

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Механіко-машинобудівний  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Коломойця Дениса Олександровича  
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ  
спеціальності 131 Прикладна механіка  
спеціалізації технологій машинобудування та матеріалознавства  
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг  
машинобудівного виробництва»

на тему: «Підвищення ефективності механічної обробки легованих сталей засобами Autodesk»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024.  
за № 382-с.

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	

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, іншудодаткову літературу та посилання. Узв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

2024 рік

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
логічного машинобудування та матеріалознавства  
В.А. Дербоба  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Коломойцю Денису Олександровичу  
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ  
спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізації

за

**освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва» на тему: «Підвищення ефективності механічної обробки легированих сталей засобами Autodesk»**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024 за № 382-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
--------	-------	------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 116 с, 148 рис, 16 табл., 24 додаток, 28 джерела.

Тема: «Підвищення ефективності механічної обробки легованих сталей засобами Autodesk».

Процес механічної обробки поверхонь деталей методом фрезерування на станках з ЧПК сягає одну з найбільш затребуваних способів отримання високоякісних поверхонь. Отже моделювання та оптимізація траєкторій процесу різання, та безпечного використання станка з ЧПК набуває актуального значення.

Об'єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі - процес механічної обробки деталі «Ланка» в САМ-системі Autodesk PowerMill.

Предмет дослідження - технологічні можливості і коректування процесу фрезерування в САМ-системі Autodesk PowerMill, функціональні можливості програми створювати багатоосьові і одночасно безпечні керуючі програми для верстата з ЧПК.

Метою кваліфікаційної роботи є розрахунок оптимальних траєкторій фрезерної і свердлильної обробки для багатоцільових обробляючих верстатів з ЧПУ для підвищення рівня автоматизації сучасного виробництва.

Методика досліджень - комп'ютерне моделювання свердлильних та фрезерних операцій з використанням САМ-програми Autodesk PowerMill.

Результат роботи - Вдосконалення процесу механічної обробки поверхонь з застосуваннями комп'ютерної програми Autodesk PowerMill с детальним коректуванням управління траєкторіями руху інструменту. Емпіричні дані щодо встановлення найбільш результуючого та зменшеного часу затрати на обробку поверхонь деталі «Ланка». А також, заміна стандартного ріжучого інструменту на більш прогресивне і ефективне в умовах сучасного виробництва.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи - формування регенеративних автоколивань при процесі кінцевого та торцевого фрезерування поверхонь з найдальшим аналізом способів зменшення їх впливу.

Практична цінність - рекомендацій для використання еквівалентних технологічних способів виготовлення деталей «Ланка» у виробках авіаційної техніки.

У кваліфікаційній роботі проведено конструкторсько-технологічний аналіз деталі «Ланка», про аргументовано вимоги до форми, точності розмірів та шорсткості її поверхні. Висунуто спосіб одержання заготовки, розроблені детальні технологічні операції. Виконано вибір металообробного верстату з ЧПК та обладнання.

Ключові слова : фрезерування, CAD/CAM системи, колювання, верстат з ЧПК, SolidWorks, ExpressSimulation, технологія.

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 «Союз-Спецтехніка».

## ЗМІСТ

	Вступ	7
<b>1</b>	<b>Аналітичний розділ</b>	12
1.1	Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлу	13
1.1.1	Проектування 3-D моделі деталі та кресленик деталі	13
1.1.2	Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація	14
1.1.3	Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлу	15
1.1.4	Аналіз вибору конструкційного матеріалу	15
1.2	Короткий аналіз технологічності конструкції деталі	16
<b>2</b>	<b>Технологічний розділ</b>	18
2.1	Визначення методу виготовлення конструкції заготовки	19
2.2	Контроль якості заготовки	24
2.3	Роз'яснення вибору технологічної бази для обробки деталі	25
2.4	Проектування операцій технологічного процесу деталі «Ланка»	28
2.5	Проектування технологічного маршруту обробки деталі «Ланка»	30
2.6	Вибір верстатного обладнання	31
2.7	Призначення припусків і розрахунок міжопераційних розмірів	33
2.8	Призначення пристосувань та ріжучого інструменту	34
2.9	Призначення режимів різання	44
2.10	Нормування часу на технологічні операції	44
2.11	Програмування числової програми керування	46
<b>3</b>	<b>Спеціальний розділ</b>	64
3.1	Обладнання для базування заготовки	65
3.2	Вимірювальні системи для верстатів з ЧПК	66
3.2.1	Призначення вимірювального обладнання	66
3.3	Моделювання контролю виміру розмірів та запис управляючого коду для верстата з ЧПК у програмі Autodesk PowerInspect	71
<b>4</b>	<b>Науково-дослідницький розділ</b>	82
4.1	Введення	83
4.2	Міцнісний аналіз оброблюваної поверхні деталі «Ланка»	83

4.3	Досліджувані елементи, що впливають на вібростійкість	90
4.3.1	Вплив конструктивних і геометричних характеристик кінцевих фрез на вібростійкість процесу фрезерування	96
4.3.2	Дослідження швидкісний зони	102
4.3.3	Дослідження кута нахилу	108
4.3.4	Дослідження впливу стрічки на задній поверхні зуба	112
	<b>Висновок</b>	112
	<b>Література</b>	114
	Комплект Технічної документації	117
	Відомість	141
	Кресленик Деталі	142
	Кресленик Заготовки	143
	Додаток А	144
	Додаток Б	145
	Додаток В	146
	Додаток Г	147
	Додаток Д	148

## **ВСТУП**

### **1.1 Сучасний стан об'єкту дослідження**

#### **1.1.1 Головні положення процесу металообробки поверхонь деталей**

У даний момент нам пощастило жити в швидко розвиваючому світі. Звісно також машинобудівельна індустрія не стоїть на місці, та с кожним днем приносе все більше технологічних вирішень головних проблем промисловості. Механічний процес обробки матеріалу являється одним з основних просувних факторів розвитку світу, адже використовують деталі отримані процесом різання в будь-яких формах індустрій планети, починаючи від ручних часів, та закінчуючи космічним кораблем.

З розвитком механікообробного виробництва збільшується вимоги до отриманих профілю поверхні та точності її оброблення. Одним з найпоширеніших способів отримання даної високотехнологічної поверхні являється фрезерування, яке в свою чергу набирає високих обертів за рахунок своєї продуктивністю, реалізацією та точністю. С розвитком інформаційних технологій та інтегрування їх в машинобудівну промисловість у вигляді станків з ЧПК збільшують потенціал компонування їх з ріжучим інструментом, особливо з фрезами профільного різання:[1]. Основними методами являються :

- торцеві
- циліндричні
- кінцеві
- дискові
- кутові
- нарізні
- черв'ячні

Процес механічної обробки поверхні деталі становить деформування та відділення поверхневої площини з стружкоутворенням. В свою чергу однією з основних складовою впливу на точність обробки становлять змінюючи відстань

від поверхні, що піддається процесу різання до кромки обробляючого інструменту. Другий важливий фактор при процесі різання - механічна жорсткість системи «верстат - інструмент - пристрій - деталь». Дана технологічна система визначається відношенням сили, прикладеної по нормалі до обновлюваної поверхні деталі, до зміщення ріжучої кромки інструмента [2,3].

Враховуючи особливість обраного метода обробки деталі при 80% наявності торцевого, циліндричного та дискового фрезерування, доречно приділити увагу однією з особливостей процесу різання - вибір способу, зустрічного або попутного фрезерування. При зустрічному різанні розподіл сили фокусується на зубі фрези збільшується поступово, а його швидкість та рух подачі заготовки в протилежні напрямки. Товщина при врізанні фрези дорівнює нулю, на виході фрези - максимальна. При фрезеруванні, спостерігаються високі сили тертя, внаслідок чого виникає процес відторгнення заготовки від деталі. При попутному різанні, напрямок руху заготовки та вектор швидкості мають однаковий напрям. Попутне врізання фрези розпочинається з шару найбільшої товщини, тому в момент врізання спостерігається удар. При цієї умови різання позбавляється високих температур та сприятливо впливає на фіксацію заготовки та кріплення пластин фрезерування за рахунок великих сил різання [4].

### **1.1.2 Аналіз основних понять автоматизації процесу механічної обробки**

Сучасне прогресивне середовище машинобудування потребує більш автоматизованого процесу отримання готової продукції, за рахунок скорочення витрату часу на механічну обробку, впровадження інформаційних програм керування виробництва, що в свою чергу тягне до скорочення робочих місць та збереженню фінансових потоків.

