидкість.

Примітка 2 Зусилля спрацювання - це зусилля, чиниться щупом на вимірюваний об'єкт в момент спрацювання датчика. У деяких випадках величина цю-

го зусилля є критичним фактором. Максимальне зусилля досягається після моменту спрацьовування, тобто при перебіганні. Значення зусилля залежить від відповідних змінних факторів, включаючи швидкість вимірювання та величину уповільнення переміщення на верстаті. Датчики з технологією RENGAGE™ працюють при надмалих зусиллях спрацьовування.

Примітка 3 Зусилля при перебігаючи щупа в площині XY виникає на відстані 80 мкм від точки спрацьовування і збільшується на 0,35 Н / мм (36 гс / мм) до тих пір, поки не відбудеться зупинка верстата (в напрямку з великим зусиллям спрацьовування і при використанні щупа з вуглецевого волокна).

Примітка 4 Зусилля при перебігаючи щупа в напрямку + Z виникає на відстані 7-8 мкм від точки спрацьовування і збільшується на 1,5 Н / мм (153 гс / мм) до тих пір, поки не відбудеться зупинка верстата.

Примітка 5 Це заводські налаштування; ручне регулювання непередбачене.

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

Для датчиків RMP600 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 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 3.2 – 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

Висновки

Контроль розмірів деталі одна з важливих складових процесу при виготовленні на виробництві. Він також враховує людський фактор, що значно негативно впливає на процес контролю при цьому включає різні фактори одна з яких це великий час контролю розмірів.

Використовуючи сучасний вимірювальний датчик Renishaw значно скорочується час на контроль деталі та усуває людський фактор. Датчик встановлюється в супорті верстату з ЧПК та виконує повний контроль всіх розмірів деталі.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 ANSYS Static Structural

ANSYS Static Structural – це програмне забезпечення для проведення статичного структурного аналізу та моделювання поведінки матеріалів у різних умовах навантаження. Воно дозволяє визначати механічні характеристики конструкцій та матеріалів, що використовуються у різних галузях.

4.2 Підготовка необхідних даних для симуляції

Задаємо матеріал деталі – Сталь 15Л із відповідними механічними властивостями (табл. 1.2).

При вирішенні задач розрахунків на міцність в програмному забезпеченні ANSYS використовується метод скінчених елементів (МСЕ). Для геометричного моделювання може бути використано вбудований модуль Design Modeler.

В роботі вирішення задачі дослідження здійснено методом МСЕ в три етапи.

На першому етапі створено скінчено-елементну модель деталі Стакан:

- задано фізичний тип завдання – механіка твердого деформованого тіла, здійснено відповідні налаштування програми;
- при обранні типу скінчених елементів обрано умову створення Automatic – де можливо за геометрією, використовувати форму паралелепіпедів, в інших випадках – форму тетраєдрів;

- обрано матеріал деталі та задано його властивості;
- побудовано геометричну твердотільну модель об'єкта (може бути використано один із вбудованих модулів, наприклад Design Modeler або Space Claim, або модель може бути експортована з іншого CAD-паketу);
- геометрична модель поділена на скінченні елементи;
- задано параметри розрахункової сітки.

На другому етапі на модель Стакану накладено необхідні фізичні умови:

- задано граничні умови – сили, моменти, накладено обмеження на переміщення;
- вибрано тип аналізу – статичний, задано параметри обчислювальних процедур: кількість кроків навантаження – 1, тривалість прикладення навантаження – 1 с, кількість кроків навантаження – 30;
- здійснено вирішення системи рівнянь, отриманої методом МСЕ.

На третьому етапі здійснено аналіз отриманих результаті:

- розраховано шукані фізичні величини: переміщення, деформації, напруження;
- результати наведено із застосуванням вбудованих інструментів ANSYS у вигляді зображень полів розподілу, анімацій, графіків та таблиць.

4.3 Математична постановка задачі

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

(4.1)

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

(4.2)

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

(4.3)

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

(4.4)

(4.5)

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

(4.6)

являють собою величини, що залежать тільки від пружних постійних E і μ матеріалу, і називаються коефіцієнтами Ламе.

Тут X, Y – об'ємні сили;

u, v, w – переміщення у напрямках осей координат;

ϵ, γ – лінійна та кутова деформація.

Вирішення поставленої задачі може бути отримано у переміщеннях та у напругах.

У першому випадку геометричні рівняння (4.2) необхідно підставити у фізичні рівняння (4.5), а потім отриманий вираз підставити в рівняння рівноваги (4.1). Рішення отриманої системи із двох диференціальних рівнянь другого порядку щодо переміщень u та v буде розв'язком задачі.

У другому випадку напруги визначаємо за допомогою розв'язання системи з трьох диференціальних рівнянь: двох рівнянь рівноваги (4.1) і рівняння нерозривності деформацій в напругах (4.2).

4.4 Побудова моделі

сті

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

актери-

Мі
еті
му

Design
го буду-
те отри-

Далі задаються граничні умови.

