

Національний технічний університет України
«КІЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Ю.В.Петраков
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності **131. Прикладна механіка. Технології машинобудування**
(код і назва спеціальності)

на тему: Забезпечення якості поверхні при точінні нежорстких валів

Виконав: студент б курсу, групи МТ-81мп
(шифр групи)

Петренко Олександр Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст.викл. Бецко Ю.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Структура та об'єм роботи. До магістерської дисертації входить:

- вступ;
- 4 розділи;
- загальні висновки;
- перелік джерел посилань.

Робота складається з 71 сторінки тексту, 23 таблиць, 23 рисунків, 48 формул, 22 джерел посилань.

Актуальність теми. Виникнення автоколивань в пружних системах металорізальних верстатів можливе при всіх видах оброблення матеріалів різанням. При інтенсивних режимах оброблення амплітуда автоколивань може сягати значень, при яких суттєво знижується точність і якість оброблюваної поверхні, збільшує хвилястість, наклеп, залишкові напруження в деталі, а також підвищує зношування ріжучого інструменту і верстату. Це явище вельми характерно і для токарного оброблення.

Мета та завдання дослідження. Необхідність забезпечення якості оброблюваної поверхні при точінні нежорстких валів. Розгляд проблеми появи автоколивань при обробленні на прикладі типового валу. Дослідження способів відлаштування від точіння по сліду і використання декількох можливих вирішень даної проблеми на практиці.

Об'єкт дослідження – вал, його чорнове оброблення.

Предмет дослідження – автоколювання, їх виникнення, природа цього явища, а також способи їх гасіння і відлаштування від точіння по сліду.

Методи дослідження. Аналіз різноманітних досліджень на дану тематику і використання деяких рекомендацій щодо вирішення проблеми.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Досліджена велика кількість матеріалів з яких отримано як мінімум шість варіантів для боротьби з автоколюваннями.
2. Такі розробки як віброгасячі люнети і багаторізцеві головки є доволі перспективними для застосування, тому згадка за них в дослідженні не буде зайвою для більш широкого розголосу.

Практичне значення отриманих результатів. Попри незадовільний рівень оснащеності більшості підприємств, застарілі технології і верстати, результати дослідження показують, що способи відлаштування від автоколивань є доступними, як на сучасних верстатах з ЧПК, так і вже доволі застарілих

токарних верстатах з напівавтоматичним або ж повністю ручним управлінням. А так як дослідження в даному напрямку продовжуються то і нових методів чи способів можна очікувати в найближчому майбутньому.

Апробація результатів дисертації та публікації. Протягом роботи над магістерською дисертацією було опубліковано одну статтю і подана одна теза:

1. Бецко Ю.М., Петренко О.І. Визначення дійсної товщини зрізаного шару при точінні по сліду. XV міжнародна научна практична конференція «Новината за напреднали наука - 2019»; м.Софія: «Бял ГРАД-БГ» ОДД, 2019р.
2. О. І. Петренко, Ю. М. Бецко. Визначення параметрів збурення при точінні по сліду. Наукові конференції України, інновації молоді в машинобудуванні 2019.

Ключові слова: ТОЧІННЯ, ВІБРАЦІЇ, ТОЧІННЯ ПО СЛІДУ, АВТОКОЛИВАННЯ, ТОВЩИНА ЗРІЗУВАНОВОГО ШАРУ, НЕЖОРСТКИЙ ВАЛ

РЕФЕРАТ

Структура и объем работы. Магистерская диссертация включает в себя:

- вступление;
- 4 раздела;
- общие выводы;
- перечень источников ссылок.

Работа состоит из 71 страницы текста, 23 таблиц, 23 рисунков, 48 формул, 22 источников ссылок.

Актуальность темы. Возникновение автоколебаний в упругих системах металлорежущих станков возможно при всех видах обработки материалов резанием. При интенсивных режимах обработки амплитуда автоколебаний может достигать значений, при которых существенно снижается точность и качество обрабатываемой поверхности, увеличивает волнистость, наклеп, остаточные напряжения в детали, а также повышает износ режущего инструмента и станка. Это явление весьма характерно и для токарной обработки.

Цель и задание исследования. Необходимость обеспечения качества обрабатываемой поверхности при точении нежестких валов. Рассмотрение проблемы появления автоколебаний при обработке на примере типичного вала. Исследование способов отстранения от точения по следу и использования нескольких возможных способов решения данной проблемы на практике.

Объект исследования – вал, его черновая обработка.

Предмет исследования – автоколебания, их возникновение, природа этого явления, а также способы их тушения и отстройка от точения по следу.

Методы исследования. Столкновение с проблемой на реальном процессе обработки. Анализ различных исследований по данной тематике и использование некоторых рекомендаций по решению проблемы.

Научная новизна полученных результатов:

1. Исследована большое количество материалов из которых получено как минимум шесть вариантов для борьбы с автоколебаниями.
2. Такие разработки как виброгасячи люнеты и многорезцовые головки довольно перспективными для применения, так упоминание о них в исследовании не будет лишней для более широкой огласки.

Практическое значение полученных результатов. Несмотря на неудовлетворительный уровень оснащенности большинства предприятий, устаревшие технологии и станки, результаты исследования показывают, что

способы отстройки от автоколебаний доступны, как на современных станках с ЧПУ, так и уже довольно устаревших токарных станках с полуавтоматическим или полностью ручным управлением. А так как исследования в данном направлении продолжаются то и новых методов или способов можно ожидать в ближайшем будущем.

Апробация результатов диссертации и публикации. На протяжении работы над диссертацией было опубликовано одну статью и подана одна теза:

1. Бецко Ю.М., Петренко О.І. Визначення дійсної товщини зрізаного шару при точінні по сліду. XV міжнародна научна практична конференція «Новината за напреднали наука - 2019»; м.Софія: «Бял ГРАД-БГ» ОДД, 2019р.
2. О. І. Петренко, Ю. М. Бецко. Визначення параметрів збурення при точінні по сліду. Наукові конференції України, інновації молоді в машинобудуванні 2019.

Ключевые слова: ТОЧЕНИЕ, ВИБРАЦИИ, ТОЧЕНИЕ ПО СЛЕДУ, АВТОКОЛЕБАНИЯ, ТОЛЩИНА СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ, НЕЖОСТКИЙ ВАЛ

ABSTRACT

This master's dissertation includes. Master's thesis includes:

- introduction;
- 4 sections;
- general conclusions;
- a list of sources of links.

The work consists of 71 pages of text, 23 tables, 23 figures, 48 formulas, 22 reference sources.

Relevance of topic. The occurrence of self-oscillations in elastic systems of metal-cutting machines is possible for all types of materials processing by cutting. In intensive processing modes, the amplitude of self-oscillations can reach values at which the accuracy and quality of the surface being treated, increases the waviness, slander, residual stresses in the workpiece, and also increases the wear of the cutting tool and machine. This phenomenon is also very characteristic of turning.

The purpose and objectives of the study. The need to ensure the quality of the machined surface when turning non-rigid shafts. Consideration of the problem of appearance of self-oscillations during the processing on the example of a typical shaft. Investigation of ways of debugging from turning on the trail and using several possible solutions to this problem in practice.

The object of study. The shaft, its rough processing.

The subject of the study. Self-oscillations, their occurrence, the nature of this phenomenon, as well as ways of extinguishing them and peeling them from turning along the trail.

Research methods. Confronted with a problem in the actual processing process. Analysis of various studies on the subject and use some recommendations to solve the problem.

Scientific novelty of the results:

1. A large number of materials from which at least six variants were obtained to combat self-oscillations were investigated.
2. Developments such as vibration dampers and multi-cutter heads are quite promising for use, so mentioning them in the study will not be superfluous for wider publicity.

The practical significance of the results. Despite the deplorable level of equipment of most enterprises, outdated technologies and machine tools, the results of the study show that methods of self-oscillation debugging are available, both on modern CNC machines and rather outdated semi-automatic or fully manual control lathes. And as research in this area continues, new methods or methods can be expected in the near future.

Approbation of the results of the work and publications. During the work on the dissertation, one article was published and one thesis was submitted:

1. Бецко Ю.М., Петренко О.І. Визначення дійсної товщини зрізаного шару при точінні по сліду. XV міжнародна научна практична конференція «Новината за напреднали наука - 2019»; м.Софія: «Бял ГРАД-БГ» ОДД, 2019р.
2. О. І. Петренко, Ю. М. Бецко. Визначення параметрів збурення при точінні по сліду. Наукові конференції України, інновації молоді в машинобудуванні 2019.

Key words: TURNING, VIBRATION, TURNING ON THE FOLLOWING SELF-OSCILLATIONS, THE THICKNESS OF THE LAYER BEING REMOVED, NOT HARD SHAFT

ЗМІСТ

ВСТУП	12
РОЗДІЛ I. ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НЕ ЖОРСТКИХ ВАЛІВ.....	14
1.1 Походження проблем.....	14
1.2 Можливі наслідки і негативний вплив на ТС.....	17
1.3 Висновки.....	18
РОЗДІЛ II. РОЗГЛЯД ПРОБЛЕМИ НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ “ВАЛ”.....	19
2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі.....	19
2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація.....	19
2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі.....	21
2.1.3 Аналіз вибору конструктивного матеріалу.....	21
2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва.....	21
2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі.....	23
2.4 Проектування конструкції заготовки.....	24
2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі.....	25
2.6 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз.....	25
2.7 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій.....	28
2.8 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі.....	29
2.9 Розрахунок режимів різання	31
2.9.1 Аналіз вихідних даних.....	31
2.9.2 Вид заготовки, визначення розмірів, відхилень та її ескіз.....	31
2.9.3 Формування умов оброблення. Вибір верстатного обладнання для оброблення заготовки.	31
2.9.4 Вибір інструментального матеріалу, типу інструменту та його геометричних параметрів різальної частини.....	32

2.9.5	Визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту.....	33
2.9.6	Визначення схеми установки заготовки.....	34
2.9.7	Розрахунок складових режиму різання.....	34
2.9.8	Визначення глибини різання.....	35
2.9.9	Визначення подачі за силами, що допускаються елементами технологічної системи оброблення.....	35
2.9.10	Визначення подачі за параметрами шорсткості поверхні, що встановлені креслеником деталі.....	38
2.9.11	Визначення швидкості різання за різальними властивостями інструменту.....	39
2.9.12	Визначення швидкості різання за потужністю головного приводу верстату.....	40
2.9.13	Визначення розрахункової частоти обертання шпинделя.....	41
2.9.14	Визначення основного часу оброблення.....	41
2.10	Висновки.....	42
РОЗДІЛ III. ВАРІАНТИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ.....		43
3.1	Підбір більш сприятливих режимів різання.....	43
3.2	Використання люнетів.....	45
3.3	Використання віброгасячих люнетів.....	46
3.4	Використання багаторізевої головки.....	50
3.5	Використання підпружиненого різцетримача.....	52
3.6	Зміна швидкості обертання шпинделя.....	52
3.7	Висновки.....	54
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ		56
4.1	Опис ідеї проекту.....	56
4.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
4.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	58
4.4	Розроблення ринкової стратегії проекту.....	63
4.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	65

4.6 Висновки.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	69

ВСТУП

Серед великого різноманіття деталей машин, понад 30% займають деталі типу тіл обертання. Такі деталі умовно поділяють на три типи, в залежності від співвідношення довжини L до найбільшого зовнішнього діаметра D [2].

Одними з найбільш трудомістких при виготовлення являються деталі з малою жорсткістю, особливо нежорсткі вали.

До нежорстких відносяться вали, власна податливість яких значно перебільшує податливість технологічної системи. Відношення довжини L до діаметра D таких валів більше 10 ($L/D > 10$).

Враховуючи малу жорсткість оброблюваного нежорсткого валу технологічна система верстат-пристрій-інструмент-заготовка виявляється особливо вразливою до дії зовнішніх поперечних сил і динамічних факторів, що супроводжують процес різання.

В зв'язку з цим, обробка таких деталей пов'язана зі значними проблемами, що обумовлюються деформацією оброблюваної деталі під дією сили різання, а також виникненням вібрацій деталі в процесі оброблення, які бувають настільки інтенсивними, що на практиці змушують значно зменшувати режими різання, вдаватися до багатопрхідної обробки, призводять до зниження стійкості і довговічності ріжучого інструменту. Виникнення вібрацій особливо небажані на кінцевих чистових етапах оброблення, коли різання відбувається на малих глибинах і порушення безвібраційного руху деталі і різця в зоні різання може призвести до браку деталі.

Проблема виникнення вібрацій актуальна при металообробці на верстатах з ЧПК, так як окрім зниження точності оброблення, вібрації в зоні різання можуть призводити до пришвидшеного зносу обладнання верстата.

Нарівні з цим, неконтрольовані механічні коливання з порівняно великою амплітудою являються обмежуючим фактором при збільшенні продуктивності процесу різання. Разом з цим поява коливань обумовлена наявністю і взаємним впливом технологічних умов різання, зовнішніх збурюючих сил і параметрів пружної системи токарного верстата. Тому підвищення ефективності оброблення нежорстких валів, головним чином залежить від забезпечення сталості їх оброблення.

В наш час визначення сталості доволі часто відбувається на основі досвіду технолога. Існуючі технологічні методи визначення стійкості не

забезпечують необхідної точності. Пов'язано це з тим, що використовувані математичні моделі є занадто спрощеними.

Успіх в вирішенні комплексної наукової проблеми, що полягає в підвищенні точності і продуктивності токарної обробки нежорстких валів, поряд з традиційними способами в значній мірі зумовлюється наявністю адекватних математичних моделей, здатних описати взаємозв'язок коливань пружної системи верстата і динамічного процесу різання.

Згідно сучасному уявленню, металорізальний верстат є складною замкненою багатоконтурною динамічною системою з великим різноманіттям сил і різних зворотних зв'язків.

Основними елементами замкненої динамічної системи верстата є пружна система верстату і динамічний процес різання.

Недостатня кількість експериментальної інформації про такі визначальні складові динамічного процесу різання як динаміка стружкоутворення, різання по сліду, залишеному різцем на попередньому оберті заготовки, нелінійні явища, викликані введенням вершини різця в пружно-пластичне середовище деталі, ускладнює вирішення практичних задач по покращенню якості і точності оброблення на металорізальних верстатах [2].

РОЗДІЛ І

ПРОБЛЕМАТИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НЕ ЖОРСТКИХ ВАЛІВ

1.1 Походження проблем

Точіння нежорстких валів довжиною більше 10 діаметрів являє собою серйозну технологічну проблему. Проблематика полягає в тому що виникають значні вібрації. Значні вібрації виникають по причині того, що: ми маємо справу з нежорсткою технологічною системою, а також з появою автоколивань.

Автоколивання виникають і підтримуються джерелами енергії, що не мають коливальних властивостей. Причиною їх виникнення можуть бути: врізання інструмента, нерівномірність припуску, неоднорідність оброблюваного матеріалу, уривчастість оброблення, слід від попереднього переходу, радіальне биття заготовки або інструмента тощо, що призводить до власних затухаючих коливань технологічної системи.

Таким чином, в початковий момент процесу різання виникають автоколивання, які стають причиною появи нерівномірної товщини зрізаного шару при наступному проході. Нерівномірна товщина призводить до нерівномірної сили різання, яка і є збурюючим чинником для появи вимушених коливань. Причому частота збурення дорівнює власній частоті коливання системи, тому ми отримуємо незгасаючі вібрації в оброблюваній технологічній системі. Це і є причиною погіршення якості оброблюваної поверхні.

При цьому, перехід від стійкого руху до автоколивань відбувається наступним чином. Різець, виведений зі стану рівноваги, починає здійснювати рухи по еліпсу (Рис. 1.1.).

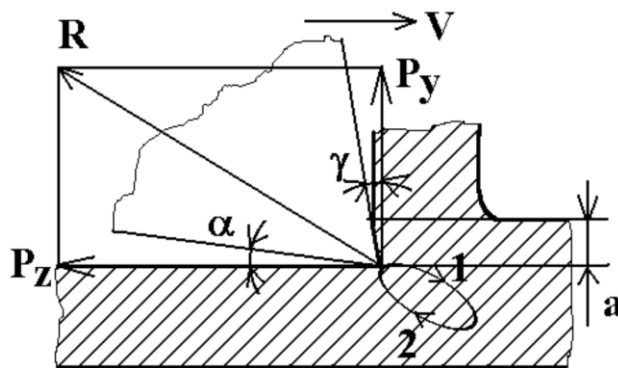


Рисунок 1.1 – Траєкторія відносного руху вершини інструменту при коливаннях

З цього можна зробити висновок, що товщина зрізаного шару не є сталою, а відповідно і значення що виходять з неї, а саме площа зрізаного

шару, і сила різання також. Для адекватного моделювання процесу різання та відлаштування від автоколивань необхідно визначити реальну товщину зрізуваного шару на одному проході.