Одним факторів автоматизації технологічних процесів механічної обробки являється в автоматичним керуванні станком. Даний елемент повинен своєю унікальністю та обладнанням забезпечувати включення та виключення

пристроїв станка, транспортування та установку заготовки, зміна режиму роботи за заданою програмою керування в САМ системі, також зняття та видалення обробленої деталі. Високий рівень автоматизації мінімізує зовнішній вплив верстатника наладчика, таким шляхом станок здійснює власноруч маніпуляції, що дозволяє робочому виконувати другі завдання [5].

Другою задачею являється автоматичний контроль неперервного або періодичного виміру розмірів, як більш доцільно в процесі ходу станка для зменшення часу затрати. Станки з ЧПК використовують щупи з певною головкою. Розпізнання елементів способом обмацування засвідчує про ідентифікацію деталей. Перевагою вимірювальних головок є можливість негайного коректування виявлених помилок і відхилень [6].

Третім фактором забезпечується автоматичне регулювання яке забезпечує точність виконання технологічного процесу без участі людини. Однією з можливих варіантів удосконалення автоматизації регулювання є практичний вимір виникаючих відхилень, та безпосередньо включення змін в код керуючої програми, включаючи необхідні виправлення, що дорівнює за розміром відхилення, тільки з протилежним знаком, або функція збільшення стабілізації сил різання [7].

### **1.1.3 Дослідження інтегрованості та впливу стратегій САМ системи**

Використання комп'ютерних CAD / САМ технологій дозволяє змоделювати наскрізний процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Впровадження сучасних комп'ютерних технологій промислових підприємствах дозволяє їм досягати більш величких досягнень в автоматизації, розвитку, якості та конкурентно спроможності. Автоматизація проектування дає можливість підприємствам швидко реагувати на зміну попиту, в короткі терміни випускати нові види продукції, швидко модернізувати свою продукцію, відстежувати життєвий цикл виробів, ефективно підвищувати якість виробів[8].

Наявність безліч САМ систем впроваджує ще більшу кількість різноманітних обробляючих стратегій поверхонь деталі, основні з яких наведені

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 1.1 - Основні стратегії обробки поверхонь

(а – еквідистанта; б - зворотна еквідистанта; в - зигзаг; г - спіраль;)

Оброблення по траєкторії еквідистанта являється зняттям металу від центру поверхні деталі по еквідистанті до його зовнішнього контуру. Зворотна еквідистанта являється зняттям металу від зовнішнього контуру до його центру. Стратегія зигзагоподібній траєкторії проводиться паралельними проходами з певним кроком та кутом нахилу відносно осі. Зазвичай спіральна траєкторія використовується для чистового оброблення поверхні, також характеризується своєю плавною обробкою. Дані методи обробки дозволяють отримати більш влучно-доцільну обробляючу поверхню, та удосконалення технологічного процесу.

Тому важливість інтегрування програмування у технологічні процеси виробництва надзвичайно важлива, адже удосконалення підприємства призведе до економічного росту, та скороченню часу на підготовчі та самі процеси виготовлення готової продукції.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**



# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 2.2 - Кресленик деталі «Сухар»

## 2.1.2 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Складальний кресленик вузла, в який входить деталь «Ланка» – відсутнє як і дані про службове призначення деталі, це в свою чергу створює труднощі щодо точного формулювання призначення деталі та її функціонуванні с іншими деталями.

Аналізуючи конфігурацію та конструкцію деталі, для припущення її використання в певній галузі, звертаємо увагу в першу чергу на наявність карманів які досягаються формою заготовки без подальшої обробки. Отже в призначенні деталі суттєву роль становить зменшення її маси. Ця технологічна ознака надає можливість припустити, що деталь інтегрується в авіаційній промисловості. «Ланка» відноситься до з'єднувальних деталей, адже наявність властивості симетрії та паралельно конструйованих отворів з якітетом Н є ознакою з'єднання з гарантованим зазором.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

нормальних умовах, що відзначає відсутність негативного впливу агресивного середовища.

#### 2.1.4 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Заготовка деталі виготовляється з якісної конструкційно легованої сталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

текучості при розтягу, та міцність підвищуються завдяки марганцю. Властивість кремнію сприяє випаданню графіту і сильно звужує гамма-область, підвищує міцність і зносостійкість та підвищення границі пружності, що задовільно позначається на умовах праці деталі. Легована сталь 30ХГСА у

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад в % матеріалу

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

утилізації по найбільш ефективною технологією з забезпеченням належного рівня якості виробу.

Оцінка технологічності конструкції виконують одним з методів:

- якісна;
- кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено словами «припустимо - неприпустимо» ґрунтуючись на багаторічний досвід, та дозволяється на усіх етапах технологічного проектування як попередній проект виробу.

Кількісна оцінка характеризує технологічність конструкції виробу, виявляється числовими розрахунками показників та інтегрується в окремому випадку коли ці показники значно впливають на технологічність отримання виробу.

Елементи визначаються нетехнологічними, що при заданих умовах виробництва не мають можливості піддатися механічній обробці з використанням фактичного обладнання та допоміжної оснастки підприємства. В сучасній прогресивно розвиваючій сфері машинобудування обладнання таке, як металообробні станки з ЧПК властиві функції повного зняття проблеми конструктивно технологічного характеру конструкції виробу, адже властиві технологічні можливості з наряду з системою числового керування знімають будь-які обмеження в металообробному процесі деталей.

Конструкція деталі «Ланка» являється середньої складності з наявними не простими поверхнями, але використання можливостей верстату з ЧПК позбавляє будь-яких труднощів в обробленні поверхонь, які не потребують складного спеціального різального інструмента. Практично усі поверхні мають вільний доступ вимірювального інструмента. Враховуючи усі фактори можна прийти до висновку, що заготовка деталі «Ланка» являється технологічна. Наявність лише наскрізних отворів підвищують загальну характеристику технологічності деталі, адже зменшуються ризики зламання інструменту.

Підводячи підсумки, технологічності деталі властиве оброблення поверхонь, для механічної обробки використовується стандартні різальні та вимірювальні інструменти, також оброблення забезпечує вільне підведення інструмента.

## 2 Технологічний розділ

### 2.1 Визначення методу виготовлення конструкції заготовки

Найголовнішою частиною розробки технологічного процесу отримання високоякісної та економічно вигідної готової продукції являється вибір способу та виду виготовлення заготовки. Спосіб отримання заготовки визначає наступні елементи технологічного процесу, такі як механічні припуски для оброблення поверхонь заготовки, норми контролю якості отриманої заготовки на наявність внутрішніх та зовнішніх дефектів, величину залишкових напружень, які в свою чергу позбавляються операцією термічного оброблення для їх зменшення в поперечному перерізі. При розробці технології отримання заготовки інженер-технолог повинен, чітко розуміти яким з методів найкраще досягти високої якості та надійності з урахуванням економічних показань. На даний момент в машинобудівній промисловості інтегровані, такі технологічні процеси виготовлення заготовки :

- Заготовки, отриманні литтям
- Заготовки, отриманні тиском
- Заготовки, отриманні зварюванням
- Заготовки, отриманні стандартом сортового прокату
- Заготовки, отриманні порошковою металургією

Основна кількість отриманих заготовок спирається на метод лиття та пластичного деформування під тиском. Вибір методу отримання заготовки являється важливим етапом аналізу та спирається на багаторічний досвід інженера. Розумно доцільний вибір становлять умови максимального зменшення розходу трудових ресурсів, механічних та матеріалу, впровадивши низьку економічну собівартість процесу отримання готової продукції. Умови при яких можливість механічної обробки та забезпечення усіх необхідних вимог робочого креслення деталі. Для вибору найбільш доречного методу,

необхідно звернути увагу на конструкційні особливості деталі, її роботи як складальної одиниці в вузлу та фізико-механічні властивості матеріалу.