До торцьової поверхні стакану прикладається розподілена сила $F = 800$ Н, яка лінійно зростає до заданого значення протягом 1 секунди.

Параметри розбиття навантаження задаються наступним чином:

Initial substeps – 30,

Minimum substeps – 30,

Maximum substeps – 50.

Ці значення визначають кількість кроків при отриманні результатів.

На поверхні внутрішньої різьби задається умова Fixed Support (рис. 4.3).

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

Обравши тип скінчених елементів Automatic, виконуємо дискретизацію моделі скінчено-елементною сіткою задавши розмір елемента – 0,5 мм (рис. 4.2)

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.

4.5 Розрахунок характеристик міцності деталі

Використавши модуль розрахунку Total deformation отримуємо результати деформацій (мм) при максимальному навантаженні (рис. 4.4). Значення мінімальної, максимальної та усередненої деформацій, в залежності від часу навантаження

(графічна залежність та табличні дані) показані на рис. 4.4 б по кількості кроків, які були задані раніше.

Використавши модуль розрахунку Equivalent Total Strain отримуємо відносну повну деформацію (м/м) при максимальному навантаженні, зміну деформацій від часу (графічна залежність), кольором показані деформації в моделі по всій її довжині і шкала цифрових значень (рис. 4.5).

**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.**

Рис. 4.4 – Значення повних деформацій (мм): а – розподіл деформацій по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням повної деформації, б – графічна залежність деформацій від часу

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.

Рис. 4.5 – Значення відносних повних деформацій (м/м): а – розподіл деформацій по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням

відносної повної деформації, δ – графічна залежність відносних деформацій від часу

Використавши модуль розрахунку Normal Stress визначаємо величину нормальних напружень при максимальному навантаженні вздовж осі Z. Залежність напружень від часу, та розподіл значень по довжині деталі показані на рис. 4.6.

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.

Рис. 4.6 – Значення нормальних напружень по осі z (Па): а – розподіл нормальних напружень по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням напружень, б – графічна залежність нормальних

На рис. 4.7, 4.8 та 4.9 наведені дані щодо розподілу та залежності від часу Stress Intensity – інтенсивних напружень (Па), Strain Energy (Дж) та Equivalent (von-Mises) stress – напружень за фон Мізесом (Па) при максимальному навантаженні.

**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.**

Рис. 4.7 – Інтенсивні напруження (Па): а – розподіл напружень по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням напружень, б – графічна залежність напружень від часу

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.

Рис. 4.8 – Енергія деформації (Дж): а – розподіл енергії деформації по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням енергії деформації, б – графічна залежність енергії деформації від часу

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



а)

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

Рис. 4.9 – Напруження за фон Мізесом ($\sigma_{\text{Мі}}$): а – розподіл напружень по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням напружень, б – графічна залежність напружень за фон Мізесом від часу

Максимальна деформація в деталі вищесказаної в області зовнішнього буртіку

стакан
(рис. 4)
різьби
досяга
деформ
ною (р
] елемен

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

3×10^{-5} м/м
в області
пруження
на енергія
із пруження.
скінчених
поведінку

деталі Стакан при статичному навантаженні. Отримано розподіли переміщень, деформацій та напружень у конструкції, визначено зони їх концентрації, а також проаналізовано зміну фізичних величин у часі.

ми з:
дефо
найб.
менн

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

і нижчи-
астичної
Зокрема,
о значно

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра удосконалений технологічний процес механічної обробки заданої деталі дозволяє організувати ефективне виготовлення в організаційно-технічних умовах серійного виробництва.

Високу гнучкість виробництва забезпечує використання високоавтоматизованих верстатів з ЧПК. Використання таких верстатів дозволило розробити операції з високою концентрацією інструментальних переходів і зменшити кількість верстатів і організувати багатOVERстатне обслуговування.

В аналітичному розділі проаналізовано використання спеціальних пристосувань на програмних операціях дозволило застосувати багатопозиційна обробку і забезпечити максимально можливу точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Проектування технологічних процесів механічної обробки характеризується великим обсягом обчислень і обробкою великих масивів даних. Для автоматизації цього процесу доцільно використовувати спеціалізоване інженерне програмне забезпечення.

Технологічний розділ присвячений комп'ютерному моделюванню тривимірної деталі «Стакан» у програмі «SOLIDWORKS». Також розрахована керуюча програма для верстата WFL Mill Turn з ЧПК FANUC у програмі «ESPRIT CAM».

У спеціальному розділі розроблена принципова схема вимірювання відхилення форми деталі на верстаті з ЧПК при активному контролі форми і розмірів деталі.

Науково-дослідний розділ присвячений аналізу на статичну міцність деталі «Стакан» із використанням програмного забезпечення ANSYS Static Structural, досліджено розподіл деформацій та внутрішніх напружень деталі, визначено їх максимальне та мінімальне значення, виконана оцінка експлуатаційної надійності конструкції.