В ході розробки бакалаврської роботи ми визначали закономірність зміни товщини зрізуваного шару, проаналізувавши вплив початкового зрушення фаз φ_{21} в першому періоді коливань перехідного процесу. Хоча в перехідному процесі коливання ТС, не є гармонійними, їх можна вважати такими впродовж одного періоду. З урахуванням цього допущення рівняння коливань сліду і вібропереміщень ТС мають вигляд відповідно

$$X_1(t) = Ax \cdot \cos \omega_x t \quad (1.1)$$

$$X_2(t) = a_H + Ax \cdot \cos(\omega_x t + \varphi_{21}), \quad (1.2)$$

де Ax і ω_x амплітуда і кругова частота вібропереміщень ТС відповідно.

Поточне значення $a(t)$ товщини зрізу визначається співвідношенням траєкторій поточного і передуючого вібропереміщень ТС:

$$a(t) = X_2(t) - X_1(t) = a_H + 2Ax \cdot \sin\left(\frac{\varphi_{21}}{2}\right) \cdot \cos\left(\omega_x t + \frac{\varphi_{21}}{2} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.3)$$

Звідси також виходить, що амплітуда коливань товщини зрізу

$$\Delta a = 2Ax \cdot \sin\left(\frac{\varphi_{21}}{2}\right) \quad (1.4)$$

У таблиці 1.1 подані розраховані значення амплітуди Δa залежно від початкового зсуву фаз φ_{21} для декількох її значень.

<i>Початкове зрушення фаз φ_{21}, рад</i>	<i>Амплітуда коливань товщини зрізу Δa, мм</i>
<i>0</i>	<i>0</i>
<i>$-\pi/2$</i>	<i>$0,707 \cdot 2Ax$</i>
<i>$-\pi$</i>	<i>$2Ax$</i>
<i>$-3\pi/2$</i>	<i>$0,707 \cdot 2Ax$</i>
<i>-2π</i>	<i>0</i>

Таблиця 1.1 – Параметри товщини шару, що зрізається

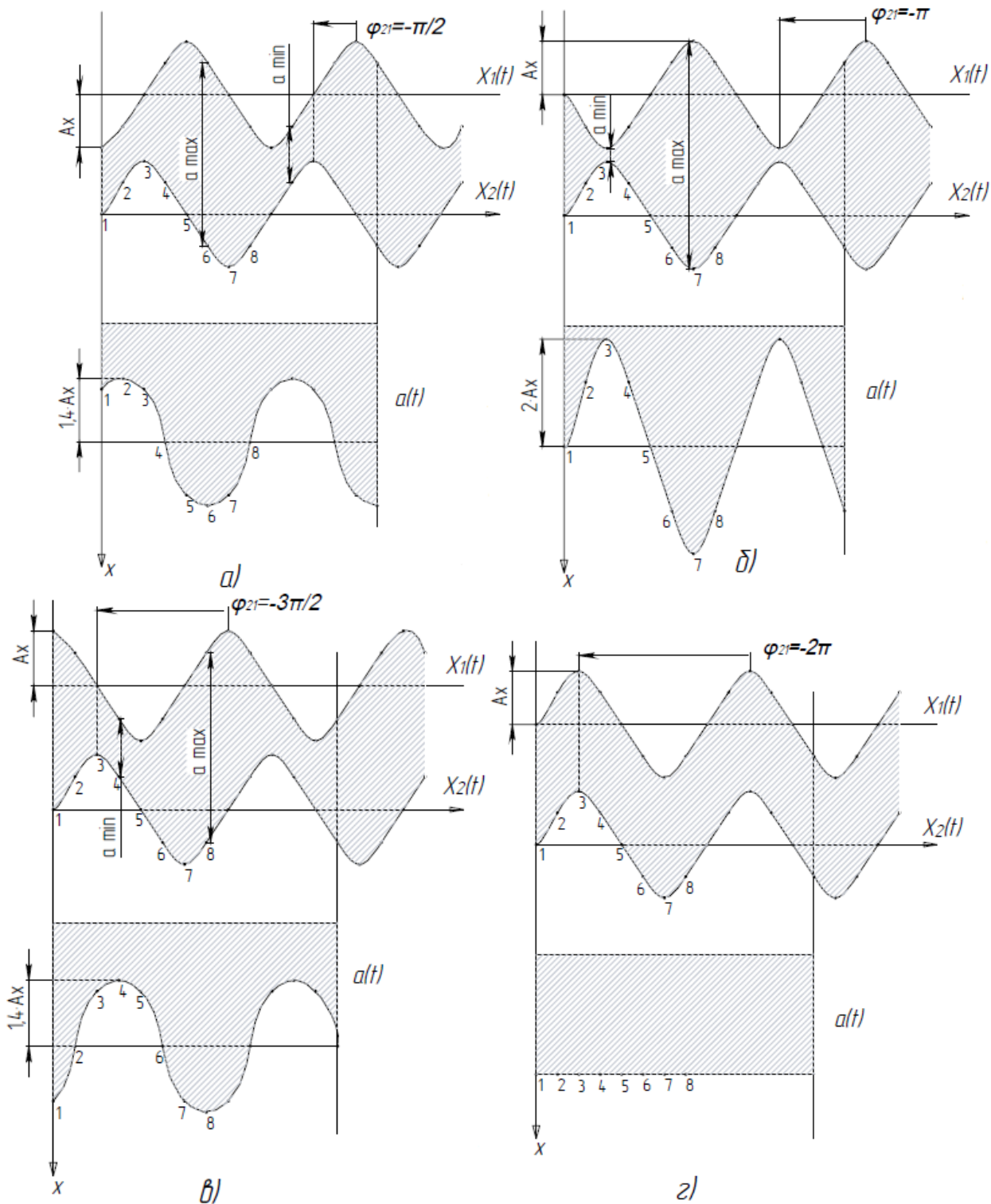


Рисунок 1.2 – Схеми відносного розташування траєкторій вібраційного сліду $X_1(t)$ і поточних коливань ТС $X_2(t)$, а також графіки зміни товщини зрізаного шару $a(t)$ при значеннях початкового зсуву фаз: а) $\varphi_{21} = -\pi/2$; б) $\varphi_{21} = -\pi$; в) $\varphi_{21} = -3\pi/2$; г) $\varphi_{21} = -2\pi$

На рисунку 1.2 приведені схеми взаємного розташування траєкторій коливань $X_1(t)$ і $X_2(t)$, графіки зміни $a(t)$ при коливаннях ТС для різних значень φ_{21} . Точками 1...8 позначені миттєві положення вершини зуба інструменту при його поточних коливаннях і значення товщини зрізу що відповідають цим положенням.

Тож, як видно на вище наведених схемах, товщина зрізуваного шару при зміщенні по фазі є несталою, лише за умов входження в резонанс, але це аж ніяк не сприяє покращенню якості поверхні, а лише навпаки, створює сприятливі умови для подальших збурень.

1.2 Можливі наслідки і негативний вплив на ТС

Оскільки виникають коливання з власною частотою, вони залишають на площині різання слід. І вже на другому проході, товщина зрізуваного шару a у нас ніщо інше як збурююча сила, при тому що вона є не постійною, а змінюється з певною гармонікою, частота якої буде відповідати власній частоті коливань. Таким чином позбутись від автоколивань не є можливим і протягом точіння всієї поверхні будуть спостерігатись значні коливання. Вони в свою чергу: руйнують опори шпинделя, руйнують інструмент і погіршують якість поверхні.

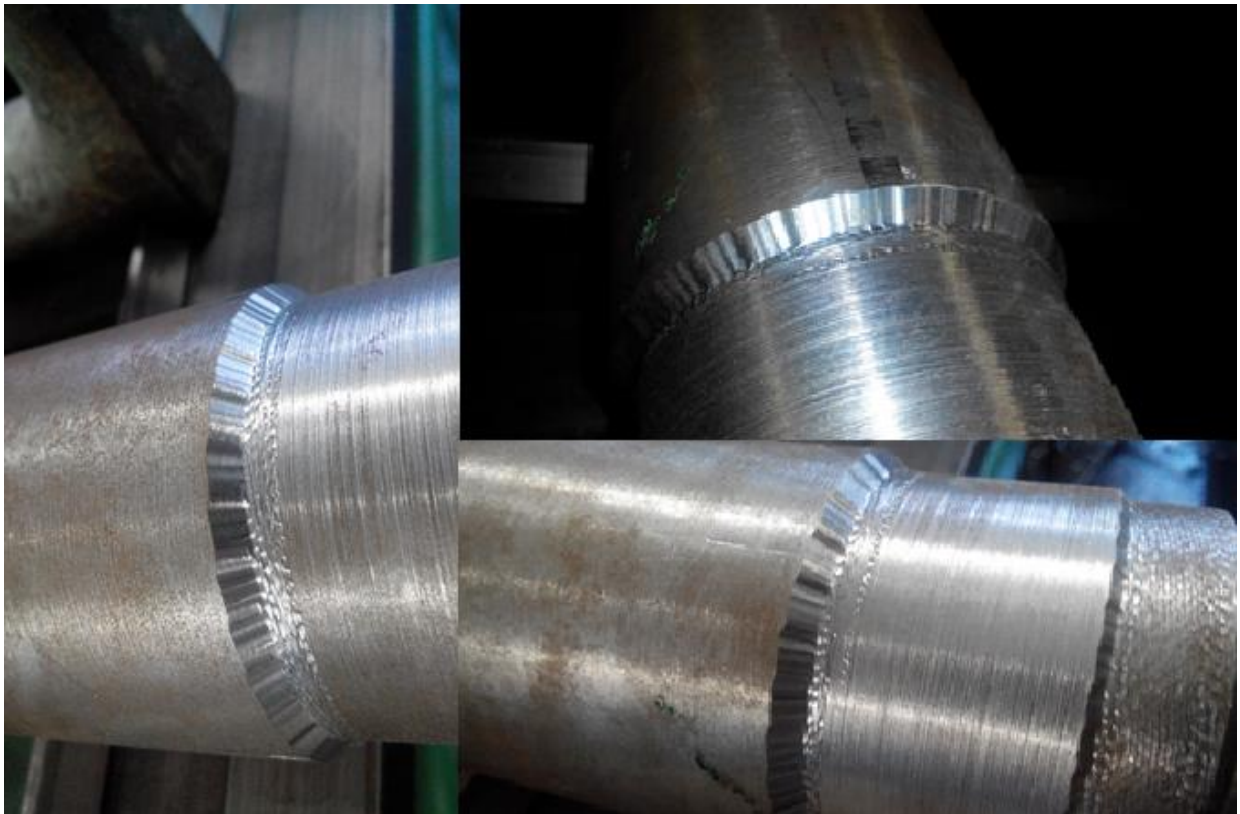


Рисунок 1.3 – Приклади деформованих заготовок внаслідок коливань в ТС

На зображеннях чітко видно деформацію і нерівномірність зрізаного шару.

Разом з цим, існує і цілий ряд способів боротьби з вібраціями при точінні, основаних на відповідному підборі режимів різання, збільшення жорсткості елементів системи, демпфування коливань та інші. Проте, в сучасних умовах постійного розширення і зміни номенклатури виробництва при широкому використанні верстатів з ЧПК способи, що засновані на експериментальному підборі оптимальних режимів різання, стають неефективними внаслідок збільшення затрат часу на технологічну підготовку виробництва. Разом з тим, існують способи гасіння автоколивань, засновані на адаптивному управлінні режимами різання безпосередньо в процесі обробки. Ряд подібних методів заснований на управлінні швидкістю різання, що достатньо просто реалізується технічно і забезпечує ефективний вплив на процес різання. Проте, в наш час, такі способи застосовуються також у вигляді регулювання на основі попередніх розрахунків, що обмежує їх застосування, оскільки не дозволяє враховувати різноманіття причин і умов виникнення автоколивань при обробленні різанням на токарних верстатах з ЧПК. При використанні таких способів в змінних умовах різання виникає необхідність відповідної періодичної зміни (коливання) режимів різання і, в першу чергу, швидкості різання, яка буде сприяти гасінню автоколивань за рахунок недопускання рівності чи кратності хвиль на поверхні заготовки і власної частоти пружної системи і виключення резонансних явищ.

1.3 Висновки

1. Динаміка процесу механічного оброблення і по сьогоднішній день лишається актуальним напрямком для досліджень. Вібрації, що виникають при різанні, як правило, лишають негативний вплив на систему верстат-пристрій-інструмент-деталь, коливання якої, в свою чергу, призводять до швидкого зносу обладнання, а також погіршення якості оброблюваної поверхні.

2. Найбільший інтерес і складність для дослідження являють автоколивання.

РОЗДІЛ II

РОЗГЛЯД ПРОБЛЕМИ НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Створена 3-D модель (рис.2.1) повністю відповідає і відображає очікуваний результат замовника. Аналіз кресленика деталі «Вал» (рис.2.2) показує, що на кресленику деталі є достатня кількість проєкцій, перерізів та видів, які дають повне уявлення про конструктивні особливості деталі.

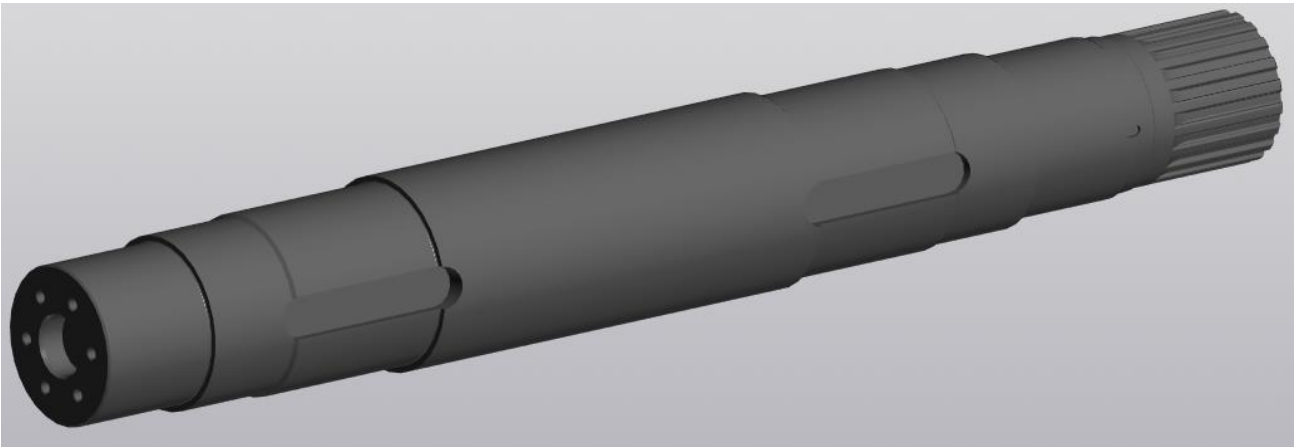


Рисунок 2.1 – 3-D модель деталі «Вал»

Відповідно до конструктивних особливостей деталь «Вал» відноситься до класу «Круглі стрижні».

Деталь має два шпонкові пази $\text{Ø}270 \times 313$ по обидва боки, малий шпонковий паз $\text{Ø}240 \times 31$, дві точні поверхні для установки підшипників $\text{Ø}240 \times 186 \text{ Ra}1,6$ та $\text{Ø}240 \times 188 \text{ Ra}1,6$, шліцева поверхня $220 \times 10 \times 9 \text{ h}$ ГОСТ 6033-80, а також шість отворів з різьбою M20-2H на торці.