Найбільш доцільні методи виготовлення заготовки для деталі «Ланка» являються лиття в кокіль, лиття по виплавлених моделях, гарячекатана штамповка з застосування матриці. Враховуючи можливість отримання отворів за допомогою методу лиття, та безперечно дорогий метод штампування у 2.5-4 рази за метод в кокіль, та в 1.1-1.5 за спосіб по виплавлених моделях. Зробимо висновок, що деталь «Ланка» найбільш доцільно отримати з заготовки лиття, а саме обраним методом в кокіль с піщаними стержнями , адже даним методом отримані поверхні, над якими не здійснюється механічна обробка задовольняє робочий кресленик. Також наявність конструктивних елементів у вигляді отворів, можливість яких отримати за допомогою піщаних стержнів, що суттєво зменшує трудомісткість часу оброблення та збільшує економічну доцільність в порівняння з іншими методами. Крім того присутність двох карманів, які конструктивно призначені для зменшення маси деталі ідеально підходять к отриманню заготовки даним методом. Аналізуючи переваги даного метода, необхідно звернути уваги на такі фактори:

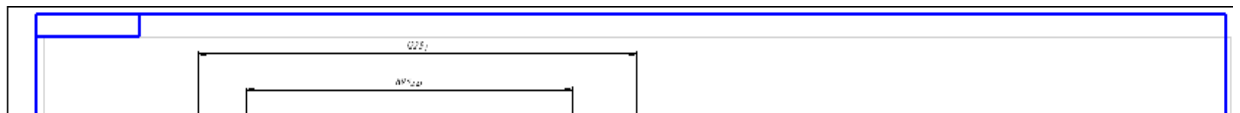
- Висока якість та стабільність механічних властивостей
- Висока продуктивність праці завдяки відсутності трудомістких операцій, а також зменшення витрати ресурсів на виробничі площі

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

чорних і кольорових металів та сплавів. Цей стандарт встановлює допуски розмірів, форми, розташування й нерівностей поверхні, допуски маси й припуски на обробку.

Обираючи цей метод через найбільший габаритний розмір від 100 до 250 мм, одержуючи вилівку масою до 1 кг, клас розмірної точності 8 - 13т обираємо 9, ступенем точності поверхонь виливків 11 - 18 обираємо 12, клас розмірної точності маси 7т - 14 обираємо 9, ступень жолоблення елементів виливки 5- 8 обираємо 7, ряди припусків на обробку виливки 4.

На рисунку 3.1 зображено ескіз заготовки виливки. Вся інформація стосовно розмірів точності виливки в таблицях 3.1 та 3.2



**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 3.1 - Ескіз заготовки виливки деталі «Ланка»

Таблиця 3.1 - Розміри виливки деталі «Ланка»

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Останнім фактором дослідження технологічності конструкції обраного метода виготовлення заготовки становить розрахунок коефіцієнта вагової точності, визначається за формулою :

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

### **3.2 Контроль якості заготовки**

Для заготовок отриманих методом лиття властиво наявність зовнішніх та внутрішніх дефектів. Виявлення браку першорядне завдання підприємства для запобігання економічних, трудомісткі та навіть людських витрат.

Зовнішні та внутрішні дефекти найбільш поширено зустрічаються таких видів : газові, піщані і усадочні раковини, гарячі та холодні тріщини, викривлення, перекіс, пористість, спай та пригара.

Для позначення зовнішніх дефектів застосовується візуальний огляд, та вміння знаходження і визначення їх виду та формоутворювання. Для визначення внутрішніх наявних видів дефектів застосовується методи:

- Рентгенівська дефектоскопія
- Метод просвічування
- Магнітна дефектоскопія
- Ультразвукові методи

Методи рентгенівської дефектоскопії та просвічування схожі, але  $\gamma$  - промені проникають на більшу глибину від рентгенівських до 200 мм, що більш доцільно використати для заготовки. Однією з найважливіших недоліків серйозний негативний вплив на біологічне здоров'я людини, що приводе до обов'язковою умовою контролю використання спеціального приміщення з запобіганням розподілу випромінювання. Магнітна дефектоскопія використовується при контролі барабанів та котлів на наявність тріщин розташованих на глибині не більше 1 мм. Ультразвукові методи не руйнують заготовки та більш безпечні для людини ніж рентгенівські випромінювання і дешевше за інші методи, але головним фактором являється підготовка поверхонь не нижче 5 класа.

### **3.3 Роз'яснення вибору технологічної бази для обробки деталі**

Процес компонування схеми базування заготовки опирається на технологічне завдання виробництва, щодо збільшення автоматизації виробництва та зменшення технологічних операцій, що приводе до більш економично доцільного процесу виготовлення деталі «Ланка». Вихідними даними являється кресленик заготовки, та вищеперелічені завдання. На етапі

розроблення вибору технологічних баз для оброблення поверхонь заготовки звертаємо увагу на наступні фактори:

- Для визначення точності взаємного розташування поверхонь деталі, що підлягають обробці в різних операціях технологічного процесу, бажано зберігати в них сталість настановної технологічної бази. Це правило називається правилом сталості баз.
- В качестве установочной технологической базы применяют по возможности наиболее протяженные и наиболее точно и чисто обработанные поверхности. Такий вибір буде забезпечувати правильне просторове розташування оброблених та необроблених поверхонь деталі
- Необроблені поверхні застосовувати в якості технологічних чорнових баз тільки для перших операцій технологічного процесу.
- При використанні чорнових баз не допускати на їх поверхні наявності слідів літників, випоровши, облою і інших слідів.

Такий вибір базових поверхонь буде задовольняти усунення можливості виникнення браку при подальшому обробленні поверхонь деталі «Ланка». Приходячи до висновка обираємо найбільш практичний та доцільно ефективний спосіб базування у верстатні лещата. Реалізація базування заготовки деталі «Ланка» для першого та другого технологічного переходу операції 05 наведено на рис. 3.3 та 3.4 відповідно.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 3.3 - Схема базування заготовки деталі «Ланка» для першого технологічного переходу

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 3.4 - Схема базування заготовки деталі «Ланка» для першого технологічного переходу

### **3.3 Проектування операцій технологічного процесу деталі «Ланка»**

Першочерговим завданням технолога при проектуванні операцій являється інтеграція найбільш ефективного, механічно заощаджуваного, економічно доцільно обраного послідовності операцій процесу. Опіраючись на багаторічний досвід успішно впроваджених дій виробництва при аналізі було виявлені наступні найголовніші фактори при виготовленні деталі, що необхідно використовувати для отримання більш сприятливих умов. Безперечно для кожної окремої деталі при виняткових особливостей конструкції інтегрують власні правила послідовності дій, для деталі «Ланка» використовуються наступні :

- В першу чергу обробляються фасадна та торцеві поверхні деталі, які являються базами для наступної установочної частини технологічної операції оброблення деталі.
- Процес чорнової обробки поверхні, яка належить до вищого класу шорсткості з наступним обробленням, необхідно розділяти процеси проміжком часом заради запобігання утворення підвищених температур, та внаслідок небажаних деформацій.
- Також логічно-економічною та фізико-механічною властивістю процесу чорнового етапу являється елемент необхідності оброблення поверхень з найбільшим об'ємом матеріалу, з наступними конструкційними елементами деталі.
- Отвори та поверхні які потребують взаємного розташування необхідно виконувати за одну установку, заради запобігання браку заготовки
- Конструкційні особливості наявності фасок передбачаю оброблення після завершального етапу різання тих поверхонь, до яких вони відносяться.

- Технологічна необхідність деталі при процесі механічного опрацювання в термічному оброблення, розділяє дану процедуру на дві фази, до термічного, та після.
- Кількість інструменту найефективнішим шляхом підвищення автоматизації не повинна перевищувати ємність інструментального магазину верстата.

При проектуванні послідовності дій, визначальною властивістю являється

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Виходячи з умов кресленника, технологічності деталі, розмірів і точності заготовки, визначаємо технологічні бази для першої обробки, а саме фрезерно-свердлильної, важливими характеристиками деталі являються, наявність отворів отриманих методом лиття, але при умові оброблення за один установ, це означає, що такий важливий конструкційний елемент деталі не можливо використовувати за основу баз. Також негабаритні розміри деталі, за умовою

В  
га  
ля  
ль  
ій  
  
іх  
ій

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Ъ  
га

VA

Для задовільного виконання операцій 05 та 10 обираємо технологічне устаткування обробного центра з вертикальним розміщенням осі шпинделю для оброблення усіх необхідних поверхонь з належної точністю, та необхідною робочою зоною для закріплення та виконання усіх технологічних переходів. Сполучення в одній операції фрезерних і свердлильно-розточувальних робіт дозволяють різко зменшити кількість необхідного оснащення і трудомісткість виготовлення деталей.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Характеристики наведені в таблиці 3.3

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Максимальний розмір заготовки	600*400 мм
Переворотний стіл в режимі токарної обробки	

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Ємність магазину інструментів	20 [32, 48]
<b>Двигун</b>	
Потужність мотор-шпинделя	11/7,5 [22/18,5; 15/11] кВт

### 3.6 Призначення припусків і розрахунок міжопераційних розмірів

Припуски на механічну обробку значною мірою впливають на технологічну собівартість виготовлення деталі. Видалення надмірного припуску пов'язано зі збільшенням машинного часу при чорновій обробці, як у разі виконання додаткових обдирних проходів, так і за рахунок зниження режимів у випадку значної глибини різання. При цьому підвищується витрата різального інструменту й загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

У даному проекті припуски встановлюються статистичним методом на отвори Ø15. Результати наведені в табл. 3.4.

