

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології виготовлення картера ведучого моста
4094- 2301010-10 з дослідженням умов сталості та виникнення
автоколивань у технологічній оброблювальній системі**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП_м-61
спеціальності _____

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

_____ Кавунова Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Барановський В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Окіпний І.Б

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Кавунова Діана Владиславівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення картера ведучого моста 4094-2301010-10 з дослідженням умов сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі

Керівник роботи Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» 09 2021 року № 4/7-791

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.12.2021

3. Вихідні дані до роботи 1. Базовий ТП виготовлення деталі.

2. Програма випуску – 50 000 шт/рік. 3. Креслення вала-шестерні

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проектна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) Карти технологічних наладок, креслення верстатних пристроїв, креслення контрольного приспособлення, результати виконання науково-дослідної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н, доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання

*28 вересня 2021 р.***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	<i>1.12.2021</i>	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>10.12.2021</i>	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	<i>10.10.2021</i>	
4	<i>Проектна частина</i>	<i>10.11.2021</i>	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>2.12.2021</i>	
6	<i>Графічна частина</i>	<i>10.12.2021</i>	

Студент

(підпис)

Кавунова Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барановський В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. При певних умовах механічної обробки можна спостерігати втрату динамічної стійкості процесу різання. Таке явище приводить до виникнення автоколивань різної інтенсивності в технологічній системі. Автоколювання викликають перш за все зниження якості оброблюваної поверхні. А також сприяють передчасному зношенню різального інструменту та виходу з ладу технологічного обладнання. Однією із важливих причин виникнення автоколивань при різанні є динамічна характеристика процесу різання.

Метою дослідження є удосконалення процесу виготовлення картера ведучого моста 4094-2301010-10 з дослідженням умов сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення картера ведучого моста.

Предмет дослідження – технологічні параметри виникнення автоколивань у оброблювальній системі.

Методи дослідження. Виконання роботи базується на основних положеннях технології машинобудування, з використанням стандартних програм обробки експериментальних даних.

Наукова новизна: Досліджено умови виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі та проаналізовано умови стійкості процесу різання.

Практичне значення Розроблено новий технологічний процес, картера ведучого моста та з дослідженням умов сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались на IV міжнародній студентській науково -

технічній конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання" 28-29 квітня 2021.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить___ сторінок, у тому числі ___ рисунки, ___ таблиць, бібліографії із ___джерел на трьох сторінках

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ		
ВСТУП		
1	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1	Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи	8
1.2	Методи вирішення поставлених задач	13
1.3	Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу	14
2	НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	18
2.1	Характеристика об'єкту або предмету дослідження	19
2.2	Оброблення результатів досліджень	19
2.3	Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень	24
3	ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	28
3.1	Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва	28
3.2	Формування технологічного процесу	36
3.3	Визначення припусків на обробку та розмір заготовки	37
3.4	Визначення режимів різання	43
3.4	Розрахунок пристосування	45
4	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	51
4.1	Визначення основних і допоміжних площ цеху	51
4.2	Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці	54
4.3	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
	ВИСНОВКИ	61
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62

ВСТУП

Автоколивання, що утворюються під технологічного процесу різання називаються вібраціями. Цей вид коливань погано впливає на якість поверхні, що обробляється. А також погіршує розмірну характеристику деталі, порушує умови стійкості різця.

Велика кількість досліджень присвячена вивченню різних механізмів виникнення коливань. Однією з основних причин появи автоколивань є процес різання із змінною подачею. Автоколивання не пов'язані з впливом зовнішньої періодичної сили. Такий вид коливань можна спостерігати при роботі на нових, жорстких та збалансованих верстатах. Автоколивання в значній мірі обмежують продуктивність обробки та погіршують якість обробки поверхні. Основною відмінністю автоколивань від вимушених коливань є постійна частота в широкому діапазоні швидкостей, Дуже часто можна спостерігати, що частота автоколивань близька до однієї з частот конструкції.

Шляхи вирішення цієї проблеми можуть бути практичні та теоретичні. Теоретичні шляхи зазвичай полягають у побудові моделі стружкоутворення за умови сталості параметрів різання. Через фундаментальні властивості процесу розглядається нелінійна аналітична модель.

При вивченні автоколивань розглядаються два аспекти нелінійності сили різання. Перший – опис нелінійної сили різання на пряму залежить від зміни товщини стружки. Даний факт підтверджується експериментально встановленим значенням амплітуди коливань. Другий - полягає у розгляді різноманітних відновлювальних ефектів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.

Актуальність теми роботи

Коливальні процеси при механічній обробці на металорізальних верстатах впливають на точність, якість обробленої поверхні, стійкість різального інструменту, продуктивність обробки. У наукових роботах, які стосуються дослідження та зменшення інтенсивності коливань основна увага зосереджена на вивчення причин виникнення коливань; аналізу стійкості технологічної системи «верстат-приспосовування-інструмент-деталь» при обробці різанням; розробленню методичних рекомендацій щодо підвищення вібростійкості.

В залежності від причин виникнення коливання класифікують на вільні, вимушені, параметричні і автоколивання.

Вільні коливання виникають в пружній системі, коли дана система відхиляється від початкового положення рівноваги та підтримуються завдяки силам пружності. У випадку, коли в системі присутні сили опору, тоді вільні коливання загасають. Дослідження закону згасаючих вільних коливань інструменту, деталі або вузла металорізального верстата представляє великий практичний інтерес, який полягає в експериментальних методах визначення всіх характеристик коливальної системи.

Технологічний процес різання при змінних характеристиках подачі і є основними причинами виникнення автоколивань. Дослідження стійкості нелінійних систем описані в працях А.М. Ляпунова Н.Г. Четасва, А.М. Летова. Розробленням теорії абсолютної стійкості займалися вчені А.І. Лурье, М.А. Айзерман, В.Н. Постніков та В.М. Попов. Вивчення методів, які предствалюють перехідні процеси у вигляді траєкторій фазової площини, можна зустріти у роботах А.А. Андроновиа. С.В. Емельянов вивчав сполучення фазових

представлень у поєднанні з аналітичними методами. Метод гармонічного балансу розроблений Н.М. Криловим та Н.Н. Боголюбовим. У працях Г.В. Щипанова, В.С. Кулебакина, Б.Н. Петрова вперше обгрунтовано теорію автоматичного регулювання зі збуренням. Над створенням теорії оптимального керування працювали вчені А.А. Фельдбаум та Н.Н. Красовського,

В сучасному світі застосування теорії автоматичного керування використовується не тільки в технічних системах. Такі процеси спостерігаються в живих організмах, економічних та інших системах. Законам динаміки дані системи не підкоряються на відміну від технічних систем.

Методи дослідження виникнення автоколивань можуть бути практичні та теоретичні. Теоретичні методи полягають у дослідженні моделі зони різання та утворення стружки за умови постійних параметрів режимів різання. Однак, як відомо при процесі різання деякі параметри змінюються і, отже, змінною є і сила різання. У своїй працях Тобіас і Фишвик обгрунтувати формулу зміни динамічної сили різання, як функцію від зміни товщини стружки та зміни величини подачі. Кейнт займався теорією стаціонарного ортогонального точіння, в своїх дослідженнях враховував вплив товщини стружки та переднього кута. Нігма під час проведення розмірного аналізу враховував зміну параметрів точіння: подачі, переднього кута та швидкості різання [22]. В своїх роботах Ліїн і Венг описували силу різання враховуючи зміну кута зсуву.

Н.А. Дроздов у своїх наукових дослідженнях висвітлював питання автоколивальної природи вібрацій при виконанні технологічного процесу точіння. У його роботах було вказано, що хвилястість, яка залишилася на поверхні різання під час обертання заготовки в попередньому циклі та зрушення фаз між хвилями при наступному циклі обертання деталі, є основною причиною появи вібрацій.

Зміна сил різання викликає первинні вібрації, що виникають через нерівномірність припуску або неоднорідність оброблюваного матеріалу. При автоколиваннях відбуваються втрати механічної енергії. Такі втрати

відбуваються внаслідок розсіювання енергії та поповнюються припливом енергії від джерела, що не має коливальних властивостей. Одним із питань дослідження автоколивань при процесі різання було з'ясування природи джерела енергії, що підтримує автоколивання. Виникнення джерела енергії, що підтримує автоколивання при терті або при різанні, є наслідком неоднозначності залежності сили від шляху за період коливання.

Вчені Plusty [23] і Tobias [24] розглядали причини та умови виникнення регенеративних коливань. Такий вид коливань виникає при врізному точінні диска різцем з $\lambda=0^0$ (рис.1.1).

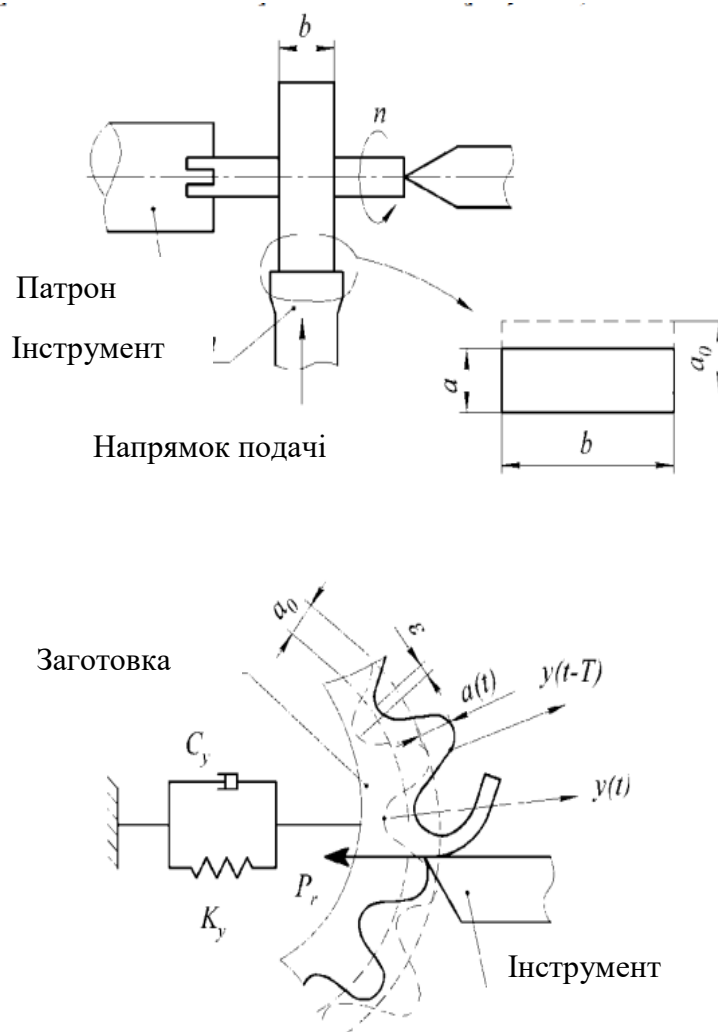


Рисунок 1.1 - Одновимірна модель ортогонального точіння

Умови стійкої обробки, розглядалися в роботі [25]. Дослідження проводилися при змінній частоті обертання шпинделя n . Зони стійкої обробки розташовані вище так званого, асимптотичного кордону стійкості і мають вигляд «пелюстків» (рис. 1.2).

При побудові «пелюсткової діаграми стійкості» використовується лінійна теорія стійкості. Відповідно до даної теорії амплітуда автоколивань повинна стрімко зростати по експоненті на ділянці нестійкої обробки. Проте при проведенні практичних досліджень це не відбувається, а спостерігається стабілізація амплітуди автоколивань на певному значенні.