Проаналізувавши кресленик деталі «Вал», було виявлено наступне:

- Габаритні розміри $2146 \times \text{Ø}290 \text{ мм}$
- Матеріал – Сталь 20X2H4A ГОСТ 4543-71

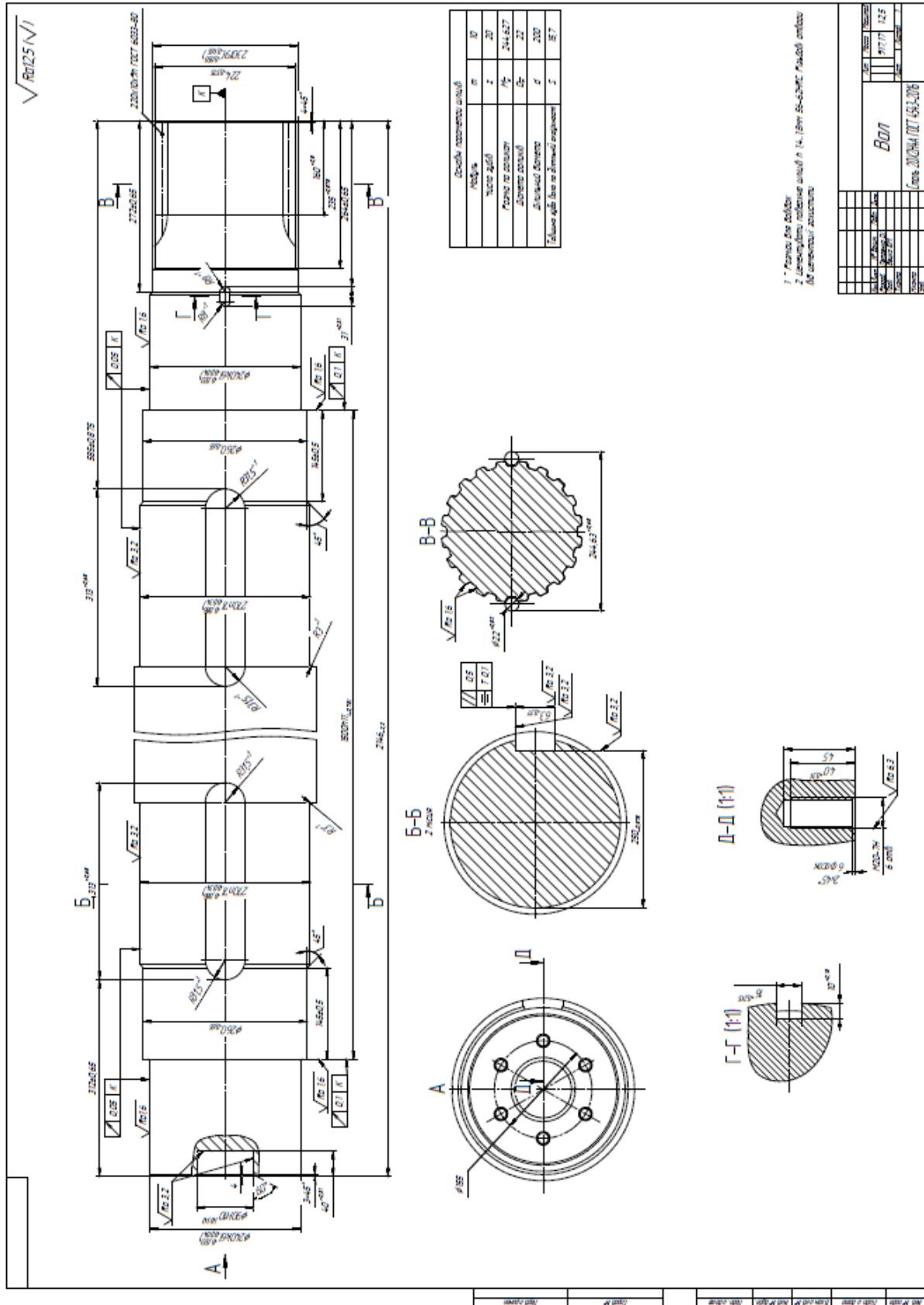


Рисунок 2.2 – Кресленик деталі «Вал»

2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Аналіз області застосування валів, свідчить, що вони використовуються в різноманітних конструкціях редукторів, варіаторів, коробках швидкостей автомобілів та інших механізмах, де використовуються зубчасті зачеплення. Нажаль в нашому випадку замовник не повідомляє додаткової інформації щодо умов роботи і призначення до застосування даного валу. Тому аналіз можливо зробити виходячи лише з його конструктивних особливостей і матеріалу заготовки, що поставляється замовником.

Масу деталі отримуємо за допомогою програмного засобу КОМПАС - 3D попередньо побудувавши тривимірну модель деталі «Вал». Маса деталі «Вал» за розрахунками складає $M_d=917,17$ кг.

2.1.3 Аналіз вибору конструктивного матеріалу

Матеріал даної деталі сталь легована хромонікелева 20X2H4A ГОСТ 4543-71. Застосовується дана марка сталі для виготовлення шестерень, вал-шестерень, пальців, цільнокатаних кілець і інших особливо відповідальних, високонавантажених деталей, до яких ставляться вимоги високої міцності, пластичності і в'язкості серцевини і високої поверхневої твердості; особливо добре піддається цементації. Деталі виконані з даної сталі добре себе показують під дією ударних навантажень і при від'ємних температурах [5].

Твердість прокату зі сталі 20X2H4A після відпалу: HB = 269.

Сталь 20X2H4A у відповідності до стандарту ГОСТ 4543-71 має наступні фізико-механічні характеристики (табл.2.1).

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні характеристики сталі 20X2H4A ГОСТ 4543-71

Границя міцності, σ_s , МПа	Твердість, HB кгс/мм ²	Густина, ρ кг/м ³	Масова частка елементів, %				
			C	Si	Mn	Cr	Ni
880	269	7850	0,16-0,22	0,17-0,37	0,3-0,6	1	3,25-3,65

2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва

Однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій (K_{30}), який визначається як відношення кількості всіх операцій, що виконуються або повинні виконуватись протягом базового відрізка

часу до загальної кількості робочих місць. Коефіцієнт закріплення операції розраховується за формулою [5]:

$$K_{з.о} = \frac{\sum_{i=1}^n ОП_i}{\sum_{j=1}^n РМ_j}$$

де $K_{з.о}$ - коефіцієнт закріплення операції, розрахований на місяць; $ОП$ - загальна кількість операцій, які виконуються на дільниці протягом місяця; $РМ$ - кількість робочих місць на дільниці, які виконують відмінні технологічні операції [5].

Проте очевидно, що для визначення коефіцієнта закріплення операцій за формулою можливо тільки для наявної дільниці цеху певної структури.

Для попереднього проектування доцільно використовувати аналогові методи визначення типу виробництва. Для цього необхідно визначити масу деталі та річний обсяг випуску.

Масу деталі знаходимо за допомогою програмного продукту КОМПАС–3D.

Відповідно до вихідних даних ($N_p = 20$ штук/рік) тип виробництва визначаємо за даними табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналогові дані для визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт		
	легкі, масою до 20кг	середні, масою (20...30)кг	важкі, масою більше 30кг
Одиничний	до 100	до 10	1...5
Малосерійний	101...500	11...200	6...100
Середньо серійний	501...5000	201...1000	101...300
Велике серійний	5001...50000	1001...5000	301...1000
Масовий	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Для маси деталі $M_d = 917,17$ кг. та річного обсягу випуску $N_p = 20$ штук на рік тип виробництва буде малосерійним.

Для малосерійного типу виробництва встановлено, що коефіцієнт закріплення операцій визначається наступним діапазоном $20 < K_{з.о} \leq 40$. Для

подальшого вирішення завдань технологічного підготовки виробництва, приймаємо величину коефіцієнта закріплення операцій $K_{30} = 35$.

Тип виробництва для традиційного машинобудівного виробництва визначає вид верстатного обладнання, інструментального забезпечення, систему верстатних пристроїв та певну систему проектування технологічних процесів. Враховуючи що в сучасному машинобудівному виробництві все більше використовують верстатні системи числового програмного керування (ЧПК), то вплив типу виробництва на технологічне проектування значно зменшується, оскільки такі верстати мають широкі технологічні можливості, високу гнучкість і забезпечуються спеціалізованими системами пристроїв та системами інструментального забезпечення, а відповідно вимагають проектування операційного технологічного процесу (управляючих програм) незалежно від типу виробництва [5].

2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність - це властивість виробу, що забезпечує якомога простішу реалізацію технологічного процесу.

Відпрацювання деталі на технологічність представляє собою комплекс заходів по забезпеченню необхідного рівня технологічності конструкції по встановленим показникам, направлена на підвищення продуктивності праці, зниженню витрат і скорочення часу на виготовлення виробу з забезпеченням належного рівня якості.

Оцінка технологічності може бути двох видів:

- якісна;
- кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено на основі досвіду і допускається на усіх етапах проектування як попередня [3].

Кількісна оцінка технологічності виробу виражається числовими показниками і раціональна у тому випадку коли ці показники значно впливають на технологічність виробу.

Елементи, які на даному етапі або заданих умов виробництва не можуть бути оброблені з використанням наявного обладнання та інструментального забезпечення, слід вважати нетехнологічними. В наш час верстати з ЧПК практично знімають проблему технологічності конструкції виробу, оскільки їх технологічні можливості в сукупності з системою керування верстатом практично не мають обмежень на конструктивні особливості деталей машин.

Технологічні можливості верстатів з ЧПК та їх інструментальне забезпечення дозволяє обробляти майже будь які конструктивні елементи деталей [5].

З аналізу деталі «Вал» можна зробити висновок, що деталь технологічна:

- конструкція деталі складається з простих поверхонь, оброблення яких не потребує складного спеціального різального інструменту;
- конструкція деталі забезпечує вільний доступ вимірювального та різального інструменту до поверхні, що обробляється;
- достатня жорсткість деталі допускає роботу з використанням високих режимів різання;
- всі оброблювані поверхні чи отвори паралельні або розташовані під прямим кутом один до одного;
- базові поверхні мають велику протяжність.

2.4 Проектування конструкції заготовки

Важливим етапом підготовки до проектування технологічного процесу виготовлення деталей машин, який значною мірою визначає всі наступні рішення, є етап вибору виду та способу виготовлення заготовки. Вибір виду та способу виготовлення заготовки визначає величину припусків для оброблення поверхонь, особливості видалення поверхневих шарів матеріалу на етапі чорнового оброблення, величину залишкових напружень, які будуть вимагати включення в технологічний процес операцій термічного оброблення для їх зменшення та вирівнювання в поперечних перерізах робочих поверхонь [5].

Заготовки деталей класу «Круглі стрижні» виготовляють наступними методами :

- 1) Гарячекатаний або холодноотягнутий прокат;
- 2) Поковки;
- 3) Штамповки в закритих та відкритих штампах;
- 4) Ротаційне обтиснення;
- 5) Деталепрокатування.

Оскільки перепад діаметрів на даному валу є невеликим, то в якості технології виготовлення заготовки приймаємо прокат. Діаметр заготовки $\varnothing 300 \pm 6$ і довжина 2150 ± 4 . Побувавши приблизну 3D-модель заготовки, її масу приймаємо рівною $M_3 = 1190,78$ кг.

Ескіз заготовки наведено на рис. 2.3.

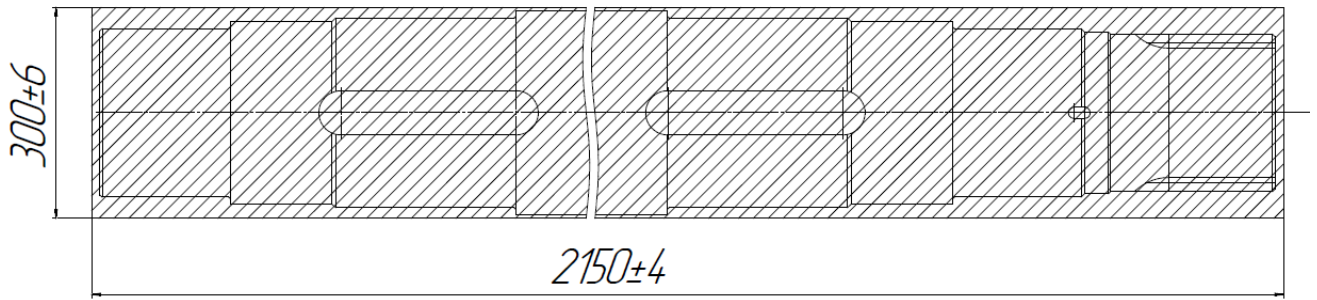


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки деталі «Вал»

2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі

Алгоритм вибору баз передбачає вибір: на першому етапі – вибір загальних технологічних баз (ЗТБ), на другому – вибір технологічних баз для перших операцій.

2.6 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

Вихідними даними для вибору ЗТБ є робочий кресленик деталі і вузла, в який входить задана деталь. Для обґрунтування необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням [5].

Конструкції будь-якої деталі можна представити як сукупність чотирьох видів поверхонь:

- основні конструкторські бази (ОКБ);
- допоміжні конструкторські бази (ДКБ);
- кріпильні поверхні (КП);
- вільні поверхні (ВП);

Класифікація поверхонь деталі «Вал» за службовим призначенням наведена на рис.2.4.

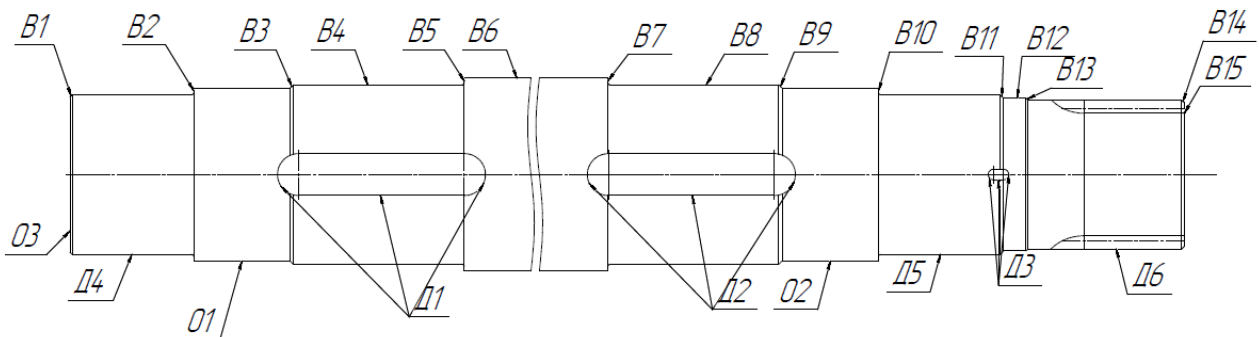


Рисунок 2.4 - Класифікація поверхонь деталі «Вал» за службовим призначенням

- ОКБ - поверхні деталі, які визначають положення даної деталі в складальній одиниці або вузлі. Основною конструкторською базою деталі «Вал» є циліндричні поверхні O1 та O2, прилегла торцева поверхня O3.
- ДКБ - поверхні деталі, які визначають положення приєднаних до неї деталей. Допоміжними конструкторськими базами є циліндрична поверхні D4, D5, поверхні шпонкових пазів D1, D2, D3 та шліцева поверхня D6.
- КП - поверхні деталей, які забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.
- ВП – додаткові поверхні деталі, які створюють єдиний геометричний образ деталі. Інші поверхні є вільними поверхнями В1-В15.

Основною конструкторською базою деталі «Вал» є зовнішні циліндричні поверхні O1, O2 та прилегла торцева поверхня O3.

У відповідності до алгоритму обґрунтування технологічних баз, перевіряємо можливість використання поверхонь основних конструкторських баз в якості загальних технологічних баз (ЗТБ) [5].

Поверхні основних конструкторських баз деталі «Вал» неможливо використати в якості загальних технологічних баз, а саме ОКБ \neq ЗТБ. Тому треба вибрати допоміжні технологічні бази (ДТБ), які можуть бути використані в якості загальних технологічних баз. Допоміжними технологічними базами можуть бути елементи, які існують в реальній конструкції деталі або формуються у вигляді додаткових поверхонь деталі, які не змінюють службового призначення деталі та не погіршують її експлуатаційні характеристики. Такими поверхнями в технологічних процесах виготовлення валів є центрові отвори (вони залишаються в конструкції деталі після її виготовлення для подальшого ремонту та відновлення робочих поверхонь складних високовартісних валів), які додатково виготовляються в зовнішніх торцевих поверхнях валу на перших технологічних операціях або переходах. Центрові отвори можуть бути використані для оброблення всіх поверхонь валу і залишаються незмінними для всіх операцій технологічного процесу. З використанням центрових отворів можуть бути реалізовані дві схеми базування по загальним технологічним базам (рис.2.5 та рис.2.6) [5].

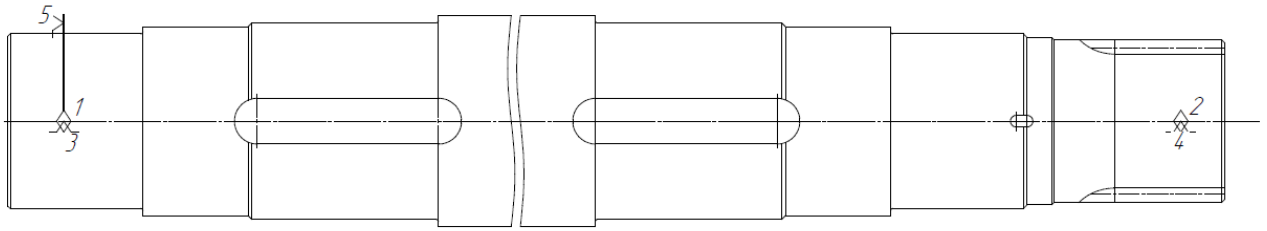


Рисунок 2.5 - Теоретична схема базування деталі «Вал» по загальним технологічним базам

Структурна формула схеми базування по загальним технологічним базам (рис.2.5) має вид:

$$СБ_{зТБ} \Rightarrow ПН(4)+О(1) \quad (2.1)$$

Схема базування (рис.2.5) реалізується за допомогою двох центрів, які не можуть забезпечити компенсацію похибки виготовлення базових центрових отворів. Такі центри називають «жорсткими». Оброблення всіх поверхонь обертання валу за такої схеми базування буде забезпечувати їх співвісність, що важливо для забезпечення просторового розташування поверхонь валу, але при обробленні торцевих поверхонь така схема базування обумовлює похибку базування на лінійні розміри поверхонь, яка буде визначатись точністю виготовлення центрових отворів, а саме допуском на глибину центрових отворів та допуском на кут конічної поверхні [5].