Розрахунок припусків механічної обробки на отвір Ø15 мм:

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

для розгортки  $Z_{i, \text{ном}} = 0,218 + 0,218 - 0,218 = 0,218$  (мм)

$$Z_{i, \text{ном}} = Z_{i, \text{min}} + |e_{i-1}| - |e_i| \quad (4)$$

для свердлування  $Z_{\text{ч. ном}} = 4200 + 1400 - 180 = 5420$  (мкм)

для зенкерування  $Z_{\text{ч. ном}} = 800 + 180 - 52 = 928$  (мкм)

для розгортки  $Z_{\text{ч. ном}} = 218 + 52 - 18 = 252$  (мкм)

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

аналіз поверхонь деталі. Аналізуючи конструктивні властивості деталі «Ланка» вказуються на наявність наступних елементів :

- Торцева поверхня
- Уступи поверхня
- Внутрішня торцева та радіусне заокруглення R5 поверхні елемента «Вухо» деталі
- Радіусні заокруглення R3 та R5
- Отвори Ø9, Ø10, Ø15 та Ø18
- Фаска с двох зовнішніх поверхонь наскрізного отвору

Для оброблення кожного з елементів деталі необхідно обрати найбільш доцільний інструмент для ефективного механічного різання з попутним трендом на затратозбереження економічного, матеріального, людського та часового факторів. Метою диплому являється підвищення ефективності механічного оброблення методом фрезерувально-свердлильним, тому відповідно усі обрані інструменти відносяться до цих груп.

Оброблення торцевої поверхні здійснюється за допомогою торцевих фрез. Наступним елементом являється уступів деталі які в свою чергу обробляється

за допомогою кінцевих фрез. Внутрішня торцева та радіусне заокруглення R5 поверхні елемента «Вухо» деталі піддається найбільш доцільно дисковою обробленням. Усі радіусні заокруглення виконуються з допомогою сферичних фрез. З наявності точних отворів, застосовуються з наступною послідовністю інструменти у вигляді свердла, зенкера та розгортки. Останнім елементом

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Фа

Зас

Зас

20

06

20

01

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

A06-  
Q-S-095  
с.3.13)

A06-  
06Q-S-  
080  
с. 3.15)

A06-  
10Q-S-  
120  
с.3.17)

A06-  
06Q-S-  
080  
с.3.19)

A06-  
Q-S-080  
с.3.21)

A06-  
Q-S-080  
с.3.23)

A06-  
10Q-S-  
080  
с.3.25)

2 от  
Ø 1.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

2 от  
Ø 1.

.06-  
2-S-080  
.3.27)

.06-  
2-S-080  
.3.29)

.06-  
2-S-080  
.3.31)

.06-  
5Q-S-  
80  
.3.33)

.06-  
2-S-080  
.3.35)

.06-  
8Q-S-  
80  
.3.37)

.06-  
2-S-080  
.3.39)

.06-  
2-S-080  
ис.3.20

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

BD<sub>1</sub>

JF

BD<sub>1</sub>

U LF NMS

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**



Я  
Б  
Р  
Т  
Р  
З  
С

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

### **3.8 Призначення режимів різання**

Режими різання для усіх технологічних переходів для різального інструменту обрано згідно каталогу від компанії Sandvik [9].

### **3.9 Нормування часу на технологічні операції**

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою :

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{вл}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (5)$$

де  $T_{\text{шт}}$  – норма штучного часу, хв;  $T_{\text{пз}}$  – норма підготовчо-заключного часу на оброблення партії заготовок, хв;  $n$  – кількість заготовок у партії, шт;  $T_{\text{оп}}$  – норма оперативного часу, яка визнається за формулою:  $T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}$ , де  $T_{\text{o}}$  – основний час, хв та  $T_{\text{д}}$  – допоміжний час, хв;  $T_{\text{обс}}$  – час на обслуговування робочого місця, хв;  $T_{\text{вл}}$  – власний час перерви на особисті потреби, хв [10].

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Час на обслуговування робочого місця  $T_{\text{обс}}$  та час на власні потреби  $T_{\text{вл}}$  приймають у відсотках від оперативного часу, згідно підручника[10]:

$$T_{\text{обс}} = 0,06 \cdot T_{\text{оп}} = 0,06 \cdot (T_{\text{o}} + T_{\text{д}}) \quad (8)$$

$$T_{\text{вл}} = 0,04 \cdot T_{\text{оп}} = 0,04 \cdot (T_{\text{o}} + T_{\text{д}}) \quad (9)$$

Норма підготовчо-заключного часу визначається за формулою:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{орг}} + T_{\text{нал}} + T_{\text{по}}, \quad (10)$$

де  $T_{\text{орг}}$  – норма часу на організаційну підготовку, хв;  $T_{\text{нал}}$  – норма часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту, програмних пристроїв, хв;  $T_{\text{по}}$  – норма часу на пробне оброблення, хв, згідно посібника [10].

Усі розрахунки виконано в усному режимі та за допомогою програми PowerMill, відповідно були занесені в відповідних графах операційної карти.

### 3.10 Програмування числової програми керування

Автоматизація та зменшення трудової діяльності робітника біля станку з ЧПК неможливе без грамотна написаної програми для механічної обробки деталі R

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

розрахунки розмірів для переоудови 3-D моделі деталі у 3-D модель заготовки.

Для цього використовуємо можливості у моделюванні деталей програму

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Першим кроком к моделюванню програми керування для верстата в Autodesk PowerMill, необхідно імпортувати 3-D деталі «Ланка» у форматі Step AP214 (.stp). Далі необхідно на вкладці «головна» обрати функцію «заготовка» та вставити 3-D модель заготовки «Ланка» (рис.3.44). Наступним етапом являється інтегрування в програму 3D моделі станка OKUMA MU-400 VA с відповідно належним постпроцесором (рис 3.45). Створюємо інструменти с відповідними патронами та розмірами, які надає компанія Sandvik, весь необхідний матеріал

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

має можливість, адже деталь має нахилену поверхню до осі на  $\beta$ . Тому саме для цієї обробки використовуємо метод «По шаблону», для даної стратегії будуємо шаблон с необхідними розмірами поверхні. Використовуючи даний метод необхідно змінити ось інструмента змінивши кут атаки на  $\beta$ , чорнова та чистова обробка на рисунках 4.47 та 4.48 відповідно. Наступним етапом моделювання керуючої програми становить обробка задньої поверхні деталі «Ланка» використовуємо метод «По шаблону», який забезпечує відповідну характеристику обробки (рис.4.49). Найефективнішим та доцільним методом обробки наступних поверхонь внутрішніх поверхонь застосовуємо дискову фрезу (рис.4.50). Проаналізувавши конструктивні властивості деталі визначаємо

необхідність застосування сферичних фрез для оброблення внутрішніх та зовнішніх заокруглень (рис.4.51). Тепер наявна можливість оброблення отворів Ø15 (рис.4.52), Ø18 (рис.4.53), Ø10 (рис.4.54), та останній отвір обробляється завдяки властивості столу верстата, який повертаємо на  $-90^\circ$ , та обробляємо Ø6 (рис.4.55). Наступними та завершальним етапом становить оброблення 2

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

ЯННЯ

ЖОВУ

КА»



**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**



Рисунг

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

за

Дана операція була останньою в даному переході, тому відповідно наведено зображення готової деталі на рисунку 4.58. Звісно наступною та кінцевою частиною являється перебазування заготовки та оброблення останніх поверхонь, для отримання яких достатньої перебазувати на іншу локальну систему координат та скопіювати траєкторії змінивши їх координати на відповідні для вдосконаленого оброблення заготовки.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

керуючої програми, обираючи станок OKUMA MU 400-VA та імпорт постпроцесора зі станка(рис. 4.59). На рисунку 4.60 наведено G-код для верстата з ЧПК

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок

№ 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11 / 12 / 13 / 14 / 15 / 16 / 17 / 18 / 19 / 20 / 21 / 22 / 23 / 24 / 25 / 26 / 27 / 28 / 29 / 30 / 31 / 32 / 33 / 34 / 35 / 36 / 37 / 38 / 39 / 40 / 41 / 42 / 43 / 44 / 45 / 46 / 47 / 48 / 49 / 50 / 51 / 52 / 53 / 54 / 55 / 56 / 57 / 58 / 59 / 60 / 61 / 62 / 63 / 64 / 65 / 66 / 67 / 68 / 69 / 70 / 71 / 72 / 73 / 74 / 75 / 76 / 77 / 78 / 79 / 80 / 81 / 82 / 83 / 84 / 85 / 86 / 87 / 88 / 89 / 90 / 91 / 92 / 93 / 94 / 95 / 96 / 97 / 98 / 99 / 100