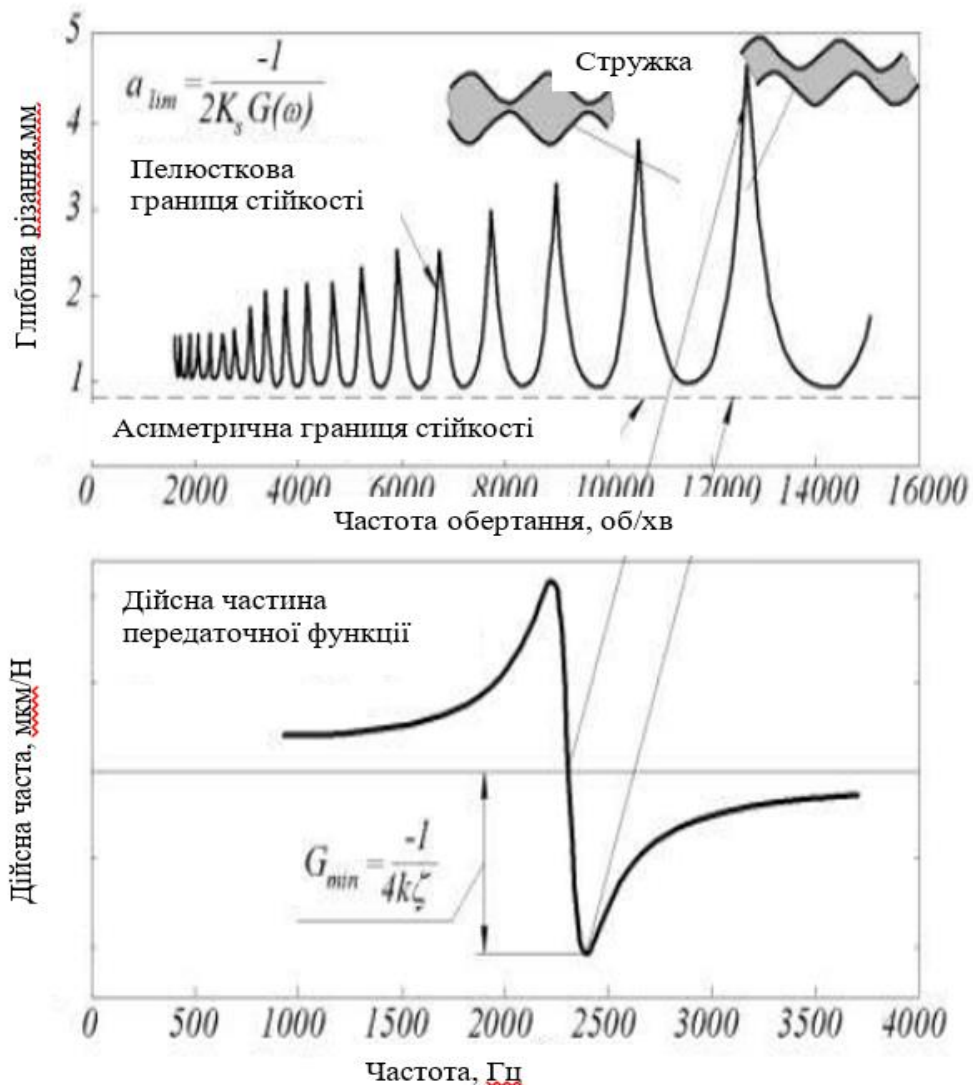


Рисунок 1.2 - Діаграма стійкості обробки

З метою дослідження способу обмеження амплітуди коливань Hanna і Tobias [24,25] досліджували стійкість обробки, при цьому жорсткість системи і статичну характеристику різання розглядали у вигляді поліномів третього степеня в нелінійній постановці. В працях даних вчених зазначається, що ці нелінійності і будуть обмежувати амплітуду автоколивань. В дослідженнях Tobias [24] відмітив, що коефіцієнт різання K_r можна представити вигляді комплексного числа. Дане число враховує зміни в передньому куті інструменту, форму хвилястості, процес демпфування, який виникає під час тертя між задньою поверхнею інструменту та хвилястістю, яка утворюється на робочій поверхні [11] (рис.1.3).

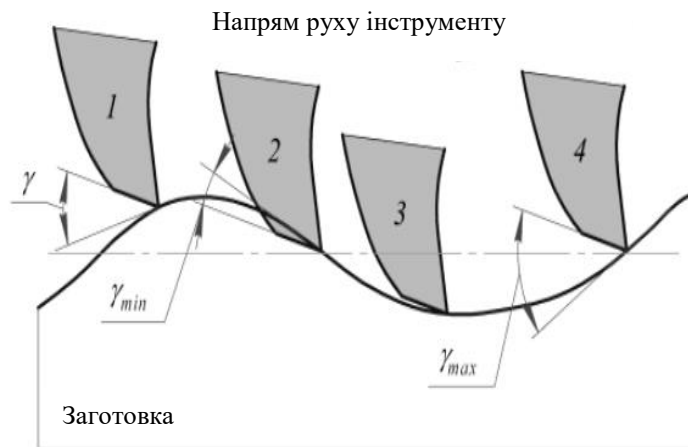


Рисунок 1.3 - Механізм процесу демпфування при різанні

Відомі розрахункові моделі автоколивань при процесі різання будуються на одній із гіпотез: падаючої характеристики залежності «сила - швидкість різання» (А.І. Каширін); запізненні зміни сили різання від зміни переміщення В. А. Кудінов, М.Є. Ельясберг); зміщення коливань за рахунок зв'язку переміщень вершини різця відносно оброблюваної деталі (В.А. Кудінов).

На сьогоднішній день необхідно вивчити методи та засоби управління автоколиваннями. А також навчитись прогнозувати їх появу на ранніх етапах, тобто ще під час процесу проектування технологічних процесів необхідної механічної обробки деталей. Питання управління автоколиваннями під час

процесу обробки різанням є актуальним питанням. Вивчивши його можна досягти необхідної точності та продуктивності обробки, а також спроектувати економічно обґрунтовані технологічні процеси механічної обробки деталей.

На даний час є дуже мало простих методів розрахунку технологічних процесів різання на стійкість, а отже, виникає необхідність в науково обґрунтованих способах зменшення автоколивань.

1.2 Методи вирішення поставленої проблеми

Змінна сила різання спричиняє виникнення автоколивань. Дана сила виникає внаслідок нелінійності деформації поверхневого шару матеріалу, що обробляється або від утворення наросту на передній поверхні інструменту та його періодичного відділення, яке сприяє зміні геометрії ріжучого інструменту в досліджуваній кінематичній системі. Можемо зробити висновок, що появляється змінна сила різання, яка залежить від зміни фактичної швидкості різання під час обробки. [11] В літературних джерелах зустрічаються графічні залежності, які характеризують залежність сили різання, зокрема її складової P_z , від швидкості різання V (рис.1.4)

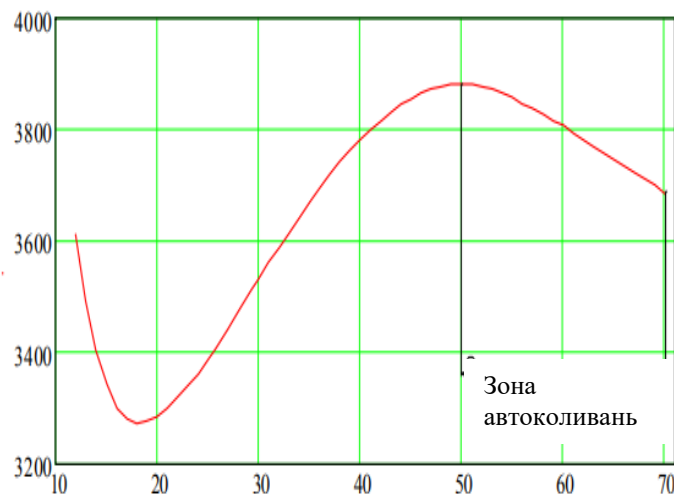


Рисунок 1.4 - Зміна складової сили різання P_z залежно від швидкості різання

V , при обробці сталі, $t = 4$ мм, $S = 0.49$ мм / об

Розглянемо процес виникнення автоколивань за рахунок падаючої характеристики сили різання. Нехай досліджувальна система має одну ступінь свободи. Будемо умовно розглядати коливання одного елемента, а саме токарного різця. Відповідно, рівняння руху буде представлено диференціальним рівнянням другого порядку:

$$mz'' + Gz' + Cz = P(v - z') \quad (1.1)$$

де: m - приведена маса різця;

G - демпфування;

z - переміщення вершини різця;

v - швидкість різання;

$P(v - z')$ - функція, що характеризує зміну сили різання;

C - жорсткість;

P - величина сили різання;

z' - відносна швидкість різання.

За допомогою даного рівняння можна описати стійкість досліджуваної системи на зростаючих і падаючих ділянках в залежності від $P(v)$ (рис.1.3). Вирішивши це рівняння (1.1) робимо висновок, що система втрачає стійкість на спадаючій частині графічної залежності, тобто саме там і з'являються автоколивання.

Досліджуючи динаміку технологічної оброблювальної системи (ТОС) під час різання, для доступного розуміння математичного опису процесів, використовують лінійні моделі. Вони можуть бути з однією або декількома степенями свободи. Як відомо, що основною умовою виникнення автоколивань під час різання є нелінійність параметрів. Вони відносяться до пружної системи верстата та процесів, що відбуваються під час різання [15]. Тому, за допомогою лінійних диференціальних рівнянь, які служать для опису досліджуваної системи [15] можна визначити лише причини виникнення автоколивань. Врахування основних нелінійностей динаміки ТОС потрібне з метою оцінки умов проведення технологічного процесу різання зі сталою обмеженою амплітудою

автоколивань. При даній амплітуді можна досягти відповідної якості та продуктивності обробки. Велику складність представляє визначення нелінійних впливів для моделей технологічного процесу різання з багатьма степенями свободи

Питанням виникнення автоколивань при різанні присвячена велика кількість наукових праць вчених [4], [9], [11], [15]. Можна умовно за змістом та суттю згрупувати ці роботи. В основу покладемо способи боротьби з причинами виникнення автоколивань.

1. Збільшення жорсткості технологічної наладки. В наслідок даного способу спостерігається підвищення частоти автоколивань, а отже збільшення швидкості коливань і підвищення втрат енергії коливань. Даний метод часто використовується на практиці для зовнішнього точіння. Та до недоліків методу відносимо його непридатність для розточувального інструменту, який відповідно до його конструктивних особливостей не може бути достатньо жорстким.

2. Установка віброгасників. Дані пристосування спричиняють додаткові втрати енергії коливань. відомо два види віброгасників: ударної дії та гідравлічні. Перший вид є достатньо простий по конструкції та надійний в експлуатації. Але ми не можемо використати його при розточуванні, тому що віброгасник має специфічну конструктивну форму та габарити і не входить в розточуваний отвір. Другий вид має складніше конструктивне виконання. Його експлуатація вимагає наявності в'язкої рідини і строгої герметичності конструкції. Проте в роботі з ріжучим інструментом характеризується універсальністю.

3. Зміна геометрії ріжучої кромки. Даний спосіб використовується з метою підвищення втрат на тертя. Для цього на задній поверхні леза робиться невелику негативну фаску (0,5–1,5 мм) під кутом $7 \dots 10^\circ$. До переваг методу відносимо значне збільшення стійкості процесу різання. До недоліків – збільшення тепловиділення в зоні різання, що сприяє погіршенню умов роботи інструменту.

Також спостерігається зниження швидкості різання, а як результат – низька продуктивність обробки.

Даний метод недоцільно використовувати в сучасному машинобудуванні. Отже, ефективним способом збільшення стійкості процесу різання при зазначених умовах роботи може бути застосування гідравлічних віброгасників. Справедливість цього рішення підтверджується практикою. Так, фірма Sandvik Coromant випускає різальний інструмент зі спеціальними вбудованими гідравлічними віброгасниками. Вони мають назву Silenttools, та характеризуються високою стійкістю процесу різання, навіть тоді коли інструмент є недостатньо жорсткий [6].

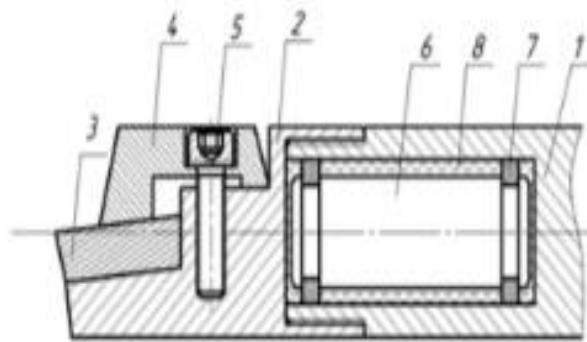


Рисунок 1.5 – Розточний різець з вбудованим віброгасником:

- 1 – хвостовик державки; 2 – державка; 3 – пластина ріжуча; 4 – захват;
5 – гвинт; 6 – віброгасник; 7 – гумове кільце; 8 – робоча рідина.

За допомогою вивчення динаміки верстатів ми можемо зрозуміти причини вивчення автоколивань, включаючи непрості багатокординатні зв'язки у даній системі. Отже, для представлення адекватної математичної моделі не доцільно обмежуватись однією координатою. Як мінімум, необхідно розглядати двох координатну модель, яку можна використовувати для дослідження умов виникнення автоколивань та процесу сталості системи. Вважається однією із основних причин автоколивань це оброблення «за слідом». Даний вид важливе

збурення повинен фігурувати у математичній моделі ТОС, а вона має описувати замкненість усієї системи через технологічний процес різання.

Для створення математичної моделі ТОС можна використати динамічну модель токарного верстата, вірніше його поперечного перерізу [15] (рис. 1.6).

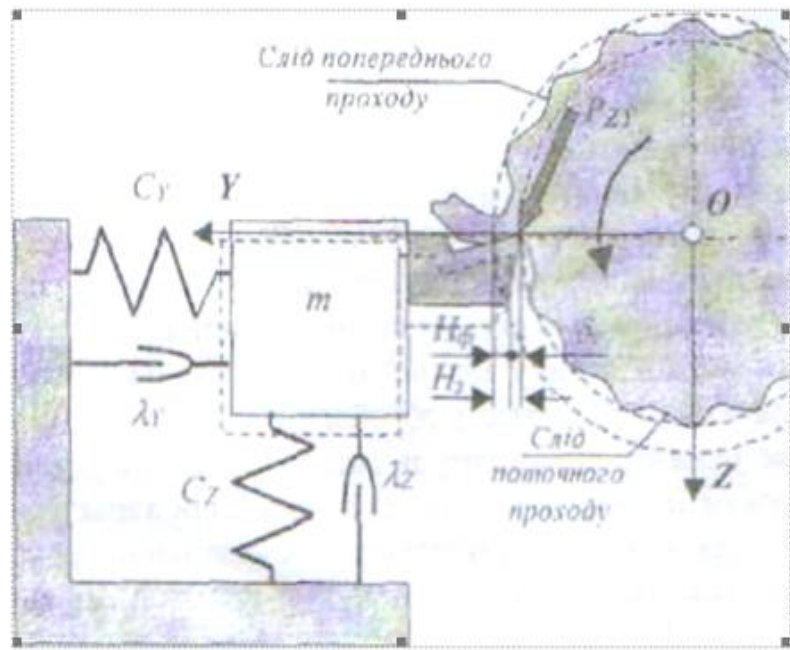


Рисунок 1.6 - Динамічна схема ТОС токарного верстата

Маємо пружну систему, яка зображена одномасовою динамічною системою з двома ступенями рухомості за координатою Z і координатою Y . Маса наділена пружними зв'язками з основою жорсткістю C_z і C_y відповідно, Теж є зв'язки в'язкого тертя з коефіцієнтами пропорційності λ_z і λ_y . Під час процесу різання, пружна система деформується, тому що на неї діє складової P_z сили різання. Відповідно, різець займає положення, яке зазначається пунктиром на рис. 1.5.