Якщо вимоги до точності лінійних розмірів робочих поверхонь валу можуть бути забезпечені такою схемою базування, то її необхідно використовувати в технологічному процесі. За умови не забезпечення точності лінійних розмірів необхідно застосувати другу можливу схему базування по центровим отворам (рис.2.6).

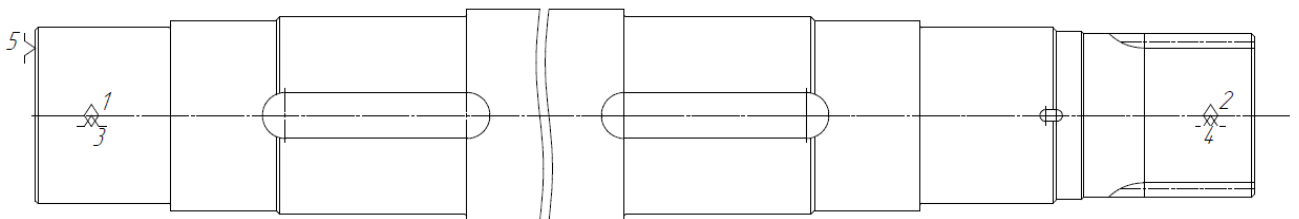


Рисунок 2.6 - Теоретична схема базування деталі «Вал» по загальним технологічним базам

Структурна формула схеми базування по загальним технологічним базам (рис.2.6) має вид:

$$CB_{зТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (2.2)$$

Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає використання переднього центра спеціальної конструкції «рухомого центру», який забезпечує похибку базування на лінійні розміри, яка дорівнює нулю ($\varepsilon_{\delta} = 0$).

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» будемо використовувати схему базування по загальним технологічним базам (рис.2.6).

2.7 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій

Необхідно визначити схему базування для перших технологічних операцій. Загальною вимогою до всіх можливих схем базування є забезпечення оброблення комплексу поверхонь загальних технологічних баз.

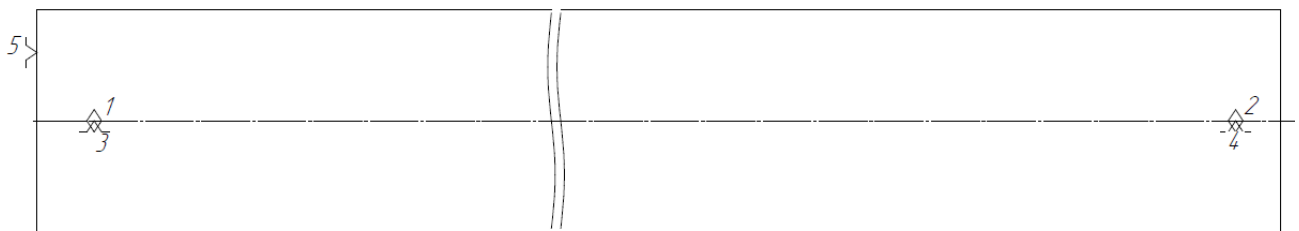


Рисунок 2.7 - Теоретична схема базування деталі «Вал» по технологічним базам

Структурна формула схеми базування по технологічним базам (рис.2.7) має вид:

$$CB_{ТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (2.3)$$

Конструктивна реалізації такої схеми базування (рис. 2.7) передбачає установку заготовки валу в призмах. Використовується два комплекти призм, в яких одна призма є рухомою, а друга нерухомою. Конструкція такого верстатного пристрою є простою, але характеризується похибкою розміщення вісі валу, яка знаходиться в горизонтальній площині, що обумовлює створення

нерівномірних припусків на поверхнях заготовки для початкового етапу оброблення [5].

Для підвищення точності просторової розташованості допоміжної технологічної бази доцільно використовувати схему базування, яку наведено на рис. 2.8.

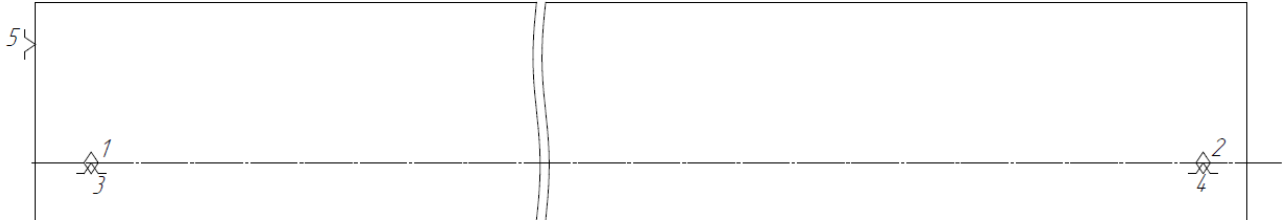


Рисунок 2.8 - Теоретична схема базування деталі «Вал» по технологічним базам

Структурна формула схеми базування по технологічним базам має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (2.4)$$

Конструктивна реалізації такої схеми базування передбачає установку заготовки валу в самоцентрувальних призмах, або інших самоцентрувальних пристроях, які незалежно від допусків розмірів на базові поверхні забезпечують правильну просторову розташованість їх осей, що визначає похибку базування, яка дорівнює нулю, але потребує значного ускладнення конструкції верстатного пристрою [5].

2.8 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі

Оскільки наша деталь має доволі складну конструкцію, а відповідно і велику кількість технологічних переходів. Також, слід зауважити, що більше всього, відповідно до тематики дисертації, нас цікавлять початкові чорнові операції, яким характерна велика глибина зрізаного шару і складність забезпечення необхідної якості поверхні. Тож далі буде наведено лише загальну послідовність оброблення з нумерацією операцій:

005 Фрезерно-центрувальна

010 Токарна

015 Токарна

020 Термічна

025 Центрошліфувальна
030 Токарна
035 Токарна
040 Шліфувальна
045 Шліфувальна
050 Зубоформувальна
055 Шліцеформувальна
060 Свердлильна
065 Шпонково-фрезерна
070 Фрезерна
075 Термічна
080 Базовідновлювальна
085 Шліцешліфувальна
090 Мийочна
100 Контрольна

2.9 Розрахунок режимів різання

2.9.1 Аналіз вихідних даних

У відповідності до завдання, заготовка виготовлена з легованої сталі 20Х2Н4А ГОСТ 4543-71, яка має такі фізико-механічні властивості: границю міцності $\sigma_s=880\text{МПа}$; твердість 269НВ.

2.9.2 Вид заготовки, визначення розмірів, відхилень та її ескіз

Метод виготовлення заготовки встановлюється в вихідних даних. У відповідності до вихідних даних завдання, метод виготовлення заготовки (1)- це гарячекатаний прокат звичайної точності [8].

Відповідно до заданого методу виготовлення заготовки, визначаємо розміри її поверхні. Попередньо визначаємо діаметр заготовки $D_3=300\text{мм}$ (при $D=290$ і $l=2146$ мм). Визначаємо допустимі відхилення на виготовлення заготовки даним методом для даного діаметру ($D_3=300\text{мм}$), вони становлять $(\pm 6,0)\text{мм}$.

З урахуванням відхилень на виготовлення заготовки, найбільший розмір заготовки складає:

$$d_{\text{заг. max}} = d_n + \Delta/2 = 300 + 6 = 306 (\text{мм}) \quad (2.5)$$

де d_n - номінальний діаметр обробленої деталі.

2.9.3 Формування умов оброблення

Вибір верстатного обладнання для оброблення заготовки

Враховуючи розміри заготовки ($\varnothing 300$ та $l = 2150\text{мм}$), а саме її діаметр та довжину, обираємо токарний верстат, який може забезпечити оброблення заготовок таких розмірів.

Розглянемо можливість виконання оброблення на верстаті моделі PROTON XL-660.30, який, виходячи з паспортних даних, за розмірами робочої зони дозволяє виконувати таке оброблення.

Таблиця 2.3 - Паспортні характеристики токарного верстату моделі PROTON XL-660.30

№ п/п	Основні технічні характеристики		Діапазон зміни параметрів
1	Найбільший діаметр оброблення, мм	над станиною	660
		над супортом	370

2	Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм		3000
3	Діапазони безступеневої зміни частоти обертання шпинделя, об/хв	мінімальний	(25-75)
			(76-165)
		максимальний	(166-540)
			(541-1200)
4	Діапазон зміни подачі, м/хв	за віссю -X	(0-3)
		за віссю -Z	(0-6)
5	Величина переміщення за координатами, мм	за віссю -X	400
		за віссю -Z	3000
6	Найбільше зусилля, що допускається механізмом поздовжньої подачі, $[P_z]_{\text{мл}}$, Н		24000
7	Потужність двигуна головного приводу верстату N_d , кВт		18
8	Найбільші розміри державки різця, Н×В		32x32
9	Наскрізний отвір в шпинделі верстату \varnothing , мм		104
10	Маса верстату, кг		6500

2.9.4 Вибір інструментального матеріалу, типу інструменту та його геометричних параметрів різальної частини

Розрахунок режимів різання виконується для умов попереднього чорнового оброблення, що визначається вихідними умовами. У відповідності до методу виготовлення заготовки, вона може мати нерівномірний припуск в процесі оброблення, але процес різання буде неперервним [8].

З урахуванням визначених умов оброблення, можуть бути застосовані наступні інструментальні матеріали: металокерамічні тверді сплави Т15К6, Т14К8, Т5К10 та швидкорізальні сталі Р9М4К8, Р6М5К5, які є найбільш ефективними при обробленні заготовок, що виготовлені зі сталей.

Попередньо для умов чорнового оброблення приймаємо твердий сплав Т14К8. У відповідності до геометричних особливостей поверхні, що оброблюється, приймаємо прохідний відігнутий різець [8].

Форму заточування передньої поверхні визначаємо з урахуванням вибраного інструментального матеріалу, фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу та типу стружки, що може утворюватися в процесі різання [8].

При попередньому чорновому обробленні легованої сталі та з урахуванням вихідних умов оброблення буде утворюватися зливна стружка, яка потребує її цілеспрямованого завивання, відведення та руйнування, що може забезпечуватись криволінійною формою передньої поверхні з додатковою фаскою, ескіз якої наведено на рис.3.3 [8].

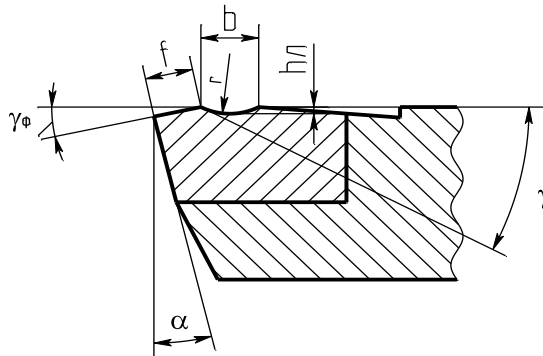


Рисунок 2.9–Ескіз форми заточування передньої поверхні різального інструменту

Таку форму заточування передньої поверхні доцільно застосовувати при обробленні пластичних матеріалів, в першу чергу, сталей з глибиною різання в діапазоні $h = (1 \dots 8)$ мм та подачею $S \geq 0,3$ мм/об. Завивання стружки здійснюється спеціальною лункою на передній поверхні, яка має такі геометричні характеристики: $b_{л} = (2 \dots 2,5)$ мм, $r_{л} = (4 \dots 6)$ мм, $h_{л} = (0,1 \dots 0,15)$ мм [8].

2.9.5 Визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту

Основні геометричні параметри різальної частини визначаємо за даними .При обробленні сталі та сталюого литва з $\sigma_s = 800-1000$ МПа приймаємо: передній кут $\gamma = 12^\circ$; головний задній кут $\alpha = 9^\circ$; при жорсткій технологічній системі головний кут в плані $\varphi = 45^\circ$; допоміжний кут в плані $\varphi_I = 15^\circ$; кут нахилу головної різальної кромки $\lambda = 9^\circ$; радіус вершини $r_g = 1,0$ мм, ширина фаски $f = 0,6$ мм, кут зміцнювальної фаски $\gamma_\varphi = -9^\circ$ [8].

Ескіз різального інструменту наведено на рис.2.10.

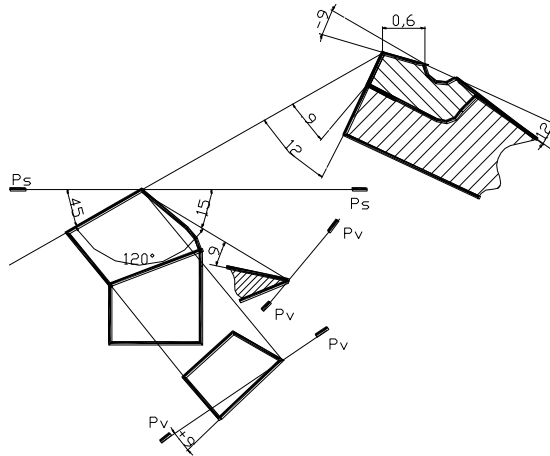


Рисунок 2.10–Ескіз прохідного відігнутого різця та геометричні параметри його різальної частини

2.9.6 Визначення схеми установки заготовки

Для розрахунку режимів різання необхідно прийняти схему установки заготовки. Вибір схеми установки заготовки встановлюємо за співвідношенням діаметра заготовки та її довжини. Оскільки співвідношення, $l/d=2150/300 = 7,16$, то необхідно застосувати двоопорну установку заготовки. Для попереднього чорнового оброблення приймаємо установку заготовки в патроні та задньому центрі. Ескіз установки заготовки та розрахункову схему наведено на рис.2.11 [8].

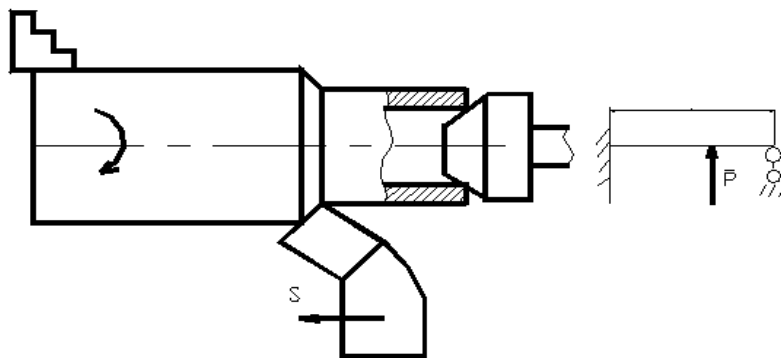


Рисунок 2.11-Ескіз установки заготовки та її розрахункова схема

2.9.7 Розрахунок складових режиму різання

Розрахунок складових режиму різання для лезових різальних інструментів передбачає послідовний розрахунок глибини різання, поздовжньої подачі та швидкості різання [8].

2.9.8 Визначення глибини різання

Відповідно до досліджуваної теми, нам потрібно розрахувати режими для попереднього чорнового етапу оброблення, що потребує визначення найбільшої глибини різання. Чорнове оброблення найбільш ефективно виконувати за один робочий хід $i=1$, відповідно до цього, глибина різання буде дорівнювати:

$$h=(d_{заг.мах}-d_H)/2=(306 - 290)/2 = 8(мм) \quad (2.6)$$

Для подальших розрахунків, приймаємо $h = 8$ мм

2.9.9 Визначення подачі за силами, що допускаються елементами технологічної системи оброблення

2.9.9.1 Сила різання $[P_z]_{МЗ}$, яка допускається міцністю заготовки

$$[P_z]_{МЗ} = W \cdot [\sigma_{\epsilon z}] / F(l) \cdot \sqrt{1 + \epsilon^2} \quad (2.7)$$

де W -момент опору перерізу заготовки, $м^3$; $[\sigma_{\epsilon z}]$ -допустиме напруження матеріалу заготовки на вигин, Па; функція $F(l)$, що відповідає найбільшому значенню згинального моменту, Нм; ϵ -співвідношення радіальної складової сили різання P_y до P_z , ця величина знаходиться в діапазоні $\epsilon=(0,4\dots 0,8)$. $W=Пd^3(1-\beta^3)/32$, де $\beta=d_{вн}/d$, $d_{вн}$ - внутрішній діаметр заготовки, d -зовнішній діаметр заготовки [8].

При застосуванні установки в патроні та задньому центрі, приймаємо d -номінальний діаметр обробленої поверхні.

$$W=3,14 (0,3)^3 [1-(0/0,3)^3]/32=264,93 \times 10^{-5}(м^3)$$

$$[\sigma_{\epsilon z}]=\sigma_B/\kappa_3=880 \times 10^6/4=220 \times 10^6(Па)$$

$$F(l)=l/4=2,15/4=5,35 \times 10^{-1}(м)$$

$$\sqrt{1 + \epsilon^2} = \sqrt{1 + 0,5^2} = 1,118$$

Відповідно з урахуванням значень складових величин, отримаємо:

$$[P_z]_{МЗ} = 264,93 \cdot 10^{-5} \cdot 220 \cdot 10^6 / (5,35 \cdot 10^{-1} \cdot 1,118) = 974447(Н) \quad (2.8)$$

2.9.9.2 Сила різання $[P_z]_{ЖЗ}$, яка допускається жорсткістю заготовки

Сила різання, яка допускається жорсткістю заготовки, визначається за формулою:

$$[P_z]_{ЖЗ} = C \cdot E \cdot I \cdot [\Delta y] / (\epsilon \cdot l^3) \quad (2.9)$$

де C -коефіцієнт, що враховує установку заготовки; E -модуль пружності, Па; I - момент інерції, м⁴; $[\Delta y]$ - допустимий прогин заготовки.