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

### 3 Спеціальний розділ

#### 3.1 Обладнання для базування заготовки

Технічний опис базувального пристрою OTC-MFL 400 VA

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

- Базова направляюча та губки с загартованим поверхнім шаром.
- Високе зажимне зусилля до 20 кН, максимальний момент затяжки 25 Нм.
- Обробка заготовок с 5 сторон на багатокоординатних багатоцільових обробних центрах.
- Регулювання центру  $\pm 0,02$  мм.
- Висока повторюваність при позиціюванні 0,02мм.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 4.1 - Базова направляюча № 360080-260

## **4.2 Вимірювальні системи для верстатів з ЧПК**

### **4.2.1 Призначення вимірювального обладнання**

Розвиток машинобудівельних досягнень полягає у вдосконаленні всіх напрямків виготовлення високоякісних деталей. Однією з яких і являється метеорологія, як окремий вид мистецтва. Метеорологія це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності. Автоматизація процесу за допомогою відповідного обладнання дозволяє використовувати час, затрачуваний на установку заготовок вручну і контроль готових виробів, витратити на обробку, що приведе до економічного удосконалення технологічного процесу виробництва. Контрольно-вимірювальні системи дозволяють виключити з технологічного процесу дорогі простой верстатів і брак, пов'язані з ручним виконанням прив'язки деталі і контролю інструменту.

Спектр рішень для контролю процесів обробки забезпечує системний підхід до усунення можливих відхилень на всіх стадіях процесу обробки. Це досягається завдяки застосуванню новітніх технологій, випробуваних на практиці методів і досвіду фахівців. Вимірювання за допомогою датчиків є загально визнаним методом, застосування якого забезпечує досягнення максимальних показників ефективності роботи, якості, точності та інших характеристик верстатів. Використання вимірювальних приладів приводе до удосконалення наступних елементів виробництва :

- Підвищення продуктивності існуючого обладнання технології виробництва.
- Збільшення рівня автоматизації і зменшення частки участі операторів в технологічній операції. Можливість впровадити автоматизацію налагодження і процедур вимірювання замість ручних операцій, що впроваджує зниження витрат на оплату праці та використовувати персонал для активного технічного обслуговування.
- Зниження кількості випадків повторної обробки, відступів і браку, даний процес пов'язаної з втратами часу, коштів і матеріалів. Збільшення ступеню відповідності вимогам і стабільність результатів також знизити собівартість одиниці продукції скоротити час налагодження.
- Розширення можливостей і збільшення обсягу виконуваних робіт. На даний час зростає попит на все більш складні роботи, при цьому вимоги до єдності вимірювань в ході технологічного процесу зростають. Запропонувати клієнтам найсучасніші можливості обробки, що призведе до збільшення обсягу більш складних робіт та забезпечить вимоги до простежуваності вимірювань.

Системи контролю та вимірювання ділять на два незалежних один від одного типу.

- Система контролю різального інструмента (рис.1)

- Система контролю деталі (рис. 2)



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Рисунок 4.2 Система контролю деталі

На рисунку 4.3 зображено конструкція датчика системи виміру та контролю деталі [11]. Який включає в себе вимірювальний стержень з контактним наконечником (вимірювальний щуп), який кріпиться в корпусі датчика [12]. Сам корпус містить приймач сигналів, відсік для батареї, хвостовик відповідно до стандарту шпинделя верстата, а також різноманітні пристосування в залежності від моделі, наприклад, сопла для очищення щупа.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

С

таблиці 4.1.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Також однієї з важливих та корисних приладів галузі системи контролю являється датчики по налагодженню інструменту і виявлення несправного інструменту. Дане обладнання дозволяє своєчасно виявити та запобігти експлуатації непридатного різального оснащення станку. Найсучаснішим та

найтехнологічним прикладом є контактний датчик OTS (рис.4.5) компанії

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Мінімальний

розмір

виявленого

Ø1 0 мм

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

дослідження на готовій деталі та заготовки. Також відповідно необхідно мати 3D моделі, по яким и проводиться контроль розмірів поверхонь. Програмуючи програму Autodesk PowerMill було обрано відповідно до попередньої частини розділу щуп OMP40-2 від компанії RENISHAW. Дослідження проводилися на контроль трьох точок торцевої поверхні, окружність отворів  $\text{Ø}15^{+0,018}$  та

$\varnothing 18^{+0,018}$ , аналіз циліндричності та контролю відхилень на різних глибинах отвору  $\varnothing 15^{+0,018}$  та трьох точок різних поверхонь.

На рисунку 4.6 наведено програмування контролю розміру у трьох різних точках полого-нахиленої поверхні деталі «Ланка».

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Наступним кроком являється дослідження округлості поверхні  $\varnothing 15^{+0,018}$  на глибині 1 мм для визначення діаметру та його центру (рис.4.7).

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Наступним кроком являється дослідження окружності поверхні  $\text{Ø}18^{+0,018}$  на глибині 1 мм для визначення діаметру та його центру (рис.4.8).

Autodesk PowerInspect Ultimate 2018 - [PowerInspect3 (MM)]

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Autodesk PowerInspect Ultimate 2018 - [PowerInspect3 (MM)]

На рисунку 4.9 наведено моделювання дослідження циліндричності та контролю відхилень на різних глибинах отвору  $\text{Ø}15^{+0,018}$  деталі «Ланка».

Autodesk PowerInspect Ultimate 2018 - [PowerInspect3 (MM)]

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Останнім кроком в моделюванні це експеримент по дослідженню трьох різних точок - трьох різних поверхонь відповідно, однією траєкторією для встановлення графіку контролю групи. На рисунку 4. 9 зображено відповідне моделювання цих поверхонь.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Одним з головних переваг використання програми Autodesk PowerInspect це запропонування користувачам звіту по симульованим поверхням деталі, з

відповідно належними даними о координатах поверхні та отриманими результатами допусків відповідно. Також наявна функція дослідження та виявлення можливих помилок у отриманих поверхнях, що дозволяє своєчасно відреагувати. На рисунку 4.10 зображено саме такий звіт, отриманий від запису проаналізованих поверхень деталі.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



	Мінімум	Максимум	Мінімум	Максимум	Мінімум
Z	-1,000	1,000	31,500	32,500	1,000

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

становить можливість збереженню G коду керуючої програми для систем верстат різних компаній виробників. Даний файл можливо відкрити програмою Word, що відповідно надає можливість редагуванню та добавленню необхідних команд. Але якщо наявний верстат не знаходиться в дному списку, є можливість збереженню в універсальному форматі. На рисунку 4.11 зображено саме такий код керуючої програми для верстата.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 4.11 - Код керуючої програми деталі «Ланка»

Другою частиною дослідження являється аналіз тих самих поверхонь заготовки отриманої методом лиття. Відповідно усі наступні кроки будуть відтворюватися у тій самій послідовності, та не потребують пояснень. Рисунки 4.12-4.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 4.12 – контроль торцевої поверхні заготовки «Ланка»

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Ø9,8 )заготовки «Ланка»

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Дисунок 4.10 - Група контролю поверлень заготовки «Ланка»

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 4.1 / - Звіт контролю заготовки «Ланка»

□□□□

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Графічна частина дослідження наглядно продемонструвала різницю у відхиленнях між готовим виробом та заготовкою. Також в звіті продемонстровані дані про отримані координати точок та аналіз наявності помилок у контролі поверхонь заготовки, яких не має.

## **5 Науково-дослідницький розділ**

### **5.1 Вступ**

Фрезерування один з основних методів механічної обробки всіляких поверхонь деталі, з кожним роком машинобудівна індустрія все більш цілеспрямовано розвивається в поліпшення процесу різання і одержуваної поверхні деталі. Переважна кількість поверхонь деталі, які присутні у всеспрямованих галузях промисловості, в більшості випадків набувають методом торцевого і кінцевого фрезерування на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Особливістю кінцевого і торцевого фрезерування поверхонь деталі є поява під час обробки коливань (вібрацій), які в свою чергу погіршують якість і точність обробки поверхонь, а також призводять до прискореного зносу ріжучого інструменту і шпиндельного вузла верстата.

Науково визначено, що при кінцевому фрезеруванні поверхонь деталей, крім вимушених коливань, пов'язаних з входом і виходом зуба фрези в припуск, в певному швидкісному діапазоні виникають регенеративні автоколивання, пов'язані зі зрізанням стружки по хвилястому сліду на поверхні різання, отриманого при попередньому проході зуба фрези. Одним з найбільш ефективних способів зниження збудження коливань є застосування фрез зі змінною геометрією.