В інженерній практиці розроблено цілий ряд методів, за допомогою яких можна визначити автоколивання в досліджуваних нелінійних системах.

1.2 .Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботи

В даний час найбільш важливим напрямом науково-дослідних робіт є вивчення причин, що викликають автоколювання та методів зниження їх інтенсивності. Отже, забезпечення стійкості процесу різання є однією з основних умов, які повинні задовольняти умови роботи технологічної систему. При аналізі стійкості процесу різання необхідно розглядати спільно як закономірності, супутні деформації металу, що обробляється, так і структуру механічної системи, що відображає верстат.

Втрата стійкості процесу різання є основною причиною виникнення автоколювань. Даний факт негативно впливає на якість обробки, що приводить до швидкого зношування ріжучого інструменту.

До завдань кваліфікаційної роботи магістра входить:

- дослідити умови сталості та виникнення автоколювань у технологічній оброблювальній системі;
- описати модель утворення автоколювань;
- дослідити траєкторії руху вершини інструменту при автоколюваннях;
- дослідити амплітуди автоколювань за осями Z та Y від жорсткості C_z , C_y технологічної системи для приведеної маси;
- дослідження залежностей амплітуд автоколювань за осями Z та Y від діаметру заготовки;
- вдосконалити технологічний процес виготовлення картера ведучого моста 4094-2301010-10.

2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Автоколивання - це процес, при якому сила, яка підтримує коливальний рух, даним рухом створюється і управляється, а при зменшенні цього руху зникає. Автоколивання характеризуються тим, що вони створюються і підтримуються джерелами енергії, що не наділені коливальними властивостями. Від режимів різання частота автоколивань практично не залежить, а залежить в основному від жорсткості системи та величини мас.

Величина інтенсивності вібрацій залежить від багатьох факторів: жорсткості системи ВПД, елементів режиму різання, матеріалу інструмента, геометричних параметрів інструменту. [27] Вібрації, а точніше їх інтенсивність зростає зі збільшенням ширини "b" і відповідно із зменшенням товщини "a" шару матеріалу, що зрізається (рис.2.1). Розрізняють так звану "критичну зону" швидкостей різання, в межах якої посилюються автоколивання. В свою чергу ширина "критичної зони" залежить від жорсткості системи, величини зрізаного шару, значення параметрів "b" і "a", форми та геометрії інструменту та фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу.

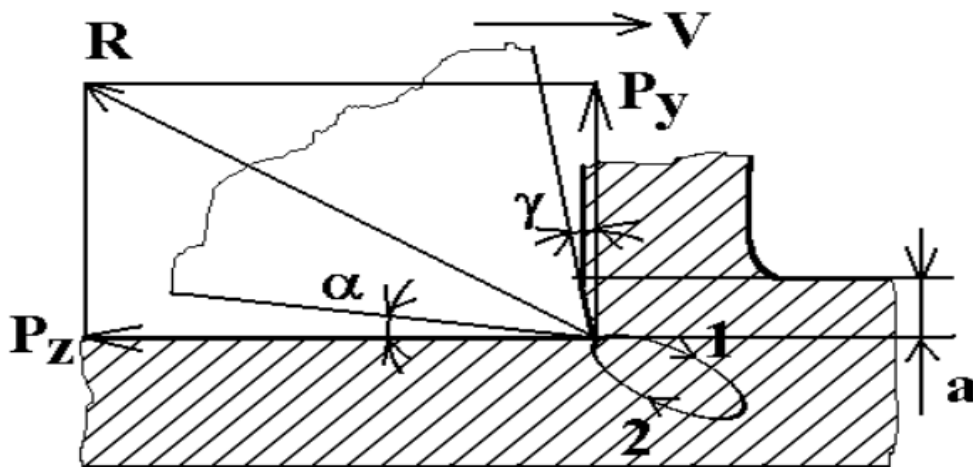


Рисунок 2.1 - Траєкторія руху вершини інструменту при автоколиваннях

Коливальна система верстату є системою з розподіленими параметрами налічує нескінченне число ступенів свободи. Прийнято розглядати систему, як кінцевим числом ступенів свободи. У машинобудуванні металорізальний верстат має дві коливальні системи: систему заготовки та систему інструменту.

Перелічені системи характеризуються різними частотами власних коливань. Тому автоколивання при різанні ділять на два види: вібрації першого роду - низькочастотні коливання заготовки, вони спричиняють грубу хвилястість обробленої поверхні, та вібрації другого роду- коливання інструменту, вони здатні створюють дрібні брижі на обробленої поверхні.

При русі різця в сторону дії сили різання (ділянка 2) товщина зрізу, а отже, і сила різання більше, ніж при русі різця назустріч силі різання (ділянка 1). Виникає неоднозначність зміни сили різання по переміщенню, тобто сила різання як би підштовхує систему в такт коливанням, що призводить до наростання їх інтенсивності до величини, що відповідає стану енергетичної рівноваги (рівність енергії, що надходить в коливається систему і витрачається на подолання сил опору) і встановлюється режиму автоколивань.

Інтенсивність вібрацій залежить також від зміни сил різання при обробці хвилястою поверхні, утвореної автоколиваннями після попереднього проходу. Таким чином, первинні автоколивання складаються з вторинними резонансними вимушеними коливаннями.

Якщо розглядати диференціальні рівняння автоколивальної системи, то вони будуть нелінійні. З метою їх спрощення використовують метод лінеаризації. А відповідно рішення даних лінійних диференціальних рівнянь дає можливість знайти умови виникнення автоколивань. За допомогою відомих формул можна розраховувати параметри, що визначають рух вершини різця. Це і буде сума двох рухів, які зсунуті один відносно одного по фазі на кут q :

$$\begin{aligned} y &= A_y + \sin(\omega t) \\ z &= A_z \sin(\omega t + q) \end{aligned} \tag{2.1}$$

де: A_y та A_z - амплітуди коливань в напрямках Y і Z .

Для вібрацій другого роду $A_z = (2 - 2,5) A_y$.

Підвищення точності та збільшення продуктивності обробки різанням є основною задачею сучасного машинобудування. Ці параметри залежать від стану пружної системи верстата, а також від специфіки процесу стружкоутворення. Покращення динамічних властивостей системи різання та підвищення її продуктивності відбувається завдяки жорсткій конструкції верстатів та інструментів. Покращення властивостей відбувається завдяки використанню нових інструментальних матеріалів та за вибору оптимальних режимів обробки. Для того, щоб отримати якісну оброблювальну поверхню необхідно добитися стійкості процесу механічної обробки. На верстатах виникають вібрації двох видів: вимушені і автоколивання. Для вимушених коливань джерелом служать зовнішні періодичні сили. Даний вид коливань виникають в зубчастих і ремінних передачах, сильно зношених механізмах.

Механізм виникнення автоколивань є зовсім інший. Автоколивання не мають зв'язку із зовнішньою періодичною силою. Вони виникають при роботі на нових та жорстких верстатах при будь якому діапазоні режимів обробки. Автоколивання мають вплив на продуктивність обробки, негативно впливають на якість оброблювальної поверхні та спричиняють швидке зношення різця. Характерною рисою автоколивань є постійна частота в діапазоні швидкостей, Зазвичай частота автоколивань є дуже близькою до будь якої з власних частот конструкції.

Як відомо з літературних джерел, що швидкість різання не впливає на частоту автоколивань, а також характер стружкоутворення не є джерелом вібрацій. [22] Існує відома модель коливальної системи різання, яка працює по сліду від попереднього проходу (рис.2.2). Будь-яке випадкове збурення виводить пружну систему верстата зі стану рівноваги, таким чином викликаючи затухаючі коливання. В наслідок цього на обробленій поверхні виникають хвилясті сліди від інструменту. Частота таких нерівностей тісно пов'язана з

власною частотою коливань досліджуваної пружної системи. При виконанні подальшого руху різець знімає змінну товщину зрізу, що спричиняє зміну сили різання та розгойдування даної системи до певної амплітуди.

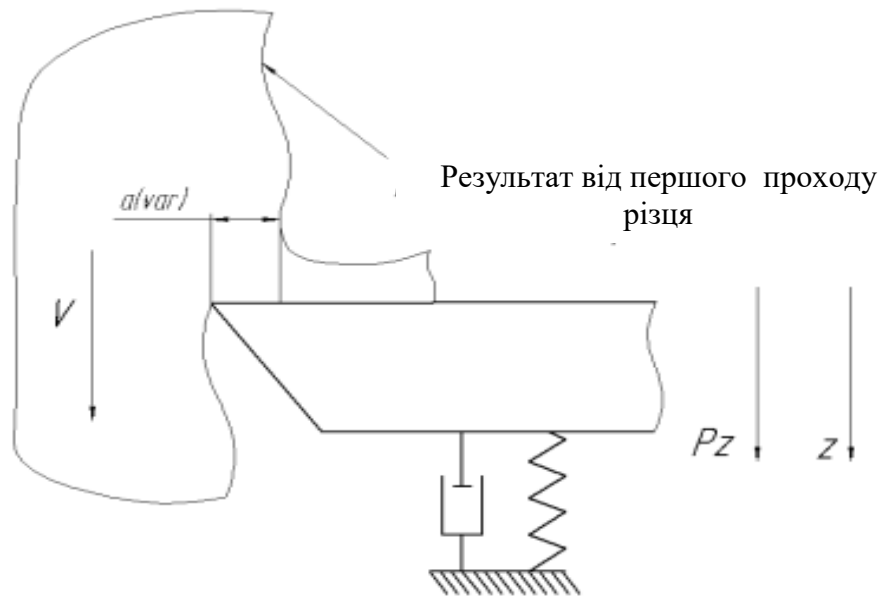


Рисунок 2.2 - Механізм виникнення автоколивань при роботі по сліду

Під час нестійкого процесу різання спостерігається утворення елементної стружки, а інколи є нестійкий нарост. При нестійкому стружкоутворенні проходить формування елемента стружки та подальший його зсув. Отже, відбувається постійне накопичення енергії. Цей факт сприяє до періодичної зміни сили різання, а отже в подальшому і виникнення вібрацій. Такий тип вібрацій не можемо відносити до вимушених коливань, тому що частота стружкоутворення напряму залежить від швидкості. Правильно буде розглядати цей процес як взаємодію автоколивальної системи процесу, під час якого спостерігається деформація металу в зоні стружкоутворення та пружною системи верстата. Якщо зрізається невелика товщина зрізаного шару при високій жорсткості верстата, такі такі вібрації мають незначну амплітуду. В такому

випадку систему різання вважають стійкою, а коливання - вимушеними. І навпаки, при великій товщині зрізу і невисокої жорсткості верстата, амплітуда має великі значення, а система – нестійка.

У працях вченого А. І. Каширіна в якості джерела автоколивань приймається нелінійна залежність сили тертя стружки до передньої поверхні інструменту в залежності від швидкості різання (рис.2.3) Поведінку даної системи можна описати за допомогою моделі Ван дер Поля. Принципова схема включає де-яку масу на стрічці, яка рухається з постійною швидкістю та на своєму шляху зустрічає силу пружного опору. У своїх роботах А. І. Каширін показав, що при нелінійній характеристиці сили тертя стружки виникає автоколивальний режим роботи. Проте, за результатами інших експериментальних даних, автоколивання може спостерігатися і у відсутності нелінійних ділянок Залежно сили різання від швидкості, що не можна пояснити з точки зору теорії А.І. Каширіна. Нелінійна ділянка в залежності сили різання від швидкості тісно пов'язана із зоною наростуутворення та тепловими процесами. Повільність теплових процесів при зміні швидкості не дозволяє змінювати стан стружки і різця, а отже і не змінюється значення сили різання. І як результат, немає умов для припливу енергії, щоб підтримувати автоколивальний режим роботи.

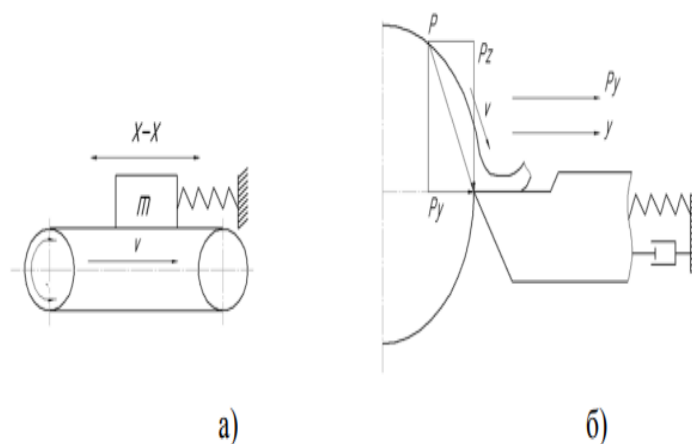


Рисунок 2.3 - Автоколивальні системи з нелінійним тертям:

а) модель Ван дер Поля; б) Модель автоколивань по А. І. Каширину

В роботі [13] вказано на запізнення величини сили різання в залежності від зміни товщини зрізу (рис.2.4).