Для заготовок, які виготовлені зі сталі можна прийняти $E=210\text{ГПа}=2,1\times 10^{11}\text{Па}$.

Для круглого перерізу:

$$I = \pi d^4 (1 - \beta^4) / 64 = 3,14 \times (0,3)^4 \times [1 - (0/0,3)^4] / 64 = 39,7 \times 10^{-5} (\text{м}^4)$$

Точність оброблення заданої поверхні за вихідними даними завдання $\varnothing 290h12$.

Відповідно за довідниковими даними допуск на оброблення складає $Td=0,52\text{мм}$.

З аналізу технологічних методів забезпечення точності оброблення встановили, що допустимий прогин заготовки може складати: $[\Delta y] = (0,25 \dots 0,5)Td$.

Приймаємо $[\Delta y] = 1/2 Td = 0,5 \times 0,52 \times 10^{-3} = 0,26 \times 10^{-3} (\text{м})$

Відповідно з урахуванням всіх даних, отримаємо:

$$[P_z]_{\text{жз}} = 102 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 39,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 2,15^3 = 444493,6 (\text{Н}) \quad (2.10)$$

2.9.9.3 Сила різання $[P_z]_{\text{мн}}$, яка допускається механізмом подач верстату

Сила різання, яка допускається механізмом подач верстату визначається за формулою:

$$[P_z]_{\text{мн}} = 1,50 \cdot [P_n] \quad (2.11)$$

де $[P_n]$ - сила, яка допускається міцністю зубців рейкової шестерні механізму поздовжньої подачі верстату. Значення цієї сили є технічною характеристикою верстата і повинна приводитись в технічному паспорті верстата. Для верстату PROTON XL-660.30 найбільше зусилля, яке допускається механізмом поздовжньої подачі складає $[P_n] = 24000\text{Н}$.

Відповідно, отримаємо:

$$[P_z]_{\text{мн}} = 1,50 \cdot 24000 = 36000 (\text{Н}) \quad (2.12)$$

2.9.9.4 Сила різання $[P_z]_{\text{др}}$, яка допускається міцністю державки різця

$$[P_z]_{\text{др}} = H^2 \cdot B \cdot [\sigma_{\text{вг}}] / 6 \cdot l \quad (2.13)$$

де H - висота державки різця, м; B - ширина державки різця, м; $[\sigma_{\text{вг}}]$ - допустиме напруження матеріалу державки на вигин, Па; l -виліт державки різця з різцетримача, м.

Для верстата PROTON XL-660.30 за паспортними даними найбільші розміри державки різця, яка може бути встановлена в різцетримачі, складають $H \times B = 32 \times 32\text{мм}$.

Державки лезових різальних інструментів виготовляють із конструкційних сталей 45 та легованих 40Х з застосуванням термічного оброблення. Для таких матеріалів можна приймати границю міцності $[\sigma_{62}] = 240 \times 10^6$ Па [8].

При установленні різальних інструментів в різцетримачі доцільно встановлювати його виліт, що не перевищує $l = 1,5 \times H(m)$, а саме: $l = 1,5 \times 32 \times 10^{-3} = 4,8 \times 10^{-2}(m)$.

Відповідно, отримаємо:

$$[P_z]_{op} = \frac{(32 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 240 \cdot 10^6}{6 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2}} = 27306,7(H) \quad (2.14)$$

2.9.9.5 Сила різання $[P_z]_{nl}$, що допускається міцністю різальної пластини

Розраховується за емпіричною формулою:

$$[P_z]_{nl} = 340 \cdot h^{0,77} \cdot C^{1,35} \cdot \left(\frac{\sin 60}{\sin \varphi} \right)^{0,8} \quad (2.15)$$

де h - глибина різання, мм; C - товщина пластини, мм; φ - головний кут в плані, град.

Для державки інструменту з розмірами $H \times B = 32 \times 32$ мм розміри пластини можуть складати: $l = 25$ мм; $b = 14$ мм; $C = 8$ мм.

Відповідно, отримаємо:

$$[P_z]_{nl} = 340 \cdot 5,6^{0,77} \cdot 8^{1,35} \cdot \left(\frac{\sin 60}{\sin 45} \right)^{0,8} = 340 \cdot 3,767 \cdot 16,564 \cdot 1,176 = 24948,65(H) \quad (2.16)$$

2.9.9.6 Сила різання $[P_z]_{zy}$, яка допускається навантаженням на центр задньої бабки

Специфіка оброблення обумовлює використання заднього центру, що обертається. Відповідно до вибраної конструкції заднього центру, зокрема нормальної або посиленої серії за паспортними даними визначаємо найбільше радіальне навантаження, що допускають підшипники [8].

Оскільки немає можливості дізнатись який саме задній центр по замовчуванню встановлено на обраний нами верстат PROTON XL-660.30, тож обираємо задній центр з каталогу типових задніх центрів від Sandvik Coromant 90-SV-6-65065, який має конус Морзе 6, допускає найбільшу частоту обертання центрального валу $n \leq 1000$ об/хв та найбільше допустиме навантаження $[P_y] = 35000$ Н.

Для підвищення надійності процесу оброблення з урахуванням зношування інструменту, що супроводжується зростанням складових сили різання, особливо радіальної складової, необхідно приймати співвідношення між радіальною P_y та головною складовою сили різання в такому діапазоні $\varepsilon_{zy} = P_y/P_z = (0,8-1,2)$ для чорнового оброблення та $\varepsilon_{zy} = P_y/P_z = (1,0-1,6)$ для чистового та завершального оброблення.

Для заданих умов оброблення, приймаємо $\varepsilon_{zu}=0,8$

Відповідно, отримаємо:

$$[P_z]_{zu} = \frac{[P_y]_{zu}}{0,8} = \frac{35000}{0,8} = 43750(H) \quad (2.17)$$

В результаті розрахунків, отримали такі значення головної складової сили різання

$$[P_z]_{mz} = 974\,447H; [P_z]_{вкс} = 444\,493,6H; [P_z]_{mn} = 36\,000H; [P_z]_{op} = 27\,306,7H;$$

$$[P_z]_{nl} = 24\,948,65H; [P_z]_{zu} = 43\,750H.$$

Найменше значення сили різання, яка допускається в прийнятій технологічній системі оброблення для прийнятих умов обмежується значенням $[P_z]_{zu} = 24\,948,65H$.

Подача, яка допускається найменшою силою різання визначається за формулою:

$$[S] = \left(\frac{[P_z]}{C_{pz} \cdot h^{x_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} K_{pz}} \right)^{1/y_{pz}} \quad (2.18)$$

Визначаємо коефіцієнт пропорційності та показники степеня для оброблюваного матеріалу, вони складають: $C_{pz}=3000$; $x_{pz}=1,0$; $y_{pz}=0,75$; $n_{pz}=-0,15$; Для вибраного інструментального матеріалу Т14К8 діапазон швидкості різання складає $V=(80\dots120)$ м/хв. Прийmemo $V=100$ м/хв. K_{pz} -поправочний коефіцієнт на змінні умови різання визначається за формулою:

$$K_{mpz} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{0,75} = \left(\frac{880}{750} \right)^{0,75} = 1,127 \quad (2.19)$$

Поправочні коефіцієнти, які враховують вплив геометричних параметрів різального інструменту на силу різання: $K_{\varphi_{pz}} = 1,0$; $K_{\gamma_{pz}} = 1,0$; $K_{\lambda_{pz}} = 1,0$; $K_{re} = 0,93$.

Звідси, отримаємо, що поправочний коефіцієнт на змінні умови оброблення дорівнює: $K_{pz} = 1,127 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,048$

Відповідно, отримаємо:

$$[S]_{pz} = \left(\frac{24948,65}{3000 \cdot 8 \cdot 100^{-0,15} \cdot 1,048} \right)^{1/0,75} = 2,48 \text{ (мм/об)} \quad (2.20)$$

2.9.10 Визначення подачі за параметрами шорсткості поверхні, що встановлені креслеником деталі

Подачу, яка визначається параметрами шорсткості поверхні можна розрахувати за формулою:

$$[S]_{\text{ш}} = R_z \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1} \quad (2.21)$$

Для даних умов оброблення маємо: $R_z = 4 \cdot R_a = 4 \cdot 0,04 = 0,16$ (мм); $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$;
Відповідно, отримаємо:

$$[S]_{\text{ш}} = 0,16 \cdot \left(\frac{1 + 0,268}{1 \cdot 0,268} \right) = 0,757 \text{ (мм/об)} \quad (2.22)$$

За результатами розрахунків отримали два значення подач, які обмежуються умовами процесу оброблення, а саме: $[S]_{\text{pz}} = 2,48$ мм/об та $[S]_{\text{ш}} = 0,757$ мм/об.

Для подальших розрахунків приймаємо менше значення подачі, що допускається, а саме $[S]_{\text{ш}} = 0,757$ мм/об.

2.9.11 Визначення швидкості різання за різальними властивостями інструменту

Швидкість різання, яка допускається вибраним інструментальним матеріалом, визначається за формулою:

$$[V]_{\text{ш}} = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot h^{x_v} \cdot S^{y_v}} \quad (2.23)$$

де за довідниковими даними для вибраних умов процесу оброблення будемо мати: $C_v = 340$; $T_n = 15$ хв при токарному обробленні; $m = 0,20$ для металокерамічних твердих сплавів (МТС); $x_v = 0,15$; $y_v = 0,45$, якщо $[S] > 0,7$ мм/об.

Поправочний коефіцієнт на фізико-механічні характеристики матеріалу для вуглецевої та легованої конструкційної сталі при обробленні МТС з урахуванням границі міцності оброблюваного матеріалу визначається за формулою:

$$K_{mv} = \frac{750}{\sigma_s} = \frac{750}{880} = 0,85 \quad (2.24)$$

K_{nv} - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання. Для заготовок, що виготовлені методом прокату $K_{nv} = 0,9$.

K_{iv} - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив марки інструментального матеріалу на швидкість різання. При обробленні конструкційних сталей та сталевих литва твердосплавним інструментальним матеріалом марки Т14К8, поправочний коефіцієнт на інструментальний матеріал буде складати $K_{iv} = 0,8$.

Поправочні коефіцієнти, які враховують вплив геометричних параметрів різального інструменту на швидкість різання. Для головного кута в плані $\varphi = 45^\circ$, $K_{\varphi v} = 1,0$; для допоміжного кута в плані $\varphi_1 = 15^\circ$, $K_{\varphi_1 v} = 0,97$; для радіуса вершини $r_B = 1,0$, $K_{rv} = 0,94$; для перерізу державки різця $H \times B = 32 \times 32$, $K_{sv} = 1,04$ [8].

Тоді загальний поправочний коефіцієнт визначається за загальною формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi_1 v} \cdot K_{rv} \cdot K_{sv} \quad (2.25)$$

$$K_v = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,97 \cdot 0,94 \cdot 1,04 = 0,58 \quad (2.26)$$

Відповідно, для розрахунків приймаємо $K_v=0,58$.

З урахуванням розрахованого поправочного коефіцієнта, отримуємо швидкість різання, яка допускається вибраним інструментальним матеріалом:

$$[V]_i = \frac{340 \cdot 0,58}{15^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 0,757^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,58}{1,72 \cdot 1,366 \cdot 0,882} = 95,16 (\text{м/хв}) \quad (2.27)$$

2.9.12 Визначення швидкості різання за потужністю головного приводу верстату

Враховуючи високу вартість верстатного обладнання, необхідно використовувати в повному обсязі потужність двигуна головного приводу верстату. Відповідно, швидкість різання, яка допускається потужністю двигуна головного приводу верстату буде визначатись за формулою:

$$[V]_e = \left\{ \frac{60000 \cdot N_d \cdot \eta \cdot K_n}{C_{pz} \cdot h^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot K_{pz}} \right\}^{\frac{1}{1+n_{pz}}} \quad (2.28)$$

де N_d - потужність двигуна головного приводу верстату, за паспортними даними верстату $N_d=18\text{кВт}$; η -коефіцієнт корисної дії коробки швидкостей верстату, величина якого знаходиться в діапазоні $\eta=(0,75-0,85)$. Приймаємо для розрахунків $\eta=0,85$; K_n -коефіцієнт допустимого короточасного перевантаження двигуна $K_n=1,2$.

Також за довідковими даними для вибраних умов процесу оброблення будемо мати: $C_{pz}=3000\text{Н}$; $x_{pz}=1,0$; $y_{pz}=0,75$; $n_{pz}= -0,15$;

Відповідно, отримаємо:

$$[V]_e = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 8^{1,0} \cdot 0,757^{0,75} \cdot 1,048} \right\}^{\frac{1}{1-0,15}} = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 8 \cdot 0,811 \cdot 1,048} \right\}^{1,176} = 108,97 (\text{м/хв}) \quad (2.29)$$

Для забезпечення повного використання технологічних можливостей верстатів, а саме потужності двигуна головного приводу верстату, визначаємо коефіцієнт співвідношення швидкостей різання, які допускаються двигуном верстату та інструментальним матеріалом різального інструменту:

$$\eta = \frac{[V]_e}{[V]_i} = \frac{108,97}{95,16} = 1,14 \quad (2.30)$$

Для подальших розрахунків приймаємо менше значення швидкості різання.

2.9.13 Визначення розрахункової частоти обертання шпинделя

При заданих розмірах обробної поверхні, необхідну швидкість різання, забезпечують встановленням певної частоти обертання шпинделя. У відповідності до прийнятої величини швидкості різання, визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя:

$$[n] = \frac{1000 \cdot [V]_{\min}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 95,16}{3,14 \cdot 306} = 99,04 \text{ (об/хв)} \quad (2.31)$$

Приймаємо для подальших розрахунків $[n]=100$ об/хв.

2.9.14 Визначення основного часу оброблення

Для визначення продуктивності оброблення розрахуємо основний час оброблення:

$$T_o = \frac{l_{xi} \cdot i}{n \cdot S} \quad (2.32)$$

де l_{xi} - довжина ходу інструмента, $l_{xi}=l_1+l+l_2=5+2146+5=2156$ (мм). При розрахунках режимів різання для чорнового оброблення число робочих ходів буде дорівнювати $i=1$.

Відповідно основний час оброблення дорівнює:

$$T_o = \frac{2156}{100 \cdot 0,757} = 28,48 \text{ (хв)} \quad (2.33)$$

Отже, в результаті були визначені наступні параметри оброблення, які можна приймати за оптимальні: оброблення на токарному верстаті PROTON XL-660.30 прохідним відігнутих різцем з металокерамічним твердим сплавом T14K8, з глибиною різання $h = 8$ мм, подачею $S = 0,757$ мм/об, та швидкістю $V = 95,16$ м/хв, при цьому розрахунковий час оброблення складає 28,48хв.

2.10 Висновки

1. Розроблена технологія для виробництва деталі “Вал”. Заготовка отримуватиметься методом прокату: довжина $l = 2150\text{мм}$, діаметр $d = 306\text{мм}$.



Рисунок 2.12 – Зображення деталі з виробництва

2. Розраховані режими різання на чорнове оброблення, операція 010. При обробленні на токарному верстаті PROTON XL-660.30 прохідним відігнутим різцем з металокерамічним твердим сплавом T14K8, з глибиною різання $h = 8\text{мм}$, подачею $S = 0,757\text{мм/об}$, та швидкістю $V = 95,16\text{м/хв}$, при цьому розрахунковий час оброблення складає 28,48хв.

РОЗДІЛ ІІІ

ВАРІАНТИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Мною було розглянуто різні методи запобігання появи, боротьби і відлаштування від автоколивань в ході виконання операції 010 чорнового точіння.

3.1 Підбір більш сприятливих режимів різання

Розглянемо варіант зі зняттям припуску за два проходи. Тобто з товщиною зрізуваного шару $h = 4\text{мм}$. В такому випадку режими різання будуть наступними:

$$[S]_{pz} = \left(\frac{24948,65}{3000 \cdot 4 \cdot 100^{-0,15} \cdot 1,048} \right)^{1/0,75} = 6,26 \text{ (мм/об)} \quad (3.1)$$

Оскільки це перший технологічний перехід, то обмеження за параметрами шорсткості не враховуємо. Відповідно до паспортних даних верстату максимальна величина подачі складає $S_0 = 6\text{мм/об}$.