Таким чином, визначення швидкісних діапазонів фрезерування поверхонь деталі, в якому різнопохилі ріжучі зуб'я кінцевих циліндричних фрез, а також стрічка на задній поверхні зуба ефективно зменшують коливання і покращують якість обробленої поверхні

### **5.2 Міцнісний аналіз оброблюваної поверхні деталі «Ланка»**

При визначенні основних закономірностей впливу косокутності і різнопохилості зуб'їв кінцевої циліндричної фрези, а також стрічки на задній поверхні зуба на вібростійкість і якість обробки поверхностей елементів

деталі «Ланка». Необхідність проведення міцнісного аналізу вибраної для дослідження поверхні деталі, інтегрує більш детальну уяву процесу різання при фрезеруванні для подальших впроваджених досліджень утворюваних вібрацій, а також встановлення утворювальних статичних переміщень в районі механічної обробки методом фрезерування, що безпосередньо мають вплив на утворювання регенеративних автоколивань при процесі різання. Для демонстрації поведінки елемента деталі, а також визначенню статичного переміщення і виникнення напружень, що впливають на поверхню деталі та інструмент при механічній обробці, скористаємося програмою SolidWorks з вбудованим модулем Simulation. При використанні програми SolidWorks першою дією для симуляції необхідних досліджень потрібно активувати вкладку «Аналізувати» у верхній панелі модулів (рис. 5.1), потім перейти до

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 5.2 - Ілюстрація виконання аналізу

Для продовження виконання дослідження, необхідно ввести коректні дані про деталі і першим з них є спосіб кріплення. Деталь «Ланка» встановлюється в лещата з призматичними губками (Доповнити інформацією пов'язаної з налагодженням) (рис. 5.3)

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Додавання сили різання впливає на процес фрезерування внутрішньої поверхні поверхності елемента деталі (рис.5.4). Модуль SimulationXpress використовує одиниці виміру сил в N (ньютонах). Величина сили різання обраної поверхні методом фрезерування дорівнює  $P_z = 53 \text{ кг} / \text{мм}^2$  переводиться в систему SI і отримуваний результат  $P_z = 5521 \text{ Н}$ , вводиться в відповідну графу.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Наступний етап пов'язаний з вибором матеріалу деталі.  
Використовуємий матеріал деталі «Ланка» являється легована сталь  
20ХГСА (рис. 5.5)

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 5.5 - Додавання матеріалу в модулі SimulationXpress

Останнім етапом є відтворення анімації впливу сили на поверхню деталі  
«Ланка» (рис. 5.6).

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Отримані результати продемонстрували виникаючі напруги вздовж всієї оброблюваної поверхні деталі (рис.5.7), а також вказали на небезпечні ділянки поверхні при фрезеруванні. Що дозволяє нам в більш характерній формі досліджувати виникаючі коливання при обробці поверхні.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 5.7 - Вплив сили різання на оброблюваний елемент деталі в модулі SimulationXpress

Аналізуючи дані отримані за результатом дослідження, наявні напруження від процесу різання деталь «Ланка» витримає, адже границя текучості більше за максимальні утворені напруження.

Отримані дані (рис.5.8), вказують на статичне переміщення елемента деталі, при кінцевому фрезеруванні можуть з'являтися ще і вільні коливання

деталі під час холостого ходу між різанням сусідніми зубами фрези, які і залежать від статичного переміщення під час різання.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рисунок 5.8 - Статичне переміщення в модулі SimulationXpress

Продемонстрована інформація вказує, на наявність ділянок підвищеної уваги. Першочергова задача - поліпшення процесу різання, результат отриманий при фрезеруванні залежить від технологічних рішень у виборі конструкційних і геометричних характеристик ріжучого інструменту, що в подальшому має можливість покращення результатів обробленої поверхні та надасть змогу зменшити швидкість зносу шпиндельного вузла верстата та збільшити відносну стійкість ріжучого інструмента, а також безпеці виконання механічних робіт на верстаті з ЧПУ.

### **5.3.1 Вплив конструктивних і геометричних характеристик кінцевих фрез на вібростійкість процесу фрезерування**

При впровадженні у виробництво обробних центрів із ЧПК. За допомогою кінцевих фрез можна виконувати найрізноманітніші види робіт по обробці не тільки плоских, але і складних за формою поверхонь. Основні види робіт наведено на рис. 5.9.

У більшості випадків, головні ріжучі крайки зубів фрези, що знімають більшу частину припуску, розташовані на бічній циліндричній поверхні

фрези і для різних умов обробки (чорнова і чистова) можуть мати різну форму (табл. 1). Зуби фрези, розташовані на плоскому торці, можуть мати ріжучу кромку в центрі, яка дозволяє фрезі працювати з врізання під кутом або паралельно осі в умовах «плунжерного» фрезерування[13].

З розвитком авіаційної, машинобудівної, інструментальної, а також інших галузей промисловості збільшуються обсяг видів робіт пов'язаних з фрезеруванням деталей, які в свою чергу мають елементи, що представляють собою торцеві поверхні. Для цих поверхонь характерні розміри, більш габаритні висоти і ширини аніж товщина. У зв'язку з цим, при їх фрезеруванні особливо в більшій кількості і інтенсивніше виникають

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

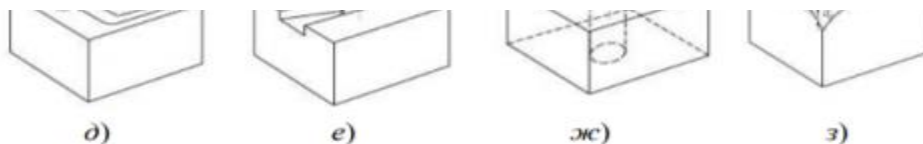


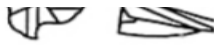
Рисунок 5.9 - Види робіт, що виконуються кінцевими циліндричними фрезами

Таблиця 1 - Типи фрези для певних умов фрезерування

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

		стружку на дрібні частини. Низький опір різанню дозволяє застосовувати високі подачі при чорновій обробці. Переточування виробляють по передній поверхні зуба.
--	--	---

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

		врізання, ефективність якого вище при меншій кількості зубів. Можлива переточування по
--	---	---

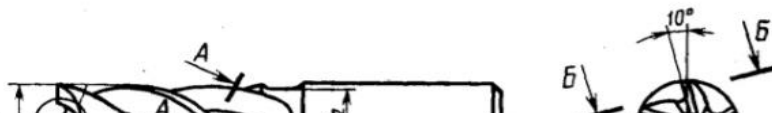
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

...решки фрези в отриманні від нього стружки при одному оберті фрези  
D зі збільшенням числа зубів збільшується діаметр серцевини -  $d$ , що  
підвищує міцність і твердість фрези, але погіршує умови розміщення  
стружки. Наступною характеристикою кожного типу фрези, є її  
виконання: з циліндричної стрічкою на задній поверхні зуба ( $F_n \leq 0,05$

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

...у канавок  $F_k$  і діаметра серцевини фрези -  $d$  від кількості зубів -  $z$



Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

У роботах [18, 19] наведені результати досліджень з придушення вібрацій в результаті незначних змін ( $\Delta\omega \leq 4^\circ$ ) кутів нахилу  $\omega$  сусідніх зубів циліндричної фрези. На рис. 5 показано, що різниця в кутах нахилу сусідніх зубів на  $2^\circ$  збільшує ширину зрізу для безвібраційних фрезерування в 2 рази, а на  $4^\circ$  в 3,5 рази. Подальше збільшення різниці в кутах нахилу  $\Delta\omega$  сусідніх зубів надає незначне підвищення вібростійкості.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

У цих роботах показано, що зі збільшенням швидкості обертання кінцевий циліндричної фрези існують швидкісні зони, в яких спостерігаються різні механізми збудження коливань. При низьких швидкостях спостерігаються тільки вимушені коливання деталі. При подальшому збільшенні швидкості на вимушені коливання можуть накладатися регенеративні автоколивання. При фінішному швидкісному фрезеруванні, коли призначають незначні осьові і радіальні глибини фрезерування автоколивання вироджуються, і спостерігаються тільки вимушені коливання. Більш того, при кінцевому фрезеруванні можуть з'являтися ще і вільні коливання деталі під час холостого ходу між різанням сусідніми зубами фрези.

### 5.3.2 Аналіз швидкісний зони

В роботі [18] здійснено аналіз осцилограм відхилення поверхонь елементів деталі в процесі кінцевого циліндричного фрезерування, який продемонстрував, що в діапазоні частот обертання фрези обраної в дослідженні ( $\emptyset 35$  мм) від 56 до 1800 об / хв існує дві, принципово різні за механізмом збудження, причини виникнення коливань.