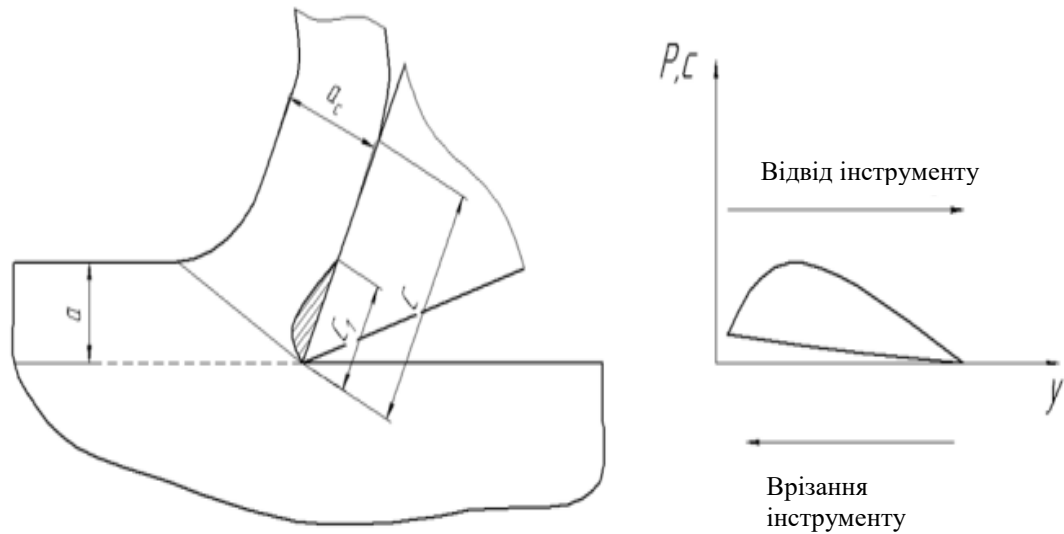


Рисунок 2.4 - Модель утворення автоколивань

Під час врізання, значення величини площі контакту стружки з передньою поверхнею спостерігається менше, а при відведенні - більше, ніж при процесі різання з постійною товщиною зрізу. Цим і пояснюється затримка сили різання, тому що сила різання безпосередньо пов'язана з величиною площі контакту.

Високочастотні автоколивання при процесі різанні на відміну від низькочастотних присутні при виконанні технологічних процесів практично завжди. І як висновок, а джерелом автоколивань служить процес стружкоутворення, зокрема зсув елемента стружки.

2.2 Оброблення результатів досліджень

Із теоретичних досліджень відомо, що координатний зв'язок маси m з основою можна описати приведеною жорсткістю C разом з коефіцієнтом в'язкого тертя λ . [15] Рух системи відносно прийнятої деформації δ за вказаною координатою можна записати двома диференціальними рівняннями:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \delta_y}{dt^2} m + \lambda_y \frac{d\delta_y}{dt} + C_y \delta_y = P_y; \\ \frac{d^2 \delta_z}{dt^2} m + \lambda_z \frac{d\delta_z}{dt} + C_z \delta_z = P_z; \end{cases} \quad (2.2)$$

Дана математична модель [30] використовується для алгоритму, за яким є відповідна програма для вирішення даної задачі на ЕОМ.

Моделювання виконується за допомогою чисельного методу. Встановлено крок інтегрування δt у i -тій функції. Розрахунки проводяться за кутовою координатою контуру оброблювальної заготовки та j -го оберту деталі. Запропонована структура алгоритму дає змогу врахувати вплив обробки «за слідом». У тому випадку, коли похибка δH_{ji} що виникла внаслідок пружних деформацій, на першому провертанні заготовки сприймається системою, як зміна глибини різання, тобто $H_{j,i} = H_z + \delta H_{j-1,i}$. На всіх інших обертаннях заготовки – аналогічно.

Експерименти у проводилися для визначення залежностей амплітуди коливань за вказаними осями координат від жорсткості за віссю Z. А також в залежності від приведеної маси динамічної системи.

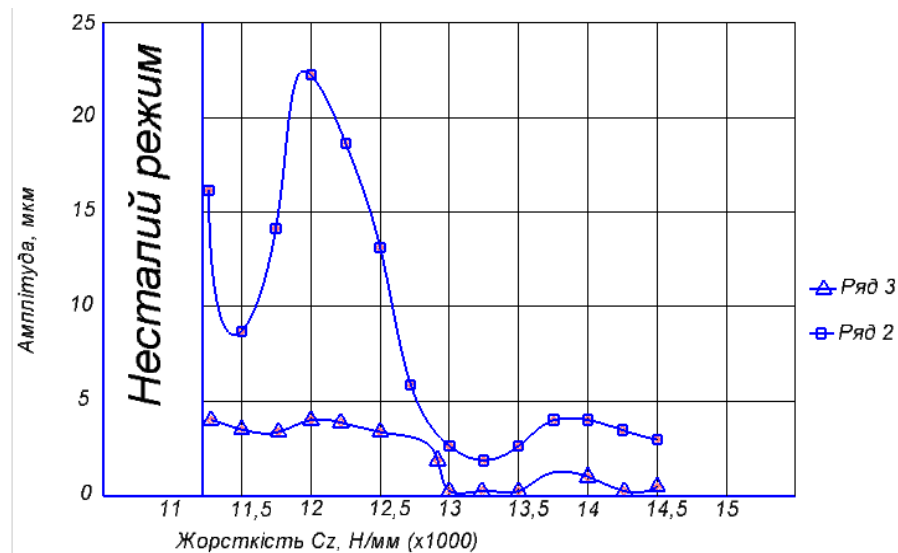


Рисунок 2.5. - Графічні залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від жорсткості C_z ТОС для приведеної маси 15 кг

При дослідженні жорсткості ТОС спостерігається зниження величини у напрямку осі Y . А також траєкторія руху вершини різця поступово змінює свою форму у поперечному перерізі.

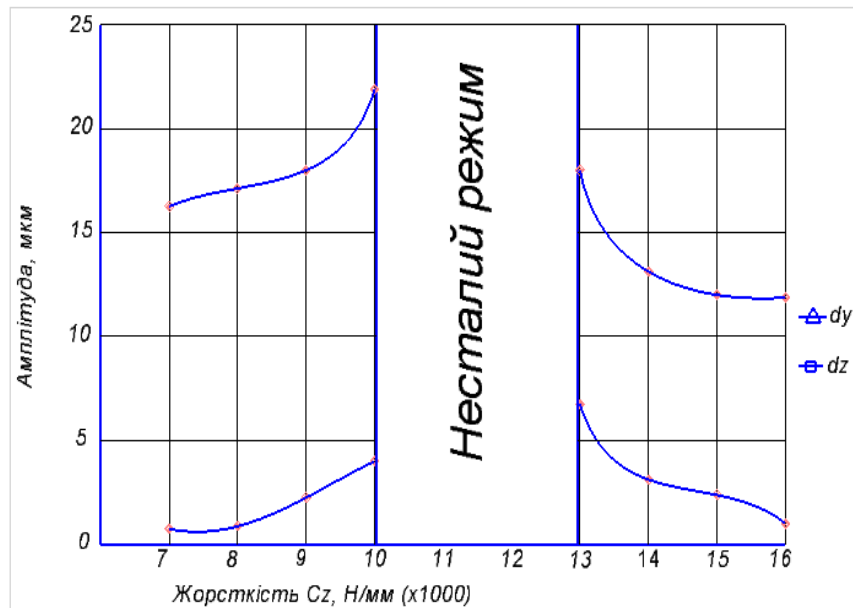


Рисунок 2.7- Графічні залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від жорсткості C_Y ТОС для приведеної маси 15 кг

Проводимо дослідження режиму автоколивань ТОС в залежності від діаметру заготовки. Діаметр заготовки безпосередньо впливає на дійсну глибину різання. А в свою чергу глибина різання є важливою для процесу різання і значно впливає на силу різання.

Отже, через замкненість ТОС, діаметр заготовки має суттєвий вплив на вид та частоту автоколивань.

2.3 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

В першому та другому розділі роботи досліджено умови сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі, а також описано модель утворення автоколивань. А також досліджено траєкторії руху вершини інструменту при автоколюваннях. Побудовано графічні залежності амплітуди автоколивань за осями Z та Y від жорсткості C_Z , та C_Y технологічної системи для приведеної маси та залежності амплітуд автоколивань за осями Z та Y від діаметру заготовки;

Проаналізувавши теоретичні та експериментальні дослідження робимо висновок, що робота оброблювальної технологічної системи при різанні залежить від жорсткості C_Z відповідно за зміною координати Z . Спостерігаємо наступні режими роботи: несталий - при $C_Z < 11000 \text{ Н/мм}$, сталий - при $C_Z > 15000 \text{ Н/мм}$. Також між цими показниками будемо мати режим усталених автоколивань. Відносно координати C_Y , то зона несталих коливань лежить в межах $11000 \text{ Н/мм} < C_Y < 12000 \text{ Н/мм}$. Відповідно зліва та справа фіксуємо зони усталених автоколивань. Система менше реагує до змін величин жорсткостей за координатою Y у порівнянні з координатою Z .

При дослідженні залежності амплітуди коливань від зміни діаметру заготовки спостерігаємо три режими: несталий - при $D_3 < 45 \text{ мм}$, сталий - при $D_3 > 75 \text{ мм}$, і відповідно усталені колювання спостерігаємо при $45 \text{ мм} < D_3 < 75 \text{ мм}$.

Для забезпечення сталості технологічної системи необхідно підібрати раціональну геометрію інструмент. При точінні правильний вибір геометрії інструменту, особливо головного кута в плані (до 90°) дозволяє зменшити ширину шару, що зрізається в кілька разів без виникнення вібрацій. Тому вибір геометричних параметрів інструмента слід вести не тільки залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу деталі, але і в залежності від жорсткості технологічної системи.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Службове призначення та характеристики об'єкту виробництва

Картер ведучого моста 4094-2301010-10 відноситься до картерів комбінованого типу, тобто його конструкція це суцільнолитий корпус з штампованою із знімною кришкою. [18]

Заготовки такого типу виготовляється методом литва в земляні формі, ми маємо матеріал заготовки — сталь 35Л. Аналізуючи об'єкт виробництва зазначаємо, що зі сторони різьбових отворів М12-1,25-6Н кріпиться кришка редуктора за допомогою 8-ми болтів Ø12 мм. З протилежного боку встановлено кришку, яка приварюється під час механічної обробки картера. До фланців, за допомогою болтів кріпиться кожух піввісі і вона входить у зачеплення із водилом зовнішнього типу.

Головними технічними вимогами, які ставляться до деталі картер є:

- забезпечення співвісності отворів Ø70 мм в межах 0,05мм,
- досягнення величини співвісності зовнішньої поверхні на фланцях в межах 0,06 мм.

Представляємо заводський технологічний процес механічного обробки картера ведучого моста 4094-2301010-10.

005 Горизонтально-розточна

Підготовка чорнових баз.

010 Горизонтально-розточна

Чорнове оброблення фланців картеру

015 Радіально-свердлильна

Свердління 8-ми отворів під різь М12

020 Вертикально-свердлильна

Нарізання різі М12 у 8-ми отворах

025 Горизонтально-розточна

Чистова обробка фланців картеру

030 Горизонтально-розточна

Нарізання різі $K \frac{1}{2}''$ та $K \frac{1}{8}''$

035 Токарно-гвинторізна

Чистова обробка фланців з внутрішньої сторони

040 Радіально-свердлильна

Свердління отворів $\varnothing 12$ на фланцях.

045 Довбальна

Довбання пазів під шпонку.

Недоліком виконання даного технологічного процесу є не зовсім правильною 010 операція, яка триває довгий час та вимагає велику кількість верстатів. Технологічні операції свердління отворів $\varnothing 32$ треба здійснювати на операції 015. Також слід об'єднати операції 035 та 025, що дозволить зменшити кількість переустановлень та збільшити завантаження верстатів на даній операції. [1]

На задану програму випуску 50000 шт слід би застосувати багатошпindelну свердлильну головку. А конкретно для свердління отворів $\varnothing 12$ та різі M12, що дозволить знизити час на обробку даних отворів.

Визначаємо тип виробництва:

$$K_{3,0} = \Sigma O_i / \Sigma P_i, \quad (3.1)$$

де, ΣO_i – загальна кількість операцій, яка виконується на робочих місцях;

ΣP – загальна кількість робочих місць.