Швидкість різання, що допускається характеристиками різального інструменту:

$$[V]_i = \frac{340 \cdot 0,58}{15^{0,2} \cdot 4^{0,15} \cdot 6^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,58}{1,718 \cdot 1,231 \cdot 2,239} = 41,64 \text{ (м/хв)} \quad (3.2)$$

Швидкість різання, що допускається потужністю двигуна головного приводу верстату:

$$[V]_e = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 4^{1,0} \cdot 6^{0,75} \cdot 1,048} \right\}^{1-0,15} = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 4 \cdot 3,833 \cdot 1,048} \right\}^{1,176} = 39,63 \text{ (м/хв)} \quad (3.3)$$

Оскільки, коефіцієнт співвідношення швидкостей різання, знаходиться в межах допустимого, то, відповідно, для подальших розрахунків приймаємо менше значення швидкості різання $[V]_e = 39,63 \text{ (м/хв)}$.

Частота обертання шпинделя:

$$[n] = \frac{1000 \cdot [V]_{\min}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 39,63}{3,14 \cdot 306} = 41,24 \text{ (об/хв)} \quad (3.4)$$

Основний час оброблення за перший робочий прохід:

$$T_o = \frac{l_{xi} \cdot i}{n \cdot S} = \frac{2156}{41,24 \cdot 6} = 8,71 \text{ (хв)} \quad (3.5)$$

Глибина різання для другого проходу залишається незмінною $h = 4$ мм. На другому проході необхідно взяти до уваги обмеження за параметрами шорсткості оброблюваної поверхні. Тобто для подальших розрахунків, зі значень $[S]_{pz} = 6,26$ мм/об та $[S]_{iu} = 0,757$ мм/об, обираємо менше, а саме $[S]_{iu} = 0,757$ мм/об.

Швидкість різання, що допускається характеристиками різального інструменту:

$$[V]_i = \frac{340 \cdot 0,58}{15^{0,2} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,757^{0,45}} = \frac{340 \cdot 0,58}{1,718 \cdot 1,231 \cdot 0,882} = 105,72 \text{ (м/хв)} \quad (3.6)$$

Швидкість різання, що допускається потужністю двигуна головного приводу верстату:

$$[V]_g = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 4^{1,0} \cdot 0,757^{0,75} \cdot 1,048} \right\}^{\frac{1}{1-0,15}} = \left\{ \frac{60000 \cdot 18 \cdot 0,85 \cdot 1,2}{3000 \cdot 4 \cdot 0,811 \cdot 1,048} \right\}^{1,176} = 108,01 \text{ (м/хв)} \quad (3.7)$$

Оскільки, коефіцієнт співвідношення швидкостей різання, знаходиться в межах допустимого, то, відповідно, для подальших розрахунків приймаємо менше значення швидкості різання $[V]_g = 105,72$ (м/хв).

Частота обертання шпинделя:

$$[n] = \frac{1000 \cdot [V]_{\min}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 105,72}{3,14 \cdot 298} = 112,98 \text{ (об/хв)} \quad (3.8)$$

Основний час оброблення за перший робочий прохід:

$$T_o = \frac{l_{xi} \cdot i}{n \cdot S} = \frac{2156}{112,98 \cdot 0,757} = 25,2 \text{ (хв)} \quad (3.9)$$

Отож, загальний час оброблення за два робочих проходи буде складати:

$$T_o = 8,71 + 25,2 = 33,91 \text{ (хв)} \quad (3.10)$$

Виходячи з даних розрахунків, можемо зробити висновок про падіння продуктивності в разі виконання чорнового оброблення.

$$Pr = \frac{(T_{01} - T_{02})}{T_{01}} \cdot 100\% = \frac{(28,48 - 33,91)}{28,48} \cdot 100 = -19,06\% \quad (3.11)$$

Що є досить суттєво, навіть враховуючи малосерійність виробництва.

3.2 Використання лунетів

Розповсюдженою практикою є застосування лунетів, для виключення появи вібрацій і формування нерівностей. Бувають вони двох типів: рухомі і нерухомі.

Нерухомий лунет використовують для того щоб втримати довгі деталі. Заготовка закріплюється на обладнанні за допомогою кріпильних болтів, які вкручуються в опорну пластину. Особливістю нерухомої конструкції є те що має вона три кулачки, один з яких являється опорою зверху, два інших – знизу. Для закріплення на заготовках, нерухомий лунет має відкидний шарнір, який спрощує цей процес.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Приклади лунетів: а) нерухомий, б) рухомий

Рухомий лунет. Має декілька відмінностей. На токарному верстаті є поздовжній супорт, на який закріплюються лунети. Завдяки цьому рух різців з додатковою деталлю відбувається одночасно. Ще однією особливістю рухомого лунету є наявність двох кулачків для опори деталі. Один розташовується на верхній частині конструкції, інший на боковій, роль третього виконує різець.

Перш ніж перейти до покупки лунету для токарного верстату, слід прийняти до уваги декілька факторів:

- розмір оброблюваної деталі;

- масу оброблюваної деталі;
- тип конструкції залежно від виду верстата, його характеристик.

З переваг які можна отримати можна назвати наступне:

1. Підвищення точності оброблення;
2. Скорочення кількості бракованих деталей;
3. Підвищення безпеки робочого процесу;
4. Надійність, довговічність, простота конструкції та її налаштування;
5. Спрощення роботи оператора.

Проаналізувавши ринок, було визначено що практично до більшості токарних верстатів, запропонованих на продаж від різних компаній, лонети йдуть в комплекті, що є однозначно плюсом, адже їх вартість, для оброблення таких габаритних деталей, починається від 1 000 євро.

3.3 Використання віброгасячих лонетів

Також, в ході дослідження було розглянуто доволі цікаву розробку віброгасячих лонетів, розроблених Васильєвих С.Л. і Саїтов В.Е. [12]. У В'ятському державному університеті на базі кафедри технології машинобудування було розроблено ряд порівняно простих пристроїв, що дозволяли б достатньо ефективно гасити автоколивання нежорстких валів.

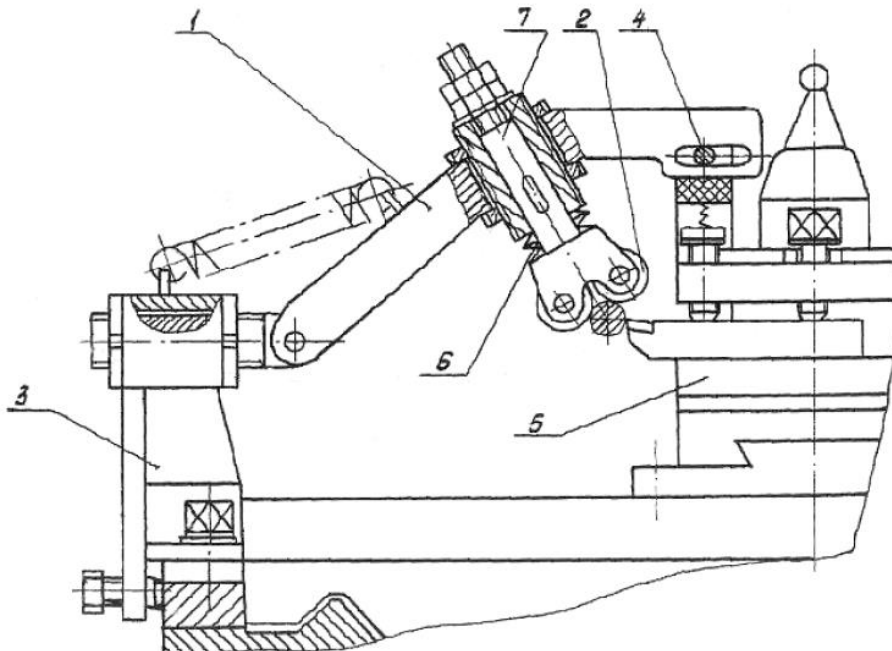


Рисунок 3.2 – Приклад першого віброгасячого лонету

Віброгасячий люнет (Рисунок 3.2) виконаний в вигляді важеля 1, на якому розміщені контактні ролики 2. Важіль 1 шарнірно встановлений на кронштейні 3, закріпленому на поперечних салазках супорта, а замочний пристрій 4, що здійснює фіксацію важеля 1 в робочому положенні, встановлено на різцетримачі 5.

В цій конструкції застосовано два контактних ролики, що взаємодіють з деталлю під кутом 120° , що, в свою чергу, підвищує надійність роботи і перешкоджає виникненню не лише періодичній (автоколивань), але й аперіодичної нестійкості системи. Фрикційний демпфер 6, включає в себе пакет тарільчастих пружин, встановлений на різьбовому стержні 7, безпосередньо поєднаному з вилкою, що тримає контактні ролики 2. Після закінчення оброблення важіль відводиться від оброблюваної поверхні за допомогою спіральної пружини, що спрацьовує при вимкненні замочного пристрою. Таке виконання покращує зручність роботи і спостереження за зоною різання. Даний віброгасячий пристрій дозволяє підвищити стійкість процесу різання при порівняно високих режимах різання, і, як наслідок, досягнути очікуваної якості оброблюваної поверхні, збільшити стійкість ріжучого інструменту, підвищити продуктивність оброблення. В багатьох випадках, застосування віброгасячих люнетів дозволяє уникнути багатопрхідного оброблення. Проте, застосування розробленої конструкції віброгасячого люнету ускладнено при токарному обробленні ступінчастих валів, особливо, на верстатах з автоматизованим циклом оброблення, в тому числі і верстатах з ЧПК.

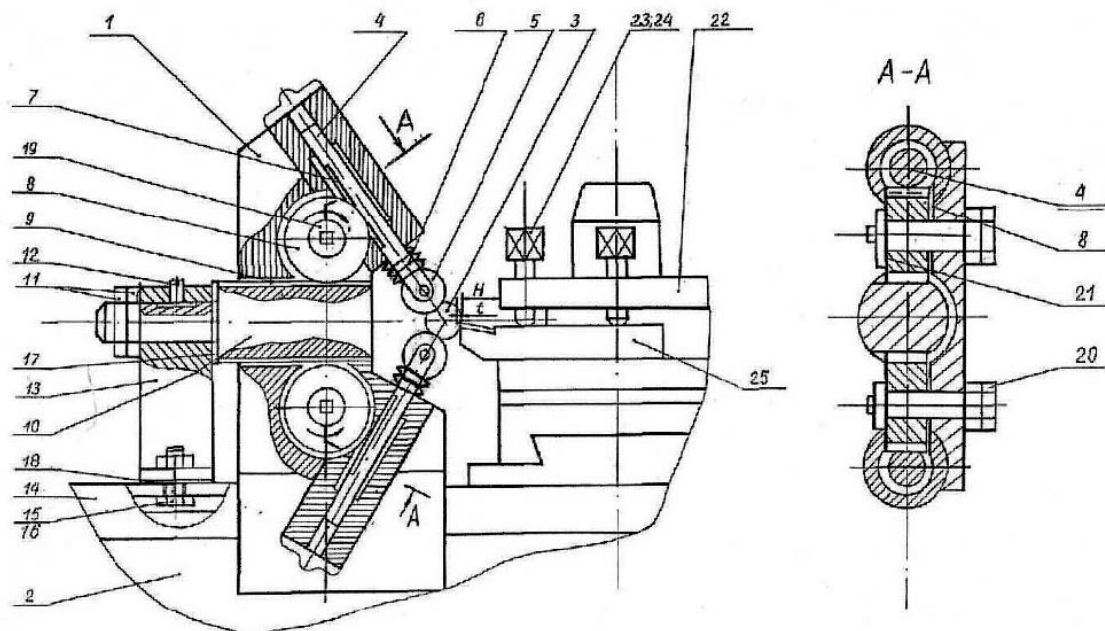


Рисунок 3.3 – Приклад другого віброгасячого люнету

На зображенні вище наведено віброгасячий лонет, який дозволяє забезпечити стійкість при високопродуктивному токарному обробленні ступінчастих валів. Початкове налаштування лонету перед обробленням партії ступінчастих валів на верстаті з ЧПК виконується по еталону або пробній деталі, яку встановлюють в відповідні затискні пристрої верстату.

В різцетримачі 22 завдяки кріпильним елементам 23, 24 встановлюють різець 25 з заданим вильотом Н з урахуванням припуску на оброблення t , і розкріплюючи кріпильні елементи 15, 16, переміщують кронштейн по пазам, виконаним на салазках поперечного супорту, до контакту роликів 5 з відповідною поверхнею еталонної деталі 3. Це положення пристрою фіксують за допомогою вказаних кріпильних елементів. Після цього різцетримач 22 відводять в початкове положення, що відповідає початку автоматичного циклу оброблення деталі. При цьому, плунжери 4 з контактними роликами 5 також відходять в відповідне початкове положення.

Далі, увімкнувши верстат з ЧПК, обладнаний програмою управління траєкторією переміщення різця, яка відповідає профілю оброблюваної деталі 3, отримують одночасне синхронне переміщення різця 25 і контактних роликів 5 при обробленні ступінчастих валів. При переході на ступінь більшого діаметра, відбувається автоматичне переміщення різця 25 в напрямку від центру оброблюваної деталі і одночасно відповідне переміщення роликів 5 в радіальному напрямку, що забезпечує постійність контакту опорних роликів 5 з оброблюваною деталлю 3. При цьому вібрації оброблюваної деталі, що виникають при її обробленні, гасяться в пакетах тарільчастих пружин 6 фрикційного демпфера.

Таким чином, за рахунок описаного жорсткого зв'язку переміщення різця і контактних елементів віброгасячого лонета забезпечується автоматичне налаштування лонету від заданої програми управління траєкторією руху різця.

На рисунку (Рис.3.4) наведено ще один віброгасячий пристрій, обладнаний саморегулюючою гідравлічною опорою і двома конічними роликами, призначений для оброблення ступінчастих валів на токарних верстатах з ЧПК.

В початковому положенні важіль 1 пристрою закинтий на різцетримач. Після увімкнення робочої подачі ріжучого інструменту важіль опускають на оброблювану деталь таким чином, щоб ролики 14 контактували з деталлю під заданим кутом, і вмикають електромагніт 8, який забезпечує нерухоме з'єднання гідравлічної опори 7 (пов'язаної з важелем пристрою через демпфер) з поперечною кареткою супорту. Завдяки виконанню роликів 14 в вигляді

усічених конусів при обробленні ступінчастої поверхні вони можуть вільно переходити один від з однієї поверхні на іншу, повертати разом з віссю 13 відносно шарніра 12, встановленого в вилці 11.

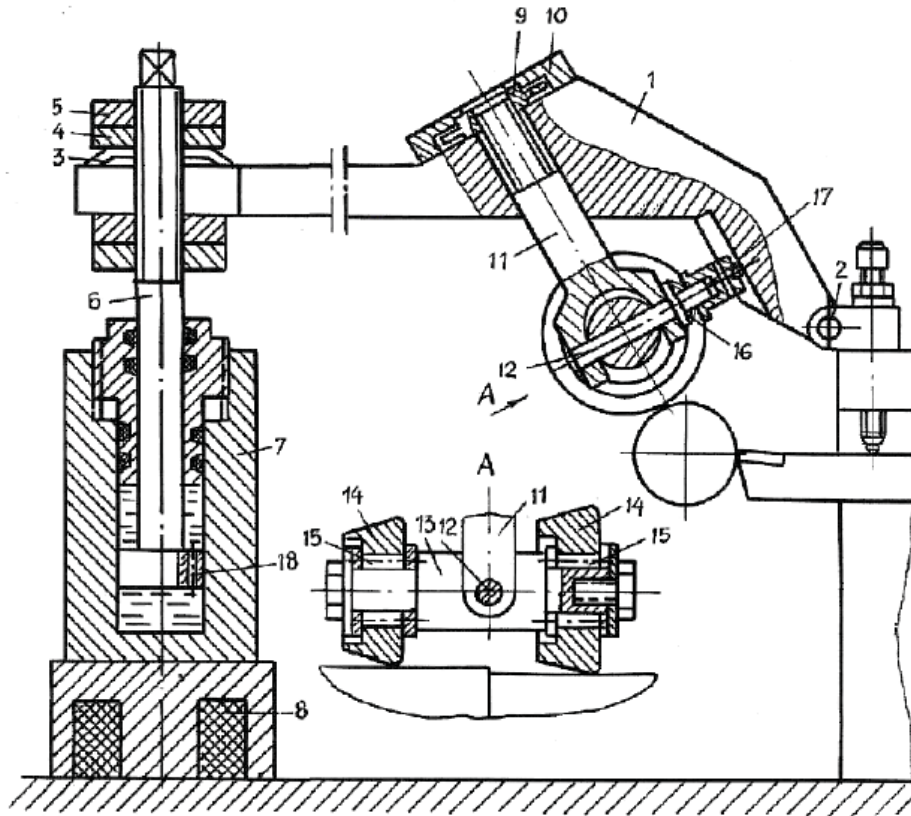


Рисунок 3.4 - Приклад третього віброгасячого лонету

При переході важеля пристрою з однією оброблюваною ступені на іншу, який відбувається з порівняно невеликою швидкістю, гідравлічна рідина переливається з однієї порожнини в іншу через дросель 18 без суттєвого опору. Таким чином забезпечується саморегулювання опори при надійному контакті пристрою з оброблюваною деталлю.