« – У зоні частот обертання фрези  $n_{фр} = 560$  об / хв спостерігається прояв ефекту вторинного збудження коливань при різанні з вібраційного сліду від попереднього проходу зуба фрези. Зі збільшенням частоти обертання фрези регенеративний ефект поступово вироджується і зникає.

– При частотах обертання фрези  $n_{фр} = 1800$  об / хв причиною появи періодичних коливань сили віджиму деталі є періодична зміна розташування точки врізання зуба фрези в оброблювану поверхню, яка здійснює вільні коливання щодо положення її рівноваги, під час холостого ходу зуба фрези».

Таким чином встановлено, що при збільшенні швидкості різання (частоти обертання шпинделя -  $n_{фр}$ ) спостерігається явище виникнення, зростання до максимального рівня, а далі зниження і виродження

автоколивань елементів деталі. Аналогічну картину спостерігав Кучма Л. К. [19, 20] при точінні. Ним встановлено, що існує швидкісна зона, в якій виникають інтенсивні автоколювання, однак не показані причини, чому вони спочатку виникають, а зі збільшенням швидкості вироджуються і зникають.

Експериментально доведено, що при фінішному фрезеруванні, через незначні величин осьової глибини -  $a_p$  і радіальної глибини -  $a_e$  в знятті припуску завжди бере участь один зуб, причому, між різанням сусідніх зубів є час холостого ходу -  $t_{х.х}$ , яке здійснює вільні затухаючі колювання.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

<sup>1</sup> СКЭ

У табл. 5.2 записані результати досліджень впливу частоти обертання фрези на умови збудження колювань при зустрічному і попутному фрезеруванні.

– I швидкісна зона ( $n < 100$  об / хв). Виникають тільки вимушені колювань з зубцеву частотою  $f_z = \frac{1}{T_z}$ . Визначальне співвідношення для цієї зони –  $BC > 10$ .

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

коливання з зубцевою частотою  $f_z = \frac{1}{T_z}$  вільні затухаючі коливання з частотою власних коливань  $f_{скз} = \frac{1}{T_{скз}}$ . Автоколивання повністю виродилися і відсутні. Визначальне співвідношення для цієї зони –  $OS < 1$ .

Таблиця 2 - результати досліджень впливу частоти обертання фрези на умови збудження коливань при зустрічному і попутному фрезеруванні

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

34  
44  
56  
71  
90  
11  
14

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

...  
визначальною умовою збудження вимушених коливань, а також поява,  
розвиток і виродження автоколивань є зубцева частота –  $f_z$  . Вона  
безпосередньо пов'язана з частотою обертання фрези –  $n$  і кількістю зубів  
фрези –  $z$ :

$$f_z = \frac{n \cdot z}{60} = \frac{1}{T_z} = \frac{1}{t_{\text{рез}} + t_{x.x}} \quad (12)$$

### 5.3.3. Дослідження кута нахилу ріжучої кромки циліндричної фрези

Дослідження проведені в лабораторії з реальними умовами [21], застосованою фрезою з характеристиками:  $d_{\text{фр}} = 55$  мм,  $z = 1$ ,  $n = 280$  об/хв,  $a_e = 0,5$  мм,  $a_p = 4$  мм,  $S_z = 0,1$  мм/зуб,  $\omega = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ . На рис. 5.14 зображено результати дослідження пов'язаними з впливом кута нахилу  $\omega$  на величину розмаху R2 автоколивань. Експериментально доведено, що для попутного фрезерування зона автоколивань ширше, ніж для зустрічного, це означає, що виродження автоколивань для різних напрямків подачі відбувається при різних частотах обертання фрези. При зустрічних ( $n \approx 700$  об/мин), а при попутних ( $n \approx 1100$  об/мин).

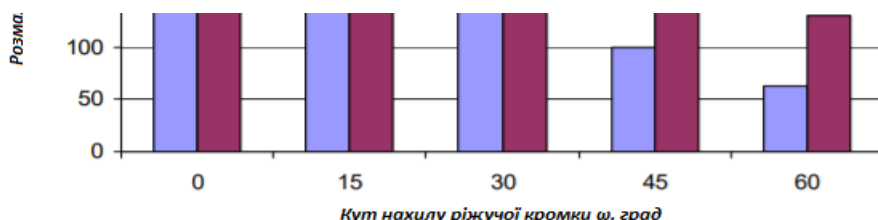
Зустрічне фрезерування

Попутне фрезерування

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

автоколивань при зміні кута нахилу ріжучої кромки від  $0^\circ$  до  $60^\circ$ . Діапазон рекомендованих кутів  $\omega$ , що забезпечують найкращу ефективність використання кінцевих циліндричних фрез, становить від  $30^\circ$  до  $45^\circ$  і

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

обробленої поверхні при зустрічному і попутному фрезеруванні фрезами з різними кутами  $\omega$ . Проаналізувавши дані, видимі результати, що зона регенеративних автоколивань значно ширше, ніж при зустрічному процесі різання. Не менш істотним результатом є, більш збільшений діапазон частоти обертів  $n$ , при попутному фрезеруванні.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Рис. 5.15 – Вплив кута нахилу ріжучої кромки фрези  $\omega$ , частоти обертання фрези -  $n$  і напрямку подачі на параметр  $R_a$  відхилення профілю

Збільшення кута  $\omega > 0$  переводить процес різання з ортогонального в косокутність, при якому з'являються додаткові сили тертя уздовж ріжучої кромки на передній поверхні, змінюється довжина активної ріжучої кромки  $l_{арк}$  і площа перерізу на підвищенні кута нахилу ріжучої кромки.

Зустріч  
п



$\omega = 45^\circ$



$\omega = 60^\circ$

Рисують  
фрезеруванні

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

ливає  
графію  
кутах

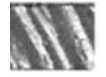
і



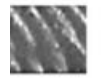
$0^\circ$



$15^\circ$



$= 30^\circ$



ри  
жучої

кромки  $\omega$

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

a)

б)

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

циліндричного фрезерування з поворотом осі обертання фрези

Вільне прямокутне циліндричне фрезерування $\omega = 0^\circ$ (немає руху стружки вздовж ріжучої кромки)	Вільна косокутність циліндричного фрезерування $\omega =$ $45^\circ$ (тобто рух стружки вздовж ріжучої кромки)
---	---

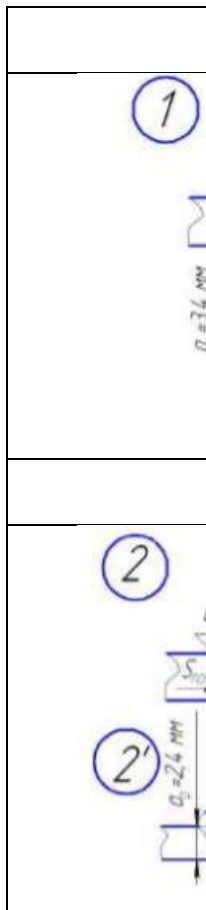
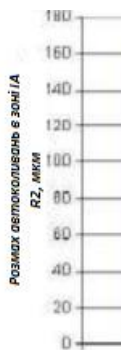
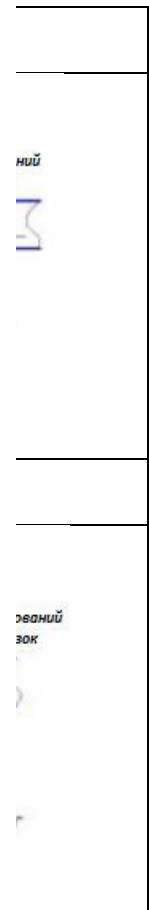


Рисунок 5.19  
 Розмах автоколивань в зоні ІА  
 R2, мкм

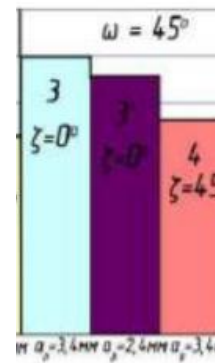


**Конференційну інформацію  
 та комерційну таємницю  
 вилучено з матеріалів на  
 підставі експертного  
 висновку від 18.06.2024р.**

R2 (n = 280 об/мин)



вання



ГОКОЛИВАНЬ

На рис. 5.19 наведені результати вимірювання параметра Ra відхилення профілю обробленої поверхні при різних нахилах осі шпинделя під час процесу фрезерування. Порівняння даних наведених на рис. 13 і 14 показує однозначну зв'язок між рівнем збудження регенеративних автоколивань R2 і параметром Ra відхилення профілю обробленої поверхні.

# Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Порівняння даних наведених на рис. 13 і 14 показує однозначну зв'язок між рівнем збудження регенеративних автоколебаний  $R_2$  і параметром  $R_a$  відхилення профілю обробленої поверхні.