Для встановлення форми організації виробництва беремо за основу такий технологічний процес:

005 Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець $\varnothing 32$ в розмірі $14 \pm 0,2$
2. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ на $l = 18 \pm 0,2$
3. Розточити фаску під $< 45^\circ$ витримавши розмір $\varnothing 260^{+0,185}$
4. Підрізати торець $\varnothing 266$ в розмірі $l = 125 \pm 0,5$

010 Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\varnothing 258_{-1,15}$ на чорно
2. Підрізати торець в розмірі $177_{-0,4}$ від осі деталі
3. Обточити поверхню $\varnothing 203_{-1,15}$ з підрізкою торця $2,5_{-0,25}$
4. Розточити отвір $\varnothing 65^{+0,74}$
5. повернути деталь у пристосуванні на 180^0
6. Повторити перехід $1 \div 4$

015 Радіально-свердлильна

1. Свердлити отвір витримавши розміри $\varnothing 10,70^{+0,2}$ на $l = 30 \pm 0,2$
2. Повторити перехід 1 сім разів
3. Розсвердлити 8 фасок витримавши розміри $1,5 \times 45^0$

020 Вертикально-свердлильна

1. Нарізати різь $M12 \times 1,25-6H$ на $l = 24 \pm 0,2$
2. Повторити перехід 1 сім разів

025 Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\varnothing 255_{-1,15}$ на чисто
2. Обточити поверхню $\varnothing 200_{-0,046}$
3. Підрізати торець витримавши розмір $l = 10 \pm 0,2$ на $\varnothing 202^{+1,15}$
4. Розточити отвір $\varnothing 70^{+0,046}$
5. Розточити фаску в отворі $\varnothing 70$
6. Повернути деталь на 180^0
7. Повторити переходи $1 \div 5$

030 Горизонтально-розточна

1. Цекувати отвір $\varnothing 40^{+0,62}$
2. Свердлити отвір під різь $K \frac{1}{2} //$ витримавши розмір $\varnothing 18,25^{+0,24}$
3. Розточити фаску в отвір під різь $K \frac{1}{2} //$
4. Нарізати різь $K \frac{1}{2} //$
5. Свердлити отвір під різь $K \frac{1}{8} //$, $\varnothing 8,7^{+0,14}$
6. Розсвердлити фаску в отворі під різь $K \frac{1}{8} //$

7. Нарізати різь $K \frac{1}{8}$ //

035 Радіально-свердлильна

1. Свердлити отвір $\varnothing 12^{+0,33}_{+0,15}$ на $l = 10 \pm 0,2$

2. Повторити перехід 1 вісім разів

3. Свердлити отвір $\varnothing 32^{+0,62}$

4. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0

5. Повторити переходи $1 \div 3$

Після проведених розрахунків коефіцієнт закріплення операцій $K_{3,0}$ рівний:

$$K_{3,0} = 89,52 / 14,41 = 6,2$$

Оскільки $1 < K_{3,0} < 10$, то встановлюємо багатосерійність виробництва.

Визначаємо організаційну форму виробництва за коефіцієнтом потоковості:

$$Q_{\delta} = 8 \times 952 \times 0,6 / 197,9 = 23,1$$

Оскільки $N_{\delta} > Q_{\delta}$, то приймаємо потокову організаційну форму виробництва.

Таблиця 3.1 - Визначення кількості верстатів та кількості закріплення операцій

Операція	T_o , хв.	$T_{шт.}$, хв.	C_p , шт.	$C_{п.}$, шт.	$\epsilon_{з.ф.}$	О
1	2	3	4	5	6	7
005 Горизонтально-розточна	2,7	8,8	2,3	3	0,77	1,04
010 Горизонтально-розточна	7,01	22,8	5,9	6	0,98	0,8
015 Радіально-свердлильна	1,5	2,1	0,5	1	0,5	1,6
020 Вертикально-свердлильна	0,8	1,04	0,3	1	0,3	2,67
025 Горизонтально-розточна	4,7	15,8	4,1	5	0,82	0,97
030 Горизонтально-розточна	0,8	2,6	0,7	1	0,7	1,14

Продовження таблиці 3.1						
1	2	3	4	5	6	7
035 Радіально-свердлильна	1,6	2,3	0,6	1	0,6	1,3
040 Горизонтально-протяжна	0,03	0,05	0,01	1	0,01	80
Всього		55,5	14,41	19		89,52

Обробку фланців картера проводять в декілька переходів, що пов'язано із розмірами деталі. Фаски $1,6 \times 45^\circ$ в отворах $M12 \times 1,25-6H$ є не технологічні, технологічність буде забезпечувати фаски $1,5 \times 45^\circ$. [19]

Встановлення квалітету та жорсткості поверхонь деталі приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Встановлення квалітету та жорсткості деталі

№, п/п	Назва поверхні	Кількість поверхонь	К-сть уніфікованих поверхонь	Квалітет, IT	Жорсткість, R_a
1	Отвір $\varnothing 12$	18	-	13	12,5
2	Отвір $\varnothing 32$	2	2	13	12,5
3	Різь $M12$	8	-	7	6,3
4	Отвір $\varnothing 70$	2	2	8	1,6
5	Отвір $\varnothing 250$	1	1	9	3,2
6	$\varnothing 266$	1	1	13	12,5
7	$\varnothing 312$	1	1	11	3,2
8	$\varnothing 255$	2	2	14	12,5
9	$\varnothing 200$	2	2	9	3,2
10	Різь $K \frac{1}{2}''$	1	-	7	6,3
11	Різь $K \frac{1}{8}''$	1	-	7	6,3
12	$\varnothing 190$	2	2	12	12,5
13	Ширина 12	4	4	12	3,2
14	Глибина 5	2	2	13	6,3
15	Торець $\varnothing 200$	2	2	13	12,5
	Всього	49	21		

Матеріал заготовки: вуглецева сталь марки 35Л.

Для порівняння беремо литво в кокіль та земляні форми. Використовуючи класичний метод розрахунку, приймаємо метод литва в земляні формі.

Встановлюємо методи обробки поверхонь та заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Встановлення методів обробки поверхонь

№ п/п	Розмір, мм	R _a	Допуск, мм		Уточнення, мм	
			познач.	величина	формула	розрахунок
1	Ø250 ^{+0.072} Заготовка Розточування: чорнове напівчистове чистове	3,2	T _δ	72	$\varepsilon_p = T_3 / T_\delta$ $\varepsilon_1 = T_3 / T_1$ $\varepsilon_2 = T_1 / T_2$ $\varepsilon_3 = T_2 / T_3$ $\varepsilon_p = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 \times \varepsilon_3$	$\varepsilon_p = 40,3; n=3$ $\varepsilon_1 = 1,57$ $\varepsilon_2 = 2,57$ $\varepsilon_3 = 10$ $\varepsilon_p = 40,3$
			T ₃	2900		
			T _ч	1850		
			T _{н.ч.}	720		
			T _{ч.}	72		
2	Ø266 Заготовка Точіння: чорнове чистове	12,5	T _δ	520	$\varepsilon_p = T_3 / T_\delta$ $\varepsilon_1 = T_3 / T_1$ $\varepsilon_2 = T_1 / T_2$ $\varepsilon_p = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2$	$\varepsilon_p = 6,15; n=2$ $\varepsilon_1 = 2,46$ $\varepsilon_2 = 2,5$ $\varepsilon_p = 6,15$
			T ₃	3200		
			T ₁	1300		
			T ₂	520		
3	Ø312 ^{±0,52} Заготовка Розточування: чорнове чистове	3,2	T _δ	520	$\varepsilon_p = T_3 / T_\delta$ $\varepsilon_1 = T_3 / T_1$ $\varepsilon_2 = T_1 / T_2$ $\varepsilon_p \leq \varepsilon_1 \times \varepsilon_2$	$\varepsilon_p = 6,15; n=2$ $\varepsilon_1 = 2,46$ $\varepsilon_2 = 2,5$ $\varepsilon_p = 6,15$
			T ₃	3200		
			T ₁	1300		
			T ₂	520		
4	Ø255 ^{-1,5} Заготовка Точіння: чорнове напівчистове чистове	12,5	T _δ	150	$\varepsilon_p = T_3 / T_\delta$ $\varepsilon_1 = T_3 / T_1$ $\varepsilon_2 = T_1 / T_2$ $\varepsilon_3 = T_2 / T_3$ $\varepsilon_p \leq \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 \times \varepsilon_3$	$\varepsilon_p = 63; n=4$ $\varepsilon_1 = 2,5$ $\varepsilon_2 = 2,5$ $\varepsilon_3 = 4$ $\varepsilon_4 = 2,5$ $\varepsilon_p = 63$
			T ₃	3200		
			T ₁	1300		
			T ₂	520		
			T ₃	150		

Проведемо вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз [16]

На 005 операцію розглянемо дві схеми базування:

- базування на оправку;
- базування в призмах

Розрахунок похибки базування на оправку:

Похибка базування визначається за формулою:

$$\omega A_A = \omega A_1 + \omega A_2$$

де ωA_1 – похибка чорнового точіння; $\omega A_1 = 0,22$ мм

ωA_2 – похибка встановлення на оправку.

$$\omega A_2 = \omega_{Td} + \omega_{TD} = 0,22 + 0,03 = 0,25 \text{ мм}, \quad (2.18)$$

$$\omega_{Td} = 0,22 \text{ мм}$$

$$\omega_{TD} = 0,03 \text{ мм}$$

$$\text{Звідси, } \omega A_A = 0,22 + 0,25 = 0,47 \text{ мм}$$

Схема базування на оправку подана на рисунку 3.1.

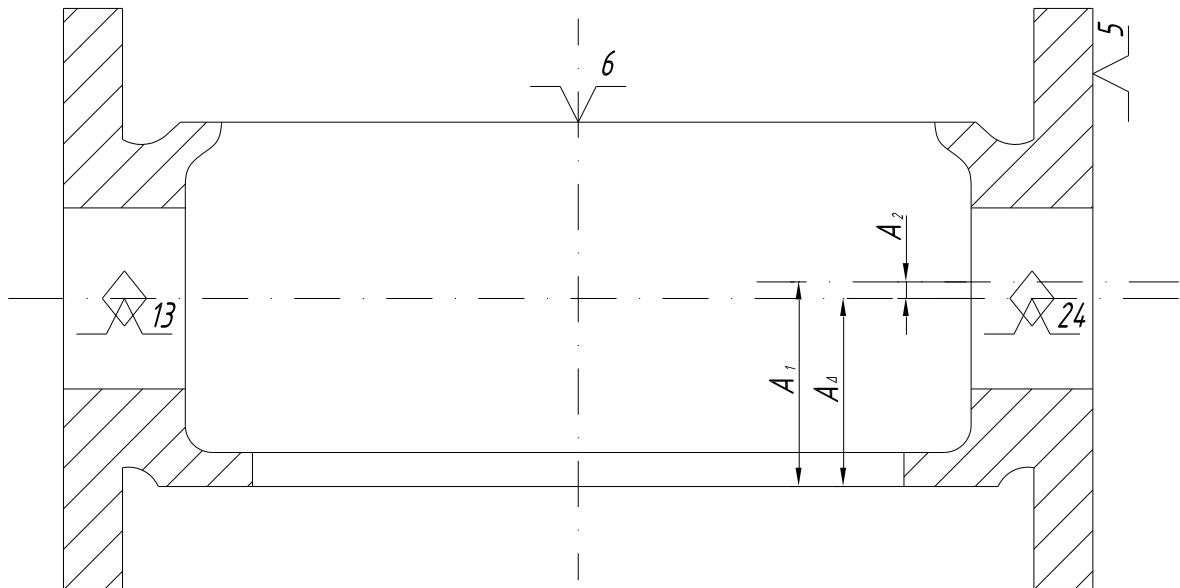


Рисунок 3.1 – Схема базування на оправку

Розрахунок похибки базування в призмі:

Похибка базування визначається за формулою:

$$\omega A_A = \omega A_1 + \omega A_2, \quad (3.2)$$

де ωA_1 – похибка встановлення на призму:

$$\omega A_1 = \frac{TД}{2 \sin \alpha} \quad (3.3)$$

ωA_2 – похибка чорнового точіння; $\omega A_2 = 0,22$ мм

$TД$ – допуск деталі; $TД = 0,63$ мм

$$\omega A_1 = \frac{0.63}{2 \sin 12^\circ} = 0.23 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Тоді, $\omega A_A = 0,23 + 0,22 = 0,45$ мм

Схема базування в призмах подана на рисунку 3.2.

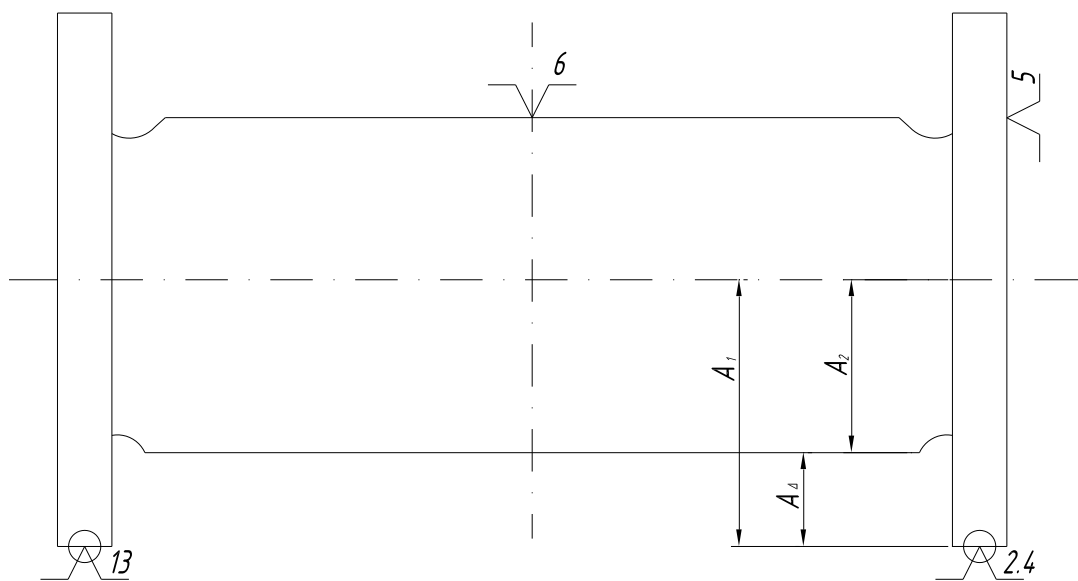


Рисунок 3.2 – Схема базування в призмах

Оскільки базування в призмах дає меншу похибку, то вибираємо схему базування в призмах, для 005 операції, де похибка встановлення становить: $\omega A_A = 0,45$ мм.