Виникаючі в процесі механічної обробки вібрації оброблюваної деталі гасяться за рахунок демпфування в тарільчастих пружинах 3 і 16, а також в саморегульованій опорі 7, яка при великій швидкості зворотно-поступального переміщення штока 6, виконує водночас функцію гідравлічного демпфера. При цьому, переливаючись з більшою швидкістю (відповідаючій частоті вібрацій, що виникають при обробленні) через дросель 18 гідравлічна рідина зустрічає значний супротив, що сприяє демпфуванню коливань.

Тож, на відміну від рухомих і нерухомих люнетів, що традиційно використовуються при виготовленні деталей малої жорсткості, описані пристрої, являються по своєму функціональному призначенню віброгасячими люнетами, що практично не потребують додаткових затрат часу при введенні в роботу, так як це відбувається під час оброблення деталі. Застосування таких пристроїв підвищує ефективність і універсальність токарного верстату.

Проте, для нас, є одна суттєва проблема, так як дані розробки не використовуються в масовому виробництві, то їх виготовлення на замовлення буде коштувати в 5-10 разів дорожче звичайних.

3.4 Використання багаторізевої головки

Одним з найбільш перспективних способів боротьби з регенеративними автоколиваннями являється застосування інструменту з непостійним окружним кроком різальних пластин.

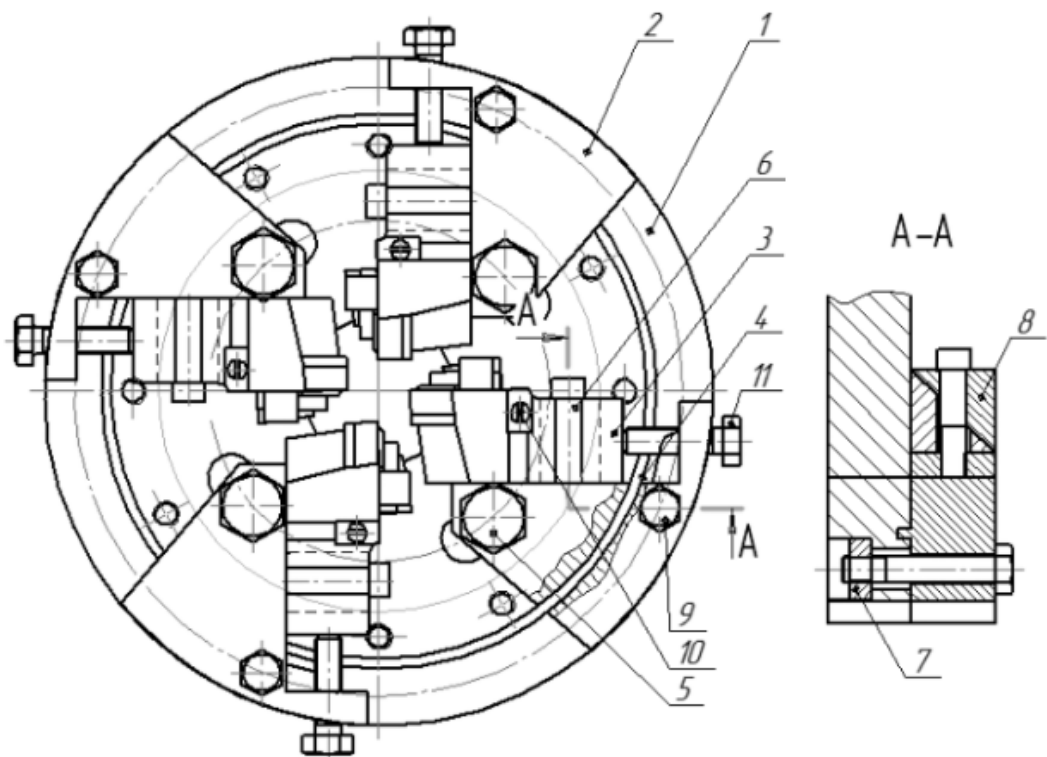


Рисунок 3.5 – Багаторізева головка

При рівномірному розміщенні різальних пластин між сусідніми різальними пластинами пролягає доволі велика кількість хвиль автоколивань, що створює

умови для їх практично вільній регенерації. Самоорганізованість автоколивань в цьому випадку відбувається таким чином, що коливання ТС в даний момент часу випереджають коливання вібраційного сліду на поверхні різання на 0,25 довжини їх хвилі, що забезпечує надходження енергії для підтримки автоколивань. В цьому випадку відбувається підлаштування існуючих коливань ТС під коливання сліду. Після повороту заготовки на четверть оберту на всіх різальних пластинах одночасно відбувається короткий (протягом одного–двох коливань) перехідний процес.

Зміна кругового кроку різальних пластин збиває синхронність перехідних процесів, тобто різальні пластини заважають одна одній підлаштуватись під коливання сліду в перехідному процесі, що призводить до зниження амплітуди автоколивань. Максимальне гасіння автоколивань, відповідно теорії регенеративних автоколивань, має відбуватись при різниці кругових кроків, рівній половині довжини хвилі автоколивання на поверхні різання. Коливання заготовки, при цьому, відбуваються в протифазі, що фізично неможливо, оскільки різальні пластин закріплені на одному корпусі. Також слід враховувати, що суміжні різальні пластини розміщені не паралельно, а взаємно перпендикулярно і траєкторія коливань заготовки близька до окружності. Внаслідок цього найбільшому подавленню регенерацій автоколивань відповідає різниця кроків сусідніх різальних пластин в 0,75 довжини хвилі.

Отже, застосування багаторізцевих головок з регулюванням окружного кроку різальних пластин дозволяє забезпечити динамічну стійкість процесу точіння нежорстких валів. Для використання в промисловості рекомендовано діапазон різниці окружного кроку різальних пластин 0,25...1,3 довжини хвилі автоколивання на поверхні різання. Найкращі ж результати досягаються при різниці кроку 0,75 довжини хвилі.

Дана розробка є доволі цікавою і перспективною, оскільки, попри складність у виготовленні, в особливості через габарити нашої деталі, взамін ми отримуємо підвищення продуктивності у вигляді збільшення подачі, через використання одразу чотирьох різальних пластин, а відповідно зменшенням часу оброблення.

3.5 Використання підпружиненого різцетримача

Ще одним із перспективних способів подавлення автоколивань являється введення між заготовкою і інструментом додаткового дотичного до поверхні різання контуру. Реалізація цього способу здійснюється за допомогою підпружиненого різцетримача та розточної головки. Цей метод можна ефективно поєднати зі ще одним способом подавлення автоколивань, який полягає в піднятті вершини прохідного токарного різця вище осі заготовки на величину, що відповідає фактичному значенню заднього кута.

Дослідження в цьому напрямку показують, що підпружинений різець дозволяє ефективно подавляти автоколивання при точінні нежорстких валів і є рекомендованим для промислового виробництва. В поєднанні з прийомом підняття його вершини вище осі центрів верстату різець може забезпечити необхідну якість оброблюваної поверхні без використання люнетів і додаткових демпферів вібрацій.

3.6 Зміна швидкості обертання шпинделя

Ще один із способів відлаштування від точіння по сліду є змінна швидкість обертання шпинделя, з певною частотою цієї зміни. Так, для виконання механічної обробки використовують наступні пристрої:

- імпульсні варіатори, що водночас виконують роль безступінчастих коробок швидкостей верстатів;
- інерційно-імпульсні механізми, вбудовані в кінематичний ланцюг головного руху верстату;
- електродвигуни постійного струму, напруження живлення яких, з потрібною частотою, змінюється спеціальними регуляторами;
- періодичне дискретне перемикання частоти обертання;
- вібратори різних типів і серводвигуни.

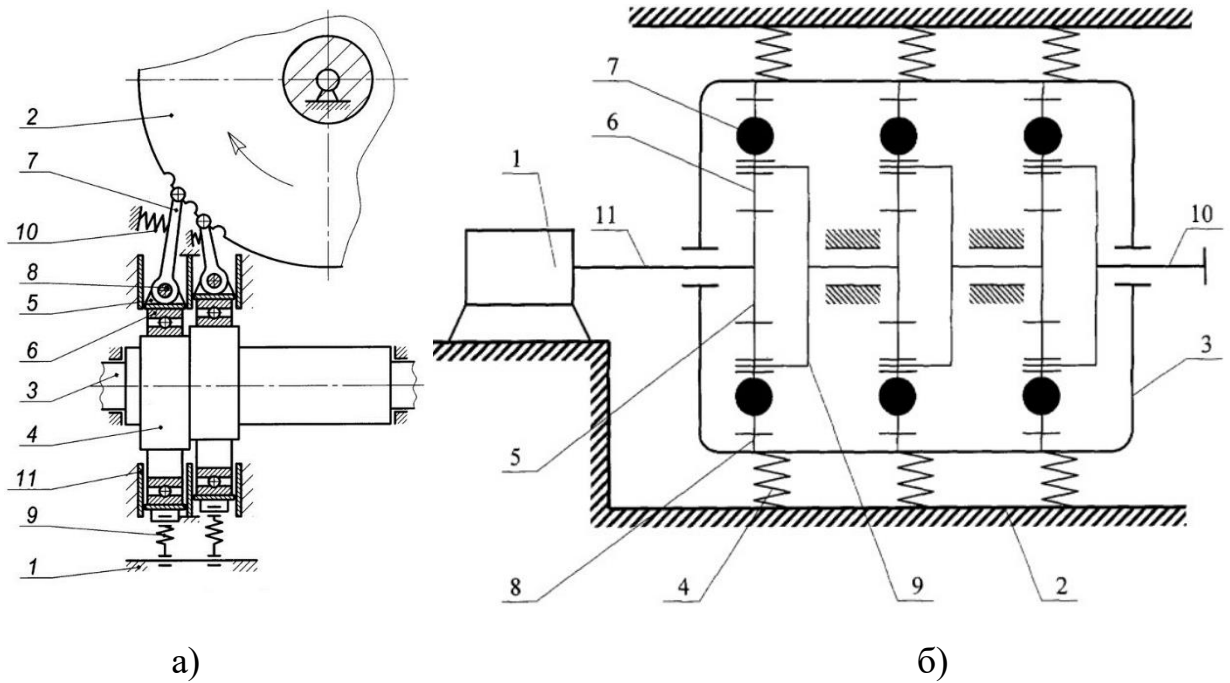


Рисунок 3.6 – Пристрої для зміни швидкості обертання шпинделя: а) імпульсний варіатор (1 – Корпус, 2 – Ведучий вал, 3 – Проміжний вал, 4 – Барабан, 5 – Собачка, 6 – Магазин, 7 – Корпус вставки, 8 – Ролик, 9 – Пружний елемент, 10 – Опорний ролик, 11 – Сепаратор); б) інерційно-імпульсний привід (1 – Двигун, 2 – Основа, 3 – Корпус редуктора, 4 – Пружина, 5 – Центральне зубчасте колесо, 6 – Сателіт, 7 – Вантаж, 8 – Центральне зубчасте колесо з внутрішніми зубами, 9 – Водило, 10 – Вхідний вал, 11 – Вихідний вал)

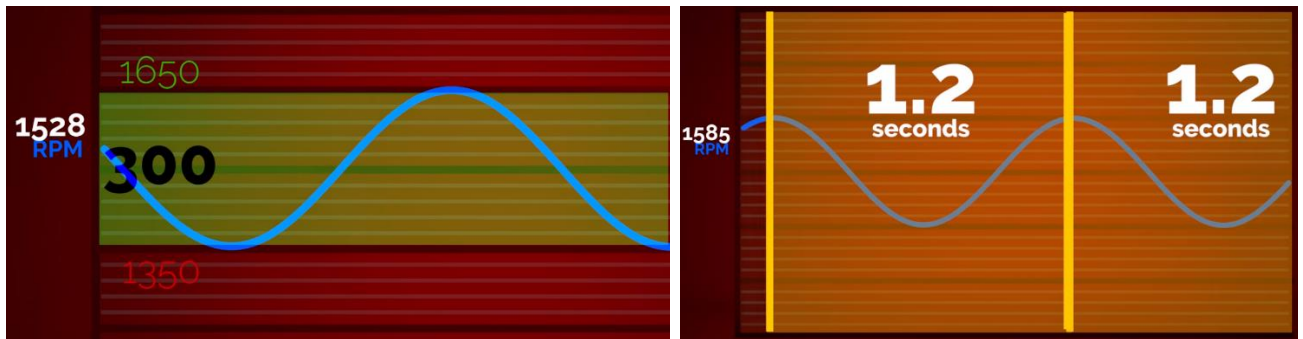
Одним з варіантів вирішення проблеми автоколивань є запропонована, і успішно реалізована на практиці, компанією Haas програмна технологія: SSV (Spindle Speed Variation), що в перекладі звучить як варіатор швидкості обертання шпинделя.

Розглянемо більш детально дану функцію і особливості її реалізації

SSV (Spindle Speed Variation) – це функція керування верстатом з ЧПК, що дозволяє змінювати швидкість шпинделя. Реалізується SSV двома налаштуваннями і M-кодами, що відповідають за вмикання і вимикання. SSV доступний під час точіння і свердління, однак не доступний при нарізанні нарізі, оскільки для отримання точної нарізі швидкість має бути сталою.

Налаштування 165 (SSV VARIATION (RPM)) дозволяє змінювати кількість обертів на хвилину.

Налаштування 166 (SSV CYCLE (0,1)SECS) дозволяє встановити цикл зміни обертів на хвилину, що задаються в налаштуванні 165. Задається з урахуванням коефіцієнта множника 0,1.



а)

б)

Рисунок 3.7 – Налаштування: а) 165 (зміна частоти обертання шпинделя на ± 150 об/хв); б) 166 (задання зміни циклу частоти)

В результаті чого ми отримуємо наступний результат:

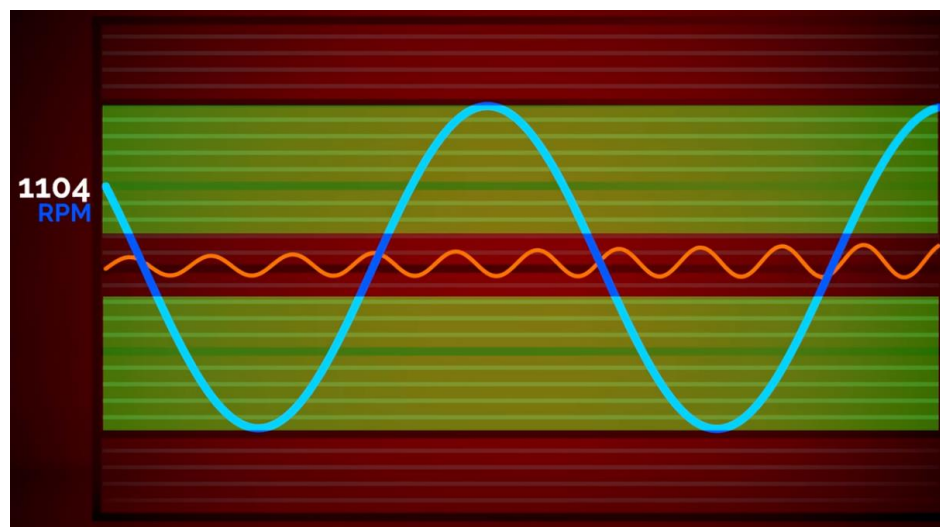


Рисунок 3.8 – Графічне зображення результату використання SSV

M38 вмикає функцію SSV.

M39 вимикає функцію SSV.

3.7 Висновки

1. Способів для подолання проблеми виникнення автоколивань при обробленні нежорстких заготовок доволі багато і дослідження в цьому напрямку з кожним роком дають все більш глибокі знання і розуміння природи проблеми, а відповідно полегшують визначення способів її вирішення.

2. Розгляд варіанту із виконанням чорнового оброблення на операції 010 за два проходи показав, що втрата продуктивності внаслідок цього буде близько 19%, і це лише на одній чорновій операції, при тому що заготовки виконані методом прокату, і для оброблення шийок валу необхідно зняти доволі великий шар металу, відповідно і час чорнового оброблення складатиме доволі велику частку від часу повного оброблення.

3. Найменш затратним для використання є метод зміни швидкості обертання шпинделя за допомогою програмного забезпечення, адже вимагає лише встановлення налаштувань і відповідної команди в коді на оброблення. Але лише у випадку що верстат має стійку з ЧПК.

РОЗДІЛ IV

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розділ розрахований для представлення аналіз стартап проекту, з можливим, в подальшому, його впровадженням. Відповідно до методичних вказівок [22] нижче наведені кроки для детального розгляду і маркетингового аналізу.

4.1 Опис ідеї проекту

Точіння фрезою або ж токарне фрезерування, саме так, в умовах появи багатофункціональних верстатів, комбінація точіння і фрезерування може виявитись виграшною. Воно відкриває можливості підвищення продуктивності, скорочення втрат часу на переустанови і можливість оброблення на одному верстаті, і навіть за одну установку.