Доведено, що збільшення кута нахилу  $\omega$  від  $0^\circ$  до  $60^\circ$  без сумніву підвищує вібростійкість при процесі різання циліндричного фрезерування особливо в діапазоні кутів від  $30^\circ$  до  $45^\circ$ . Зниження рівня автоколивань спостерігається як при зустрічному, так і при попутному фрезеруванні, а також продемонстровано, що зона збудження автоколивань при попутному фрезеруванні значно ширше, ніж для зустрічного і зміщена в бік більш високих частот обертання шпинделя.

Задokumentовано, що поворот осі фрези щодо напрямлення поздовжньої подачі позитивно впливає на придушення регенеративних коливань і знижує параметр  $R_a$  відхилення профілю обробленої поверхні.

## **5.3.4 Дослідження впливу стрічки на задній поверхні зуба**

J. Tlustý [28] проводив дослідження пов'язані з вібрацією, що збуджені процесами різання необхідно пильно контролювати умови контакту задньої поверхні інструмента з поверхнею різання. Він вважає, що задня поверхня, що контактує з тільки утвореної хвилястістю на поверхні різання, може істотно пригнічувати регенеративні автоколивань.

Таким чином, розглядаючи проблему пригнічення вібрацій при кінцевому циліндричному фрезеруванні, необхідно знати, як ширина і форма стрічки на задній поверхні гвинтового зуба впливає на інтенсивність збудження або пригнічення автоколебаний.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Рисунок 5.20 – Геометрія заточення задньої поверхні гвинтового зуба  
кінцевої циліндричної фрези:

1. Зуб заточений наДСТУро.

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

$\omega = 0^\circ, f_{\text{л}} = 0 \text{ мм}$

$\omega = 0^\circ, f_{\text{л}} = 0,05 \text{ мм}$

$\omega = 0^\circ, f_{\text{л}} = 0,1 \text{ мм}$

(а)

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

(б)

зустрічне фрезерування, б - попутне фрезерування.

На рис. 5.22 продемонстроване, що зниження розмаху автоколивань R2 при заточуванні плоскої стрічки шириною  $F_{\text{л}} = 0,05 \text{ мм}$  досягає значень при зустрічному фрезеруванні до 2-х разів, а шириною  $F_{\text{л}} = 0,1 \text{ мм}$  до 3,5 раз.

При попутному фрезеруванні зменшення параметра R2 становить більше 3-х разів. Заточка циліндричної стрічки теж знижує параметр R2, але зниження нижче, ніж при заточуванні плоскої стрічки. Величина відхилення профілю Ra також знижується і при ширині стрічки  $F_{\text{л}} = 0,1$  мм, зменшення Ra для зустрічного фрезерування становить 1,7 рази, а для попутного 1,5 рази.

Зустрічне фрезерування

Попутне фрезерування

**Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.**

задній поверхні зуба кінцевої фрези на розмах автоколивань R2 та відхилення профілю Ra для плоскої стрічки. ЦЛ - циліндрична стрічка, ПЛ - плоска стрічка

Підводячи підсумки, досліджено і доведено, що стрічка на задній поверхні зуба фрези шириною  $F_{\text{л}} = 0,05$  мм і 0,1 мм проявляє істотно позитивний вплив на зниження регенеративних автоколебаний як при зустрічному, так і при попутному кінцевому циліндричному фрезеруванні поверхонь елементів деталі

## Висновок

Виконуючи дипломну роботу однією з найголовніших поставлених питань було апгрейд ефективності виробництва з використанням усіх можливих варіантів. Починаючи з метода виготовлення заготовки до механічної обробки деталі.

В технологічному розділі основним методом зменшення витрат часу на механічну обробку деталі становило написання та максимальне автоматизація керуючої програми. Це становило вдосконалення процесу механічної обробки поверхень з застосуваннями комп'ютерної програми Autodesk PowerMill с детальним коректуванням управління траєкторіями руху інструменту. Що значно зменшило час витрату на процес різання.

В спеціальній частині основним напрямком дослідження та діяльності становило вдосконалення контролю розміру деталі під час механічної обробці. Що також в свою чергу сприяло на позитивне скорочення часу, яке надає можливість значного підвищення кількості виготовленню деталей.

Мета наукової частини створення більш економічно та технологічно придатного інструмента с вібростійкості при фрезеруванні. Також визначення основних закономірностей впливу косокутність і різнопохилості зубів циліндричної фрези, а також стрічки на задній поверхні, зуба на вібростійкість і якість обробки поверхонь деталі «Ланка», зниження утворених коливань при процесі різання. Усі дослідження це розумне введення отриманих даних в процес виготовлення деталі «Ланка».

## Література

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

№	ПІСЬМОВИЙ СТОПІЛ	ВІДПОВІДЬ	ПІСЬМОВИЙ СТОПІЛ	ВІДПОВІДЬ	ПІСЬМОВИЙ СТОПІЛ	ВІДПОВІДЬ
14						
15						
16						

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

I 10	282284, Фреза К210.24-20050FCC44P 1020; 291110, Патрон ПАУ0-ЭП200-Э-120									
T 11	411000, Щуп ОМР40-2									10
P 12		01	20	56	3,0	1	0,12	13200	186	
13										

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		01	20	50	1,5	1	0,12	13200	186
16									

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		02	20	50	0,4	1	0,18	18300	574
16									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		04	36	36	0,4	1	0,525	1035	550
16									
17									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		04	36	36	0,4	1	0,525	1035	550
16									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		05	31	34	0,2	1	0,07	8910	168
16									
17									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Т 16	282420, Сверло 460.1-1300-065A1-ХМ GC34, Патрон HA06-SH15Q-S-080									
Т 17	411000, Щуп OMP40-2									10
Р 18		07	70	13	2,6	1	0,25	2690	110	

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		10	60	16	3,1	1	0,32	2080	105
16									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		13	25	8	4	1	0,27	3260	135
16									
17									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		16	40	5	2,5	1	0,2	11700	184
16									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		19	20	5	0,2	1	0,143	11500	360
16									
17									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Т 16	282284, Фреза R216.24-20050FCC44P 1620; 291110, Патрон HA06-SH20Q-S-120									
Т 17	411000, Щуп OMP40-2									10
Р 18		01	20	56	3,0	1	0,12	13200	186	

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15	02	32	32	0,4	1	0,18	18300	574
16								

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		03	36	36	2,2	1	0.475	747	375
16									
17									

OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

Р 15		03	36	36	2,2	1	0.475	747	375
16									

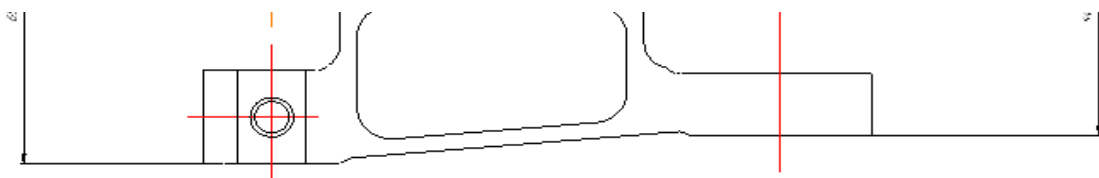
OK

Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

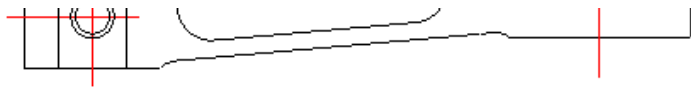
Р 15		20	20	20	0.2	1	0,12	8050	165
16									
17									

OK

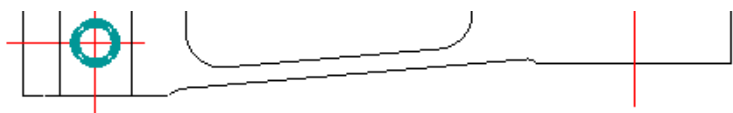
Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.



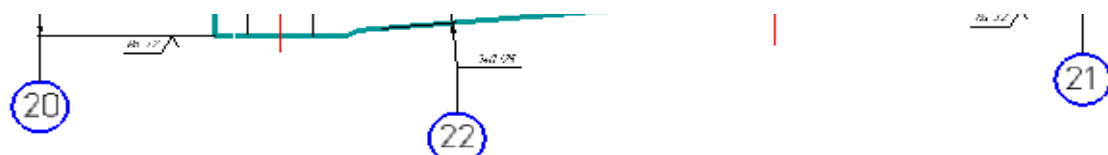
Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.



Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.



Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.



Конференційну інформацію  
та комерційну таємницю  
вилучено з матеріалів на  
підставі експертного  
висновку від 18.06.2024р.