Схему базування для решти операцій показано на рисунку 3.3.

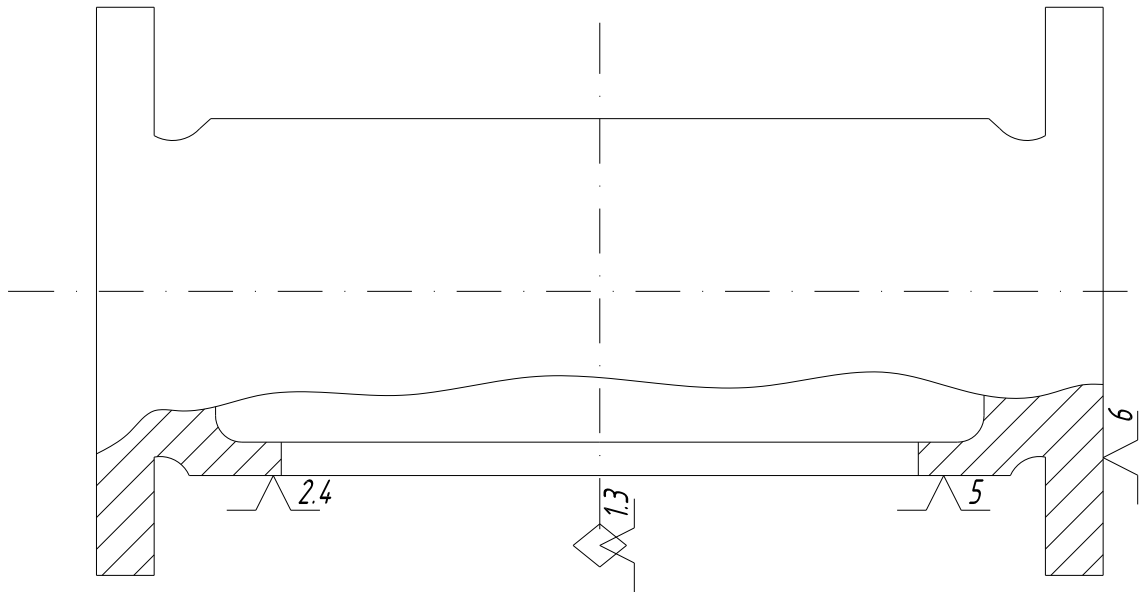


Рисунок 3.3 – Схема базування заготовки

Проведемо детальну розробку оптимального варіанту технологічного процесу.

3.2. Формування технологічного процесу

За основу формування приймаємо заводський технологічний процес, який розрахований на програму випуску $N = 2.000$ шт. Для розробки нового ТП є такі вихідні дані: програма випуску – 50.000 шт., матеріал деталі – сталь 35Л. базами є площина А та отвір $\varnothing 250$. Конструкція деталі достатньо технологічна. [12]

При формуванні технологічного процесу застосовується підхід синтезу можливої технології (табл. 3.4)

Встановлення оптимального варіанту ТП. Орієнтовний граф конкуруючих варіантів ТП обробки картеру.

Згідно таблиці 3.3 будуємо орієнтовний граф конкуруючих варіантів ТП обробки картеру, який показаний на рисунку 3.4. Орграф має односторонню направленість і охоплює 24 варіанти технологічних процесів.

Оптимальний варіант ТП буде наступний:

005. Горизонтально-розточна

1. Підрізати торець на $\varnothing 312$, витримавши розмір $l = 14 \pm 0,2$
2. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ начорно
3. Розточити отвір $\varnothing 250^{+0,072}$ начисто
4. Розточити фаску під $< 45^{\circ}$, витримавши розмір $\varnothing 260$
5. Повернути деталь у пристосуванні на 180°
6. Підрізати торець $\varnothing 266$ в розмір $l = 125 \pm 0,5$

010. Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\varnothing 258_{-1,15}$ начорно
2. Підрізати торець в розмірі $177_{-0,4}$ від осі деталі
3. Обточити поверхню $\varnothing 203_{-1,15}$ з підрізкою торця на $2,5-0,25$
4. Розточити отвір $\varnothing 65^{+0,74}$
5. Повернути деталь у пристосуванні на 180°
6. Повторити перехід 1
7. Підрізати торець в розмір $354_{-0,57}$
8. Повторити переходи 3÷5

015. Вертикально-свердлильна.

1. Свердлити 4-и отвори $\varnothing 10,7^{+0,2}$ на $l = 30 \pm 0,2$
2. Повернути деталь на 35° у пристосуванні.
3. Повторити перехід 1.

020. Вертикально-свердлильна

1. Нарізати різь $M12 \times 1,25-6H$ на $l = 24 \pm 0,2$
2. Повторити перехід 1 сім разів.

025. Горизонтально-розточна

1. Обточити поверхню $\varnothing 255_{-1,15}$ начисто
2. Обточити поверхню $\varnothing 200_{-0,046}$ начисто
3. Підрізати торець $\varnothing 202^{+1,15}$ витримавши розмір $l = 10 \pm 0,2$
4. Розточити отвір $\varnothing 70^{+0,046}$ начисто

5. Розточити фаску в отворі $\varnothing 70^{+0,046}$
 6. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
 7. Повторити переходи $1 \div 5$
030. Радіально-свердлильна.
1. Цекувати отвір $\varnothing 40^{+0,62}$
 2. Свердлити отвір $\varnothing 18,25^{+0,24}$
 3. Розсвердлити фаску $1,5 \times 45^0$ в отворі $\varnothing 18,25^{+0,24}$
 4. Нарізати різь $K \frac{1}{2} //$
 5. Свердлити отвір $\varnothing 8,7^{+0,14}$
 6. Розсвердлити фаску 1×45^0 в отворі $\varnothing 8,7^{+0,14}$
 7. Нарізати різь $K \frac{1}{8} //$
035. Вертикально-свердлильна
1. Свердлити отвір $\varnothing 12^{+0,33}_{+0,15}$
 2. Повторити перехід 1 вісім разів
 3. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
 4. Повторити переходи $1 \div 2$
040. Вертикально-свердлильна
1. Свердлити отвір $\varnothing 16$
 2. Розсвердлити отвір $\varnothing 32$
 3. Повернути деталь у пристосуванні на 180^0
 4. Повторити перехід 1-2
045. Горизонтально-протяжна
1. Протягнути пази під шпонку.

3.3. Визначення припусків на оброблення і розмірів заготовки

Розрахунок припусків аналітичним методом проводимо для отвору $\varnothing 70^{+0,046}$ за методикою викладеною в [3]. Заготовка являє собою відливку 8 класу точності, масою 20 кг. Технологічний маршрут обробки отвору $\varnothing 70^{+0,046}$

складається з чотирьох переходів розточування: чорнове, напівчистове, чистове, тонке. Базами служать нижня зовнішня поверхня Ø30 та отвір Ø250. [17]

Розрахунок припусків на обробку отвору Ø70Н8 наведений в таблиці 3.5, в якій послідовно записується маршрут обробки отвору і всі значення елементів припуску. Сумарна значення R_z і T , яка характеризує якість поверхонь литих заготовок складає 600 мкм.

Сумарне значення просторових відхилень визначається за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2} \quad (3.5)$$

Короблення отвору потрібно враховувати в діаметральному і в основному перерізі, тому: [19]

$$\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta_k \times d)^2 + (A_k \times l)^2}, \quad (3.6)$$

де d і l – діаметр і довжина оброблюваного отвору.

$$\rho_{кор} = \sqrt{(70 \cdot 70)^2 + (0.7 \cdot 42)^2} = 57 \text{ мкм}$$

$$\rho_{см} = \sqrt{(\varepsilon/2)^2 + (\varepsilon/2)^2} \quad (3.7)$$

$$\rho_{см} = \sqrt{37^2 + 120^2} = 126 \text{ мкм}$$

Таким чином, сумарне значення просторового відхилення заготовки:

$$\rho_3 = \sqrt{57^2 + 126^2} = 138 \text{ мкм}$$

Залишкове просторове відхилення після чорнового розточування:

$$\rho_1 = 0,05 \times \rho_3 = 0,05 \times 138 = 7 \text{ мкм}$$

Похибка встановлення при чорновому розточуванні визначається:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_3^2} \quad (3.8)$$

Похибка базування виникає за рахунок перекосу заготовки в горизонтальній площині при встановленні її на штоці пристрою. Найбільший зазор між отвором і штирем:

$$S_{max} = \delta_A + \delta_B + S_{min}, \quad (3.9)$$

де δ_A – допуск на отвір, $\delta_A = 46 \text{ мкм} = 0,046 \text{ мм}$

δ_B – допуск на діаметр штиря; $\delta_B = 18 \text{ мкм} = 0,018 \text{ мм}$

S_{min} – мінімальний зазор між діаметром штиря і отвором.

$$S_{min} = 13 \text{ мкм} = 0,013 \text{ мм}$$

Тоді найбільший кут повороту заготовки на штирях знаходиться із відношення найбільшого зазору при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані отвору:

$$t_g \alpha = 0,046 + 0,018 + 0,013 / 285 = 0,0003$$

Похибка базування на довжині отвору який обробляється, l

$$\varepsilon_{\delta} = l \times t_g \alpha,$$

$$\varepsilon_{\delta} = 42 \times 0,0003 = 0,0126 \text{ мм} = 12,6 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення заготовки ε_3 приймаємо:

$$\varepsilon_3 = 100 \text{ мкм.}$$

Тоді похибка встановлення при чорновому розточуванні:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{12,6^2 + 100^2} = 101 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при напівчистому розточуванні:

$$\varepsilon_2 = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{ind}, \quad (3.10)$$

де ε_{ind} – переходи проводяться за єдиного встановлення: $\varepsilon_{ind} = 0$

$$\varepsilon_2 = 0,05 \times 101 + 0 = 5,05 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при чистому розточуванні:

$$\varepsilon_3 = 0,05 \times \varepsilon_2 + \varepsilon_{ind}, \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \times 5,05 + 0 = 1,3 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка встановлення при тонкому розточуванні:

$$\varepsilon_4 = 0,05 \times \varepsilon_3 + \varepsilon_{ind}, \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_4 = 0,05 \times 1,3 + 0 = 0,065 \text{ мкм}$$

Проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків:

$$2 Z_{min} = 2 (R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (3.13)$$

Мінімальний припуск під розточування:

— чорнове: $2z_{min} = 2(600 \cdot \sqrt{138^2 + 101^2}) = 2 \cdot 771 \text{ мкм};$

— напівчистове: $2z_{min2} = 2(50 + 50 \cdot \sqrt{138^2 + 101^2}) = 2 \cdot 109 \text{ мкм};$

— чистове: $2z_{\min 3} = 2(35 + 35 \cdot \sqrt{0.35^2 + 1.3^2}) = 2 \cdot 71 \text{ мкм}$

— тонке: $2z_{\min 4} = 2(20 + 25 \cdot \sqrt{0.0175^2 + 0.065^2}) = 2 \cdot 45.1 \text{ мкм}$

Кінцевий розмір $d = 70,046$, для решти переходів отримуємо:

— для чистового: $d_{p1} = 70,046 - 0,0902 = 69,9558 \text{ мм};$

— для напівчистового: $d_{p2} = 69,9558 - 0,142 = 69,8138 \text{ мм};$

— для чорнового: $d_{p3} = 69,8138 - 0,218 = 69,5958 \text{ мм};$

— для заготовки: $d_{p4} = 69,5958 - 1,542 = 68,0538 \text{ мм};$

Таким чином, для розточування:

— тонкого: найбільший – $70,046 \text{ мм}$

найменший – $70,046 - 0,046 = 70 \text{ мм}$

— для чистового: найбільший – $69,956 \text{ мм}$

найменший – $69,956 - 0,074 = 69,882 \text{ мм}$

— для напівчистового: найбільший – $69,814 \text{ мм}$

найменший – $69,814 - 0,46 = 69,354 \text{ мм}$

— для чорнового: найбільший – $69,596 \text{ мм}$

найменший – $69,596 - 1,2 = 68,396 \text{ мм}$

— для заготовки: найбільший – $68,054 \text{ мм}$

найменший – $68,054 - 1,9 = 66,154 \text{ мм}$

Мінімальні граничні значення припусків Z^{np}_{\min} .

Тоді для тонкого розточування:

$$2 Z^{np}_{\min 4} = 70,046 - 69,956 = 0,09 \text{ мм} = 90 \text{ мкм}$$

$$2 Z^{np}_{\max 4} = 70 - 69,882 = 0,118 \text{ мм} = 118 \text{ мкм}$$

Для чистого розточування:

$$2 Z^{np}_{\min 3} = 69,956 - 69,814 = 0,142 \text{ мм} = 142 \text{ мкм}$$

$$2 Z^{np}_{\max 3} = 69,882 - 69,354 = 0,528 \text{ мм} = 528 \text{ мкм}$$

Для напівчистого розточування:

$$2 Z^{np}_{\min 2} = 69,814 - 69,596 = 0,218 \text{ мм} = 218 \text{ мкм}$$

$$2 Z^{np}_{\max 2} = 69,354 - 68,396 = 0,958 \text{ мм} = 958 \text{ мкм}$$

Для чорнового розточування:

$$2 Z^{np}_{min1} = 69,596 - 68,054 = 1,542 = 1542 \text{ мкм}$$

$$2 Z^{np}_{max1} = 68,396 - 66,154 = 2,242 = 2242 \text{ мкм}$$

Всі результати розрахунків зведені до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Визначення припусків та між операційних розмірів

Розмір, мм	Допуск, мм	Припуск, мм	
		Основний	Додатковий
Отвір Ø250	3,2	4,0	1,6
125	2,8	3,5	1,2
Ø255	3,2	4,0	1,6
354	3,6	4,2	2,0
160	1,2	-	-
12	0,8	4	0,6

На основі даних розрахунків будемо схему графічного розміщення припусків і допусків по обробці отвору $\varnothing 70^{+0,046}$ на рисунку 3.6. [18] Загальні припуски Z_{0min} і Z_{0max} визначаємо, сумуючи проміжкові припуски, і записуємо їх значення внизу відповідних граф:

$$2 Z_{0min} = 90 + 142 + 218 + 1542 = 1992 \text{ мкм}$$

$$2 Z_{0max} = 118 + 528 + 958 + 2242 = 3846 \text{ мкм}$$

Проводимо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$Z^{np}_{max4} - Z^{np}_{min4} = 118 - 90 = 28 \text{ мкм}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 74 - 46 = 28 \text{ мкм}$$

$$Z^{np}_{max3} - Z^{np}_{min3} = 528 - 142 = 386 \text{ мкм}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 460 - 74 = 386 \text{ мкм}$$

$$Z^{np}_{max2} - Z^{np}_{min2} = 958 - 218 = 740 \text{ мкм}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 1200 - 460 = 740 \text{ мкм}$$

$$Z^{np}_{max1} - Z^{np}_{min1} = 2242 - 1542 = 700 \text{ мкм}$$

$$\delta_{заг} - \delta_1 = 1900 - 1200 = 700 \text{ мкм}$$

Схема графічного розподілу припусків і допусків на обробку отвору $\varnothing 70^{+0,046}$ представлена на рисунку 3.4.

d_{max} розточування тонкого 70,046

d_{min} розточування тонкого 70,0

δ розточування тонкого 46 мкм

d_{max} розточування чистового 69,956

d_{min} розточування чистового 69,882

δ розточування чистового 74 мкм

d_{max} розточування напівчистового 69,814

d_{min} розточування напівчистового 69,354

δ розточування напівчистового 460 мкм

d_{max} розточування чорнового 69,596

d_{min} розточування чорнового 68,396

δ розточування чорнового 1200 мкм

d_{max} заготовки 68,054

$d_{ном}$ заготовки 67,104

d_{min} заготовки 66,154

δ заготовки 1900 мкм

$2 Z^{np}_{max}$ на розточування чорнове 2242

$2 Z^{np}_{min}$ на розточування чорнове 1542

$2 Z^{np}_{max}$ на розточування напівчистове 958

$2 Z^{np}_{min}$ на розточування напівчистове 218

$2 Z^{np}_{max}$ на розточування чистове 528

$2 Z^{np}_{min}$ на розточування чистове 142

$2Z^{np}_{max}$ на розточування тонке 118

$2Z^{np}_{min}$ на розточування тонке 90

3.4. Визначення режимів різання

Режими різання розраховуємо для одного переходу, в даному випадку розглянемо розрахунок режимів різання при свердлінні отвору $\emptyset 12$. Розрахунок проводимо за [2]

Глибина різання:

$$t = D / 2,$$

де D – діаметр свердла:

$$t = 12 / 2 = 6 \text{ мм}$$

Подача: $S_0 = 0,4$ мм/об

Швидкість різання:

$$v = C_v \times D_q / T_m \times S_y \times K_v,$$

де C_v – коефіцієнт швидкості різання;

$$C_v = 40,7;$$

T – період стійкості свердла; $T = 35$ хв.

q, y, m – показники степенів

$$q = 0,25;$$

$$y = 0,4;$$

$$m = 0,125$$

$$K_v = K_{Mv} \times K_{uv} \times K_{iv},$$

де $K_{Mv} = 0,8$ – коефіцієнт на оброблювальний матеріал;

$K_{uv} = 1$ – коефіцієнт на інструментальний матеріал;

$K_{iv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує глибину свердління

$$K_v = 0,8 \times 1 \times 1 = 0,8$$

$$v = 40,7 \times 12^{0,25} / 35^{0,125} \times 0,4^{0,4} \times 0,8 = 56 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = 1000 \times v / \pi \times D,$$

$$n = 1000 \times 56 / 3,14 \times 12 = 1486 \text{ хв}^{-1}$$

Крутий момент:

$$M_{кр} = 10 \times C_m \times D^q \times S^y \times K_p,$$

де $C_m = 0,005$;

$$q = 2;$$

$$y = 0,8;$$

$$K_p = K_{MP} = 0,75$$

$$M_{кр} = 10 \times 0,005 \times 12^2 \times 0,4^{0,8} \times 0,75 = 2,6 \text{ Н} \times \text{м}$$

Ефективна потужність:

$$N_e = M_{кр} \times n / 9750,$$

$$N_e = 2,6 \times 1486 / 9750 = 0,43 \text{ кВт}$$

Потужність головного приводу:

$$N_{np} = N_e / \tau ,$$

де $\tau = 0,75$

$$N_{np} = 0,43 / 0,75 = 0,59 \text{ кВт}$$

По потужності двигуна та розмірами стола вибираємо вертикально-свердлильний верстат мод. 2Н118 ($N_{\delta B} = 1,7 \text{ кВт}$), розміри стола 450х600.

Прийняті режими різання по верстату: $S = 0,3 \text{ мм/об}$; $n = 1600 \text{ об/хв}$.

Дійсна швидкість різання:

$$v = \pi D_n / 1000 = 3,14 \times 12 \times 1600 / 1000 = 60,3 \text{ м/хв.}]$$

Решта результатів зведена до таблиці 3.7.

3.5 Розрахунок пристосування

Силовий розрахунок параметрів приводу. Пристрій для розточування отвору $\varnothing 70^{+0,046}$ [12]

Для розрахунку зусилля кріплення складаємо схему дії сил на заготовку, яка зображена на рисунку 3.5.

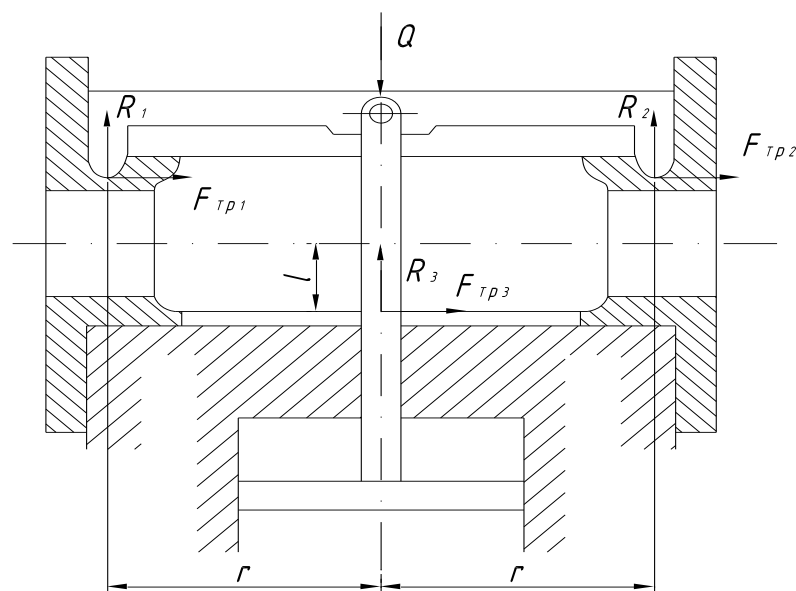


Рисунок 3.5 – Схема дії сил на заготовку

Розрахунок необхідної кількості сили затиску:

$$K_3 \times P_z - F_{tp1} \times \tau - F_{tp2} \times \tau + F_{tp3} l = 0, \quad (3.14)$$

Сили тертя:

$$F_{tp1} = Q \times f_1;$$

$$F_{tp2} = Q \times f_2;$$

$$F_{tp3} = Q \times f_3$$

де, f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти тертя:

$$f_1 = f_2 = f_3$$

Сила різання P_z визначається за формулою:

$$K_3 P_z = F_{tp1} \tau - F_{tp3} l - F_{tp2} \tau, \quad (3.15)$$

Підставивши значення F_{tp1} та F_{tp2} та F_{tp3} , отримаємо:

$$K_3 P_z = Q_1 f_1 \tau + Q_2 f_2 \tau - Q_3 f_3 l,$$

Спростивши це рівняння отримаємо:

$$K_3 P_z = Q [\tau (f_1 + f_2) - f_3 l],$$

Сила затиску визначається із рівняння:

$$Q = K_3 P_z / \tau (f_1 + f_2) - f_3 l, \quad (3.16)$$

Сила різання:

$$P_z = 10 C_{pz} \times t^x \times S^y \times v^n \times K_p, \quad (3.17)$$

де C_{pz} – коефіцієнт, $C_{pz} = 300$;

K_p – коефіцієнт, $K_p = 0,93$;

t – глибина різання, мм, $t = 3$ мм;

S – подача, мм/об, $S = 0,5$ мм/об

v – швидкість, м/хв, $v = 102$ м/хв;

x, y, n – показники степеня:

$$x_1 = 1, y = 0,75, n = 0,15$$

Отримаємо:

$$P_z = 10 \times 300 \times 3^1 \times 0,5^{0,75} \times 102^{0,15} \times 0,93 = 9959,6 \text{ Н}$$

Сила затиску рівна:

$$Q = 9959,6 \times 2,01 / 0,1 (127,5 + 60) = 1067,67 \text{ Н}$$

Зусилля, яке необхідне на штоці:

$$W = Q \times a / b,$$

$$W = 1067,67 \times 180 / 100 = 1921,8 \text{ Н}$$

За відомим зусиллям на штоці визначаємо діаметр пневмоциліндра:

$$D = K_{зан} \sqrt{4 \cdot W / \pi \cdot p \cdot \tau} \quad (3.18)$$

де p – тиск у пневмосистемі, $p = 0,6 \text{ МПа}$;

τ – коефіцієнт корисної дії пневмосистемі, $\tau = 0,85$;

$K_{зан}$ – коефіцієнт запасу пневмоциліндра, $K_{зан} = 1,12$.

$$D = 1,12 \sqrt{4 \times 1921,8 / 3,14 \times 0,6 \times 0,85} = 77,6 \text{ мм}$$

$$D = 1,12 \sqrt{4 \cdot 1921,8 / 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,85}$$

Приймаємо найближче стандартне значення діаметру циліндра. Згідно рекомендацій, $D = 100 \text{ мм}$.

Пристрій для свердління восьми отворів $\varnothing 10,7$.

Розрахунок необхідної сили затиску проводимо за дотриманням умови, що деталь не повинна рухатись під дією сили різання P_Z :

$$P_Z = M_{кр} / D/2 (1 + 2\mu), \quad (3.19)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент свердла.

$$\mu = 0,07 \div 0,09$$

$$M_{кр} = 10 C_m D^{XM} S^{YM}, \quad (3.20)$$

де C_m – коефіцієнт швидкості різання, $C_m = 0,05$;

D – діаметр свердла;

S – подача, мм/об.

$$M_{кр} = 10 \times 0,05 \times 10,7^1 \times 0,3^{0,8} = 2,04 \text{ Нм}$$

Підставимо значення у формулу (3.44) отримаємо:

$$P_Z = 2,04 / 10,7 \times 10^{-3} / 2 (1 + 2 \times 0,08) = 328,7 \text{ Н}$$

P_Z для восьми свердл буде рівна 2629,6 Н.

У даному випадку сила затиску визначається за формулою:

$$Q = K_3 P_Z / f_1 (\tau + Q \times 2) - f_3 \times b, \quad (4.16)$$

$$f_1 = f_2$$

$$Q = 2,01 \times 2629,6 / 0,1 (155 + 96,57 \times 2) - 0,1 \times 134,63 = 247,52 \text{ Н}$$

Проводимо розрахунок пристрою на точність. Пристрій для розточування отвору $\varnothing 70^{+0,046}$.

Сумарна похибка визначається за формулою:

$$E_{\Sigma} = 1/K \sqrt{(K_1 E_y)^2 + (K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 E_n)^2 + (K_4 E_i)^2 + (K_5 \Sigma E_6)^2 + (K_6 \Sigma E_m)^2}$$

де E_y – похибка встановлення заготовки в пристрій;

Δ_y – похибка обробки, яка виникає внаслідок зміщення елементів технологічної системи під дією сил;

E_n – похибка налагодження технологічної системи;

E_i – похибка зносу різального інструменту;

ΣE_6 – похибка верстату, внаслідок зносу за період експлуатації;

ΣE_m – температурна похибка обробки.

Похибка встановлення визначається за формулою:

$$E_y = \sqrt{E_6^2 + E_3^2 + E_{np}^2} \quad (3.21)$$

де E_6 – похибка базування, $E_6 = 0$;

E_3 – похибка закріплення, $E_3 = 0,12$ мм;

E_{np} – похибка положення заготовки.

Похибка положення заготовки:

$$E_{np} = \bar{E}_{уст} + \bar{E}_{зн} + E_6, \quad (3.22)$$

Технологічні можливості виготовлення пристрою забезпечуються в межах $0 \div 15$ мкм.

Приймаємо: $E_{уст} = 0,008$ мм.

Складова $E_{зн}$ характеризує зношення установчих елементів:

$$E_{зн} = \beta \times N, \quad (3.23)$$

де N – число контактів заготовок з опорою;

β – константа, $\beta = 0,001$;

$N = 50000$ шт.

$$E_{zn} = 0,001 \times 50.000 = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм}$$

За рекомендаціями величина E_b становить:

$$E_b = 10 \div 20 \text{ мкм}$$

Приймаємо: $E_b = 15 \text{ мкм} = 0,015 \text{ мм}$

Сумарна похибка положення заготовки рівна:

$$E_{np} = 0,008 + \sqrt{0,05^2 + 0,015^2} = 0,06 \text{ мм}$$

Тоді, похибка встановлення становить:

$$E_y = \sqrt{0^2 + 0,12^2 + 0,06^2} = 0,13 \text{ мм}$$

Похибка обробки:

$$\Delta_y = 0 \text{ мм}$$

Похибка налагоджування технологічної системи при розточуванні буде рівна:

$$E_n = \sqrt{(1,5E_b)^2 + (1,14E_p)^2} \quad (3.24)$$

де E_b – похибка вимірювання під час регулювання;

E_p – похибка регулювання при налагоджуванні;

$E_b = 2,5 \text{ мкм} = 0,0025 \text{ мм}$;

$E_p = 10 \text{ мкм} = 0,01 \text{ мм}$

Тоді:

$$E_n = \sqrt{(1,5 \cdot 2,5)^2 + (1,14 \cdot 10)^2} = 12 \text{ мкм}$$

$$E_n = 0,012 \text{ мм}$$

Похибку зносу різального інструменту E_i , приймаємо згідно рекомендацій:

$$E_i = 45 \text{ мкм} = 0,045 \text{ мм}$$

Похибка верстата, ΣE_b , становить:

$$\Sigma E_b = 20 \text{ мкм} = 0,02 \text{ мм}$$

Температурну похибку приймаємо рівною 0,1 від сумарної похибки, без врахування температурної.

$$\Sigma E_m = 0,1 \times \Sigma e, \quad (4.22)$$

Тоді:

$$\Sigma E_m = 0,1 \times 0,148 = 0,0148 \text{ мм}$$

Сумарна похибка становить:

$$E_\Sigma = \sqrt{0,148^2 + (1.173 \cdot 0,0148)^2} = 0,15 \text{ мм}$$

Так, як сумарна похибка $E_\Sigma = 0,15$ мм менша допуску на $\varnothing 65 T65 = 0,74$, то даний пристрій забезпечує необхідну точність обробки. Пристрій забезпечує технологічні вимоги, які поставлені до деталі. Пристрій є ефективним, надійним та безпечним у використанні.

4.ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення основних і допоміжних площ цеху

Площа виробничих ділянок визначається: [7]

$$F_{\text{вир.}} = C_P \times F_{\text{верст.}}, \quad (4.1)$$

де, $F_{\text{верст.}}$ – площа верстата.

$F_{\text{верст.}} = 15 \div 25 \text{ м}^2$ для середніх габаритів верстатів

$$F_{\text{вир.}} = 104 \times 25 = 2600 \text{ м}^2$$

Площа складальної і випробувальної ділянок.

$$F_{\text{скл. вир.}} = 30 \div 40\% \text{ від } F_{\text{вир.}}; \quad F_{\text{вир.}} = 2080 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{скл. вир.}} = 728 \text{ м}^2$$

Площа допоміжних відділень.

— заточування інструменту:

$F_{\text{Зат.від}}$ вибирається від габаритів виробу, що виготовляється. Картер відноситься до виробів середніх габаритів, для яких $F_{\text{Зат. від}} = 12 \div 14 \text{ м}^2$.

Приймаємо: $F_{\text{Зат. від}} = 14 \times 4 = 56 \text{ м}^2$

— ремонтної бази:

При підрахунку $F_{\text{ЦРБ}}$ виходять із кількості верстатів і питомої площі під один верстат, який знаходиться в ЦРБ.

$$F_{\text{ЦРБ}} = C_P \times F_{\text{верст.}}, \quad (4.2)$$

Підставивши значення отримуємо:

$$F_{\text{ЦРБ}} = 2 \times 20 = 40 \text{ м}^2$$

— ремонту виробничого оснащення та інструменту:

Площа такого відділення вибирається також виходячи із габаритів виробів.

Для середніх виробів $F_{\text{р.в.о.}} = 24 \div 26 \text{ м}^2$ на 1 верстат.

Приймаємо: $F_{\text{р.в.о.}} = 26 \text{ м}^2$ на один верстат.

Тоді:

$$F_{p.v.o.} = 26 \times 6 = 156 \text{ м}^2$$

— контрольного відділення:

Вираховується із розрахунку 5-6 м² на одного контролера з коефіцієнтом K_k , що враховує прибавку площі на розташування контрольного обладнання.

При двозмінній роботі в багатосерійному виробництві потрібно два контролери. Тоді:

$$F_{K.B.} = p \times F_n \times K_k \quad (4.3)$$

де p – кількість контролерів.

$$F_{K.B.} = 2 \times 6 \times 1,75 = 20 \text{ м}^2$$

— складів металу, заготовок, деталей, вузлів:

Площа складів металу, заготовок вираховується за формулою:

$$S_1 = A_1 \times Q / g \times K \times t, \quad (4.4)$$

Для складів деталей, вузлів також визначається за цією формулою:

$$S_2 = A_2 \times Q / g \times K \times t, \quad (4.5)$$

де A – час зберігання металу, заготовок та деталей, вузлів;

$A_1 = 3-6$ днів, $A_2 = 6-12$ днів;

g – допустима вантажна напруженість площі складу, Т/м², $g = 1,5$ Т/м²;

K – коефіцієнт використання площі складу з врахуванням проходів і проїздів,

$K = 0,5 \div 0,65$;

t – кількість робочих днів у році.

Підставивши відповідні значення у вирази (4.4) та (4.5) отримаємо:

$$S_1 = 3 \times 1000 / 1,5 \times 0,6 \times 254 = 108 \text{ м}^2$$

$$S_2 = 7 \times 1000 / 1,5 \times 0,6 \times 254 = 305 \text{ м}^2$$

Загальна площа цеху складає:

$$S = S_1 + S_2, \quad (4.6)$$

$$S = 108 + 305 = 413 \text{ м}^2$$

— приміщення ЗОР та переробки стружки:

Визначається ця площа виходячи із витрат мастил за формулою:

$$Q_M = g_M \times C_P \times 253 / 1000, \quad (4.7)$$

Також витрати емульсії за аналогічною формулою:

$$Q_E = g_E \times C_P \times 253 / 1000, \quad (4.8)$$

де g_M і g_E – розхід мастил і емульсії на один верстат за добу, кг.

C_P – кількість верстатів в цеху, шт.;

$g_M = 0,2$ кг;

$g_E = 2,0$ кг.

Підставивши значення у вирази (4.7) та (4.8) отримаємо:

$$Q_M = 0,2 \times 104 \times 253 / 1000 = 0,53 \text{ T/м}^2$$

$$Q_E = 2,0 \times 104 \times 253 / 1000 = 5,3 \text{ T/м}^2$$

Площа приміщення переробки стружки:

$$F_{\text{ЗОР.П. стр}} = C_P \times 1 \text{ м}^2, \quad (4.9)$$

$$F_{\text{ЗОР.П. стр}} = 104 \times 1 = 104 \text{ м}^2$$

Загальна площа допоміжних відділень складає суму всіх площ:

$$F_{\text{заг.}} = F_{\text{зат.1}} + F_{\text{ЦРБ}} + F_{\text{р.в.о.}} + F_{\text{К.В.}} + F_{\text{скл.}} + F_{\text{ЗОР.П. стр}}, \quad (4.10)$$

Підставивши відповідні значення отримаємо:

$$F_{\text{заг.}} = 56 + 40 + 156 + 20 + 413 + 104 = 789 \text{ м}^2$$

— площі службово-побутових приміщень:

$$F_{\text{С.П.П.}} = P \times F_{\text{шт.}}, \quad (4.10)$$

$$F_{\text{С.П.П.}} = 18 \times 4 = 72 \text{ м}^2$$

Площа під відпочивальний куток складає 0,9 м² на одного працюючого:

$$F_{\text{в.к.}} = 200 \times 0,9 = 180 \text{ м}^2$$

Площа під столову і буфет вибираємо за стандартною методикою. Тоді:

$$F_{\text{ст.б}} = 90 \times 1 = 90 \text{ м}^2$$

Площа санітарно-технічних приміщень:

$$F_{\text{С.Т.П.}} = 150 \text{чол.} \times 0,9 = 135 \text{ м}^2$$

Загальна площа службово-побутових приміщень складає:

$$F_{\text{заг.}} = F_{\text{С.П.П.}} + F_{\text{в.к.}} + F_{\text{ст.б}} + F_{\text{С.Т.П.}}, \quad (4.11)$$

$$F_{заг.} = 72 + 180 + 90 + 135 = 455 \text{ м}^2$$

Загальна площа механообробного цеху:

$$F_{заг.} = F_{вир.пл.} + F_{доп.в.}, \quad (4.12)$$

Підставивши відповідні значення отримаємо:

$$F_{заг.} = 2600 + 789 = 3389 \text{ м}^2$$

4.2 Розробка планів компоновання цеху та розміщення обладнання на ділянці

Будівля механообробного цеху приймається прямокутної форми з розмірами ширини до довжини 1:2. Сітка колон 12×18 м. висота цеху – 7,2 м. кількість проїздів – один магістральний і два поперечних. Допоміжні відділення будуть розташовані вздовж прольотів пристінних колон. Складське приміщення розташовано перпендикулярно до поздовжніх колон з торцевого боку цеху. [8]

Схема розташування виробничих відділень цеху виконана у відповідності до розробленого маршруту технологічного процесу механічної обробки картеру ведучого моста.

Схема взаємного розташування транспортних засобів пов'язується з типом виробництва у відповідності до ТП виготовлення виробу.

В якості транспортних засобів вибираємо роликівий транспортер для обслуговування метало оброблювальних верстатів, які розташовані за вибраним маршрутом на ділянці механічної обробки картера. Довжина транспортера:

$$L = C_p \times l_i, \quad (4.13)$$

де l_i – довжина і-го верстата з врахування проходів.

C_p – кількість верстатів.

$$L = 9 \times 3 = 27 \text{ м}$$

Ширина транспортера: $B = 0,3 \text{ м}$ [6].

Вибір сітки колон і встановлення розмірів цеху здійснюється виходячи із загальної розрахункової площі цеху на базі використання уніфікованих типових секцій каркасу самої будівлі. Приймаємо сітку колон 12000×18000 , для якої

— ширина цеху рівна:

$$a = 18 \times 2 = 36 \text{ м}$$

— довжина цеху:

$$b = 12 \times 6 = 72 \text{ м}$$

Площа цеху рівна:

$$F_u = a \times b, \quad (4.14)$$

$$F_u = 36 \times 72 = 3592 \text{ м}^2$$

Для виготовлення картеру необхідно 9 одиниць металорізальних верстатів середніх габаритних розмірів, а саме: три горизонтально-розточні – 2620Г, один вертикально-свердлильний – 25175М та 2Н118, два вертикально-свердлильні – 2Н135Б, один горизонтально-протяжний – 75005, які розміщуємо в один ряд. Для транспортування деталей між верстатами використовуємо роликовий транспортер довжиною $L = 27\text{м}$ і шириною $B = 0,3\text{м}$. Транспортування заготовок із складу на дільницю і деталей до складу здійснюється в тарі електрокаром.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Заходи по підвищенню електробезпеки

В цілях надійного захисту від ураження електричним струмом проектом передбачається застосування на ділянці захисного заземлення і захисного відключення. [28]

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який передбачає автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження струмом.

Пристрої захисного відключення забезпечують відключення установки за час, не більший 0,2 сек.

Основними елементами захисного відключення є пристрій захисного відключення і автоматичний вимикач.

Пристрій захисного відключення – це сукупність окремих елементів, які реагують на зміну будь-якого параметру електромережі (напруги корпусу відносно землі, напруги нульової послідовності та ін.) і подає сигнал на відключення автоматичному вимикачу.

Цими елементами є:

- датчик – пристрій, сприймаючий зміну параметра і перетворюючий його у відповідний сигнал;
- підсилювач, призначений для