Напрямок для застосування даного способу оброблення в досталь. Перш за все, при різанні переривчастих поверхонь обертання. В випадку класичного точіння значні ударні навантаження на різець призводять до зниження показників шорсткості і падінню стійкості інструменту. На відміну цього, токарне фрезерування здійснюється фрезою – обертним інструментом, якраз і призначеним для роботи в умовах циклічних ударних навантажень.

Також, оброблення заготовок із матеріалів, що утворюють довго стружку. При точінні така стружка, намотуючись на різець і заготовку, погіршує якість оброблення і псує деталі верстату. Окрім того, довга стружка небезпечна для оператора. Видалення стружки в даному випадку являє собою серйозну проблему, і іноді виникає необхідність вимкнення верстату для його очищення. Точінню ж фрезою властива зручна для транспортування сегментна стружка значно меншого об'єму.

Ще один з напрямків – оброблення заготовок з великою масою. Оскільки, швидкість різання при точінні визначається обертанням заготовки, а технічні характеристики приводу головного руху верстату не завжди дозволяються забезпечити необхідну частоту обертання великовагової заготовки, то і швидкість різання виявиться далеко не оптимальною. Відповідно, складно очікувати ефективного виконання токарної операції. Впроваджуючи ж точіння фрезеруванням в технологічний процес, можна значно підвищити продуктивність оброблення таких заготовок.

Більше того, в теорії, точіння фрезеруванням може допомогти уникнути виникненню автоколивань, що є характерними для оброблення токарним різцем. Оскільки, в такому випадку відсутні сліди після першого ж збурення.

Таблиця 4.1 – Ідея стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання фрезерування в якості токарного оброблення	При обробленні будь яких тіл обертання	Підвищення продуктивності
		Отримання безпечної стружки
		Оброблення фрезеруванням і точінням без переустанов
		Можливість уникнення автоколивань

Щоправда, використання фрезерування в якості токарного оброблення і його правильного застосування доволі не прості. Так, для отримання очікуваного результату необхідно не тільки вибрати оптимальну ріжучу геометрію, але й правильно визначити положення фрези відносно заготовки.

Таблиця 4.2 – Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Точіння фрезеруванням	Точіння класичне
1.	Універсальність	Присутня. Відкриває можливість оброблення за один установ фрезерних і токарних операцій	Відсутня. Дозволяє виконати лише токарні операції.
2.	Верстатне обладнання	Потребує багатофункціонального верстату	Доступне починаючи від найпростіших моделей верстатів.
3.	Продуктивність	Вища. А в певних випадках навіть в рази.	Нижча.
4.	Вартість	Вища. Адже пластин на фрези більше.	Нижча.
5.	Складність в виборі геометрії і положення	Вища. Що не є плюсом, а навпаки збільшує час на підготовку.	Нижча. Технології використання давно відомі і доступні.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Можливість технологічної реалізації ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Використання точіння фрезеруванням	Врахування типології в технології оброблення тої чи іншої деталі	Загальні рекомендації чи методичні вказівки відсутні, тому покладаючись на досвід працівників	При наявності багатоцільового верстату і правильного налаштування
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: при наявності кваліфікованих працівників і напрацьованої технології під зміни типу оброблення			

Отже, технічна реалізація цілком можлива, попри відсутність достатньої кількості інформації і рекомендацій. З достатнім досвідом працівників і технічним забезпеченням технологія є доступною для підприємств.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Тенденція до постійного розвитку й покращення дійсна і в виробництві. Збільшення кількості багатофункціональних верстатів відповідно дозволяють і збільшити використання точіння фрезеруванням. При цьому розвиток інструментального виробництва не стоїть на місці і в недалекому майбутньому цілком можливо слід очікувати спеціальні фрези для токарного оброблення, що враховували особливості такого способу оброблення і сприяли б його покращенню і оптимізації.

Компанії ISCAR і Sandvik описують можливість використання їх фрез для точіння фрезеруванням, але все ж, вони не є спеціально спроектованими і створеними для цього.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	0
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	В перспективі - мільйони
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Застарілі верстати на багатьох підприємствах в нашій країні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не потребує

Далі розглянемо потреби ринку і особливості поведінки, а також потреби споживачів.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення продуктивності оброблення, інтенсифікація процесу різання і збільшення прибутків	Підприємства, що спеціалізуються на токарному обробленні	Багаторічна звичка до більш стандартного і загальноприйнятого оброблення токарними різцями в одних і жага до збільшення прибутків, в тому числі й з використанням нових технологій, в інших – ось можливі головні відмінності	Надійність, простота використання, хороша зносостійкість

Наступним кроком є розгляд факторів, що можуть завадити впровадженню, і факторів, що навпаки дозволять відкрити нові можливості.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість	Вартість фрез вища ніж токарних різців	Відмова платити більше
2	Складність використання	Потреба додаткового підлаштування пластин і більш специфічний розрахунок	Відмова на користь більш простих варіантів

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підвищення продуктивності	Оброблення токарних і фрезерних операцій за один установ	Прийняття даної технології оброблення
2	Покращення якості поверхні	Завдяки відсутності автоколивань	Прийняття даної технології оброблення

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - чиста	Велика кількість компаній в світі, що займаються інструментальним виробництвом	Більш детальні дослідження по застосуванню фрез для точіння, з подальшим їх покращенням
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародна	Підприємства з оброблення деталей точінням існують майже в кожній країні	Якісний інструмент зможе сам себе зарекомендувати, а даний ринок є наймовірною великим
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Так як оброблення металів різанням можна звести в певній мірі до однієї галузі	Навіть за умови здавалось би невеликої специфіки, ринок збуту великий
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Оскільки конкуренція між інструментами що виконують одну й ту ж роботу	Але на відміну від токарних різців, фрезу можна використовувати і безпосередньо по призначенню, без переустанов
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Суть полягає в підвищенні продуктивності, а відповідно й підвищенні прибутків	Необхідно надати більш якісний або дешевий продукт

Після проведення аналізу конкуренції, проводиться аналіз за моделлю М. Портера, який є більш детальним

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ИСКАР Sandvik Makita	Будь які з існуючих що вирішать розширити асортимент і охопити ринку	Виграють від підвищення конкуренції	Підприємства на яких проводиться токарне оброблення	Токарні різці звичайні
Висновки:	Конкуренція доволі висока, оскільки велика кількість компаній вже доволі давно на ринку, мають великі клієнтські бази і запас довіри споживачів	Можливості входу в ринок є і цілком реальні. Потрібно більше досліджень і проінформованості	Ніяким чином	Клієнтам, тобто підприємствам, важливий дохід, тож головне його забезпечити	Обмеження не є суттєвими, з розвитком виробництва, перехід на універсальні і більш продуктивні пристрої є справою часу

За результатами аналізу, проведеного в таблиці 4.9, визначається і обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. А результати наведені далі в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Універсальність	Використання точіння фрезеруванням є більш універсальним
2	Ціна	Безпосередньо має бути пов'язана зі стійкістю і вже в залежності від цього потрібно буде робити висновки
3	Продуктивність	Є важливим фактором, з якого і буде робитись висновок щодо доцільності використання одного з варіантів

За результатами визначених факторів конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін проекту

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бал и 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Універсальність	18	+							
2	Ціна	10								+
3	Продуктивність	15		+						

Таблиця 4.12 – SWOT – аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення продуктивності 2. Оброблення без переустанов 3. Уникнення автоколивань 4. Отримання сегментної стружки 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вища ціна 2. Потреба в складнішому підборі і налаштуванні 3. Потреба в наявності багатофункціонального верстату
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення продуктивності, як наслідок і прибутку 2. Отримання більш якісної поверхні 3. Оброблення фрезеруванням і точіння за одну установку, не перериваючи цикл 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Консервативність працівників 2. Конкуренція на ринку 3. Ціна

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Перш за все, розроблення ринкової стратегії проекту передбачає розгляд і вибір цільових груп потенційних споживачів. Оскільки цільова аудиторія в нашому випадку лише одна, а саме, підприємства що спеціалізуються на токарному обробленні деталей, то стратегія охоплення ринку – стратегія концентрованого маркетингу, так як компанії зосереджуються в одному сегменті.

Таблиця 4.13 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників.	Стратегія лідерства в витратах
2	Розвиток ідеї	Диференційований маркетинг	Від товарів-замінників захищають відмінні властивості та прихильність споживачів.	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентрований маркетинг	Задоволення потреб обраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти.	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 4.13 обрана базова стратегія розвитку – стратегія спеціалізації. Далі потрібно обрати стратегію конкурентної поведінки (Таблиця 4.14).

Таблиця 4.14 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Так	Ні	Стратегія лідера
Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера
Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідеру
Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 4.14, можна зробити висновок, що нам підходить варіант стратегії конкурентної поведінки – стратегія виклику лідера.

Далі, переходимо до визначення стратегії позиціонування.

Таблиця 4.15 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувану позицію власного проекту (три ключових)
Надійність, простота застосування, підвищення якості оброблюваної поверхні	Стратегія спеціалізації	Універсальність застосування	Універсальність, надійність, якість

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Перш за все формується маркетингова концепція товару. Для цього підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.16 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Збільшення продуктивності	Оброблення токарної і фрезерної операції за одну установку	При звичайній же технології оброблення, передбачено використання окремо токарної і окремо фрезерної операції
2	Безпечні умови праці	При фрезеруванні утворюється сегментна стружка	Сегментна стружка є більш безпечною, як для оператора, так і для верстата з інструментом.
3	Висока якість оброблюваної поверхні	Забезпечує необхідну високу якість оброблюваної поверхні	При правильно підібраних режимах і налаштуванні забезпечує якість поверхні не гірше за звичайну токарну обробку

Наступним кроком буде розроблення трирівневої маркетингової моделі товару.

Таблиця 4.17 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Спосіб точіння фрезеруванням, що дозволяє, на багатоцільових верстатах проводити операції точіння і фрезерування за один установ
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Ще один спосіб оброблення, що відкриває додаткові можливості і ще деякі переваги
III. Товар із підкріпленням	Якість
	Не гірша ніж у токарних різців, для конкурентоспроможності
Тренінги і мануали щодо правильного застосування і налаштування	
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: ніяк	

Визначення меж встановлення ціни, є не зовсім доцільним, оскільки це потрібно робити під час фінансово-економічного аналізу, а також за наявності власної унікальної розробки.

Таблиця 4.18 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Достатній попит буде лише за чіткої впевненості в необхідності і ефективності даного способу	Просування на ринок вимагає достатньої кількості реклами, як спосіб донести до споживача і проінформувати про переваги і недоліки даного способу оброблення	Канал нульового рівня	Продаж безпосередньо споживачам-клієнтам, як і будь яке інше інструментальне забезпечення

Останнім пунктом є розроблення концепції маркетингових комунікацій. Результати наведені в таблиці 4.19

Таблиця 4.19 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Враховуючи величину ринку може бути цікавим для великої кількості підприємств	Можуть включати в себе відеоролики, статті, поштові розсилки	Демонстрація переваг даного способи оброблення над токарним	Зацікавити клієнтів, відкрити для них ще один спосіб оброблення, показати його переваги	Головним елементом в рекламі є девіз і тези, що б влучно передавали причину використання даного способу

4.6 Висновки

Під час розроблення стартап-проекту було визначено можливість ринкової комерціалізації проекту. Було визначено сильні і слабкі сторони даного проекту, його актуальність і користь для користувачів.

Враховуючи велику кількість підприємств що спеціалізуються на токарному обробленні, ринок є досить великим і постійно розширюється і розвивається. Бар'єрів, як таких, немає, потрібно лише більше інформативності, а відповідно досліджень і напрацьованих матеріалів в даному напрямку.

Отже, даний проект цілком може знайти масове застосування в майбутньому і дослідження в даному напрямку є доцільними і актуальними

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз проблеми показав складність забезпечення якості поверхні при обробленні не жорстких валів, в зв'язку з появою на поверхні сліду, причиною якого слугують автоколювання, що призводить до негативних наслідків для технологічної системи.

2. Розроблена технологія оброблення деталі по замовленню, розраховані режими різання для операції 010, що і є якраз цікавою для нас. Адже саме при чорновому обробленні, при знятті великого шару припуску за один прохід і з'являється проблема з виникненням сліду.

3. Перерахунок режимів, з можливістю оброблення за два проходи показав падіння в продуктивності лише на даній операції на 19%. Також було розглянуто декілька варіантів інших пристроїв і способів відлаштування від автоколювань. Так найменш затратним можна вважати спосіб зі зміною швидкості обертання шпинделя з певною періодичністю, при умови наявності верстата з ЧПК, адже дослідженнями доказано ефективність цього способу, а на практиці не складно реалізувати дану задумку.

4. Наведені в третьому розділі розробки різних пристроїв є досить важливими для загального розуміння причин виникнення і способів усунення автоколювань, але через складність в реалізації вони не здобули широкого застосування. А тому як і раніше найбільше застосовують звичайні люнети для збільшення жорсткості, і підбір режимів індивідуально.

5. Аналіз стартап-проекту з можливістю використання точіння фрезеруванням, замість класичного оброблення токарним різцем показала про цілком реальну перспективу даного напрямку, а переваги що користувачі можуть отримати цілком можливо зацікавлять велику кількість підприємств.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- [1] Рекомендації щодо змісту і структури магістерських дисертацій / Уклад. В. П. Головенкін. За заг. ред. акад. Ю. І. Якименка – К.: ВПК «Політехніка», 2010. – 28 с.
- [2] Васильевых С.Л., Сайтов В.Е. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 11. – С. 67-68;
URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=31109> (дата обращения: 18.11.2019).
- [3] В.М. Свинин ^{1a}, А.В. Самсонов ^{1b}, Д.А. Рычков ^{2c}
¹Забайкальский государственный университет, ул. Александров-Заводская 30, Чита, Россия
²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
^asvinin_vm@mail.ru, ^basamsonov1991@mail.ru, ^cdielektrik84@mail.ru
Статья поступила 2.06.2015, принята 16.08.2015
- [4] Материали за XV международна научна практична конференция. Новината за напредна наука – 2019, 15 - 22 май 2019 г.: София, «Бял ГРАД-БГ» - 116с.
- [5] Проектування технологічних процесів. Методичні вказівки для виконання курсового проекту та самостійної роботи студентів за напрямом підготовки 6.0505-Інженерна механіка. Програма професійного спрямування-Технології машинобудування усіх форм навчання./Укладачі:В.Г. Біланенко, В.П. Приходько.-Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». 2017.-151с.
- [6] ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент
- [7] ГОСТ 4543-71 Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5)
- [8] Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентів для галузі знань 13-Механічна інженерія, спеціальностей 131-Прикладна механіка та 133-Галузеве машинобудування усіх форм навчання.-Київ: НТУУ «КПІ», 2016.-120с.
- [9] Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 1. Под ред.А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова.- М.: «Издательство машиностроение-1», 2001.-910с.
- [10] Справочник технолога - машиностроителя. В двух томах. Том 2. Под

ред.А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова.-
М.: «Издательство машиностроение-1», 2003.-929с.

- [11] <https://metalloy.ru/stanki/tokarnye/lyunet>
- [12] Васильевых С.Л., Саитов В.Е. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 3. – С. 7-10; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=34102> (дата обращения: 10.12.2019).
- [13] ГАШЕНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ЗАКРЕПЛЕННОГО В ЦЕНТРАХ НЕЖЕСТКОГО ВАЛА ПРИ ТОЧЕНИИ МНОГОРЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ ЗУБЬЕВ
В.М. Свинин, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»
А.Ю. Прохоров, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов». Забайкальский государственный университет, Чита (Россия)
doi: 10.18323/2073-5073-2016-2-67-75
УДК 621.91.01:543.1 © 2016
- [14] Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков / С.С. Кедров. - М.: Машиностроение, 1978.- 199 с.
- [15] Свинин, В.М. Самоорганизация вторичных автоколебаний при лезвийной обработке / В.М.Свинин //СТИН.- 2006.- №1 - С. 7-13.
- [16] ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ. М.В. Кучугуров, Запорожье, Украина
ISSN 2078-7405. Резание и инструмент в технологических системах, 2015, выпуск 85. УДК 621.9.06-752
- [17] Леонтьев В.И., Леонтьев Б.В. Роль резца в автоколебаниях низкой частоты // Исследование и оптимизация процессов механической обработки при автоматизации технологического проектирования: межвуз. сб. Владивосток, 1976. № 7.С. 70-82.
- [18] <http://www.informdom.com/metalloobrabotka/2014/4/tochenie-frezoi.html>
- [19] <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/pages/turn-milling.aspx>
- [20] <http://tverdysplav.ru/kak-tokarnoe-frezerovanie-mozhet-povysit-effektivnost-rezaniya/>
- [21] <http://vys-tech.ru/2018/02/06/tochenie-frezerovaniem/>

- [22] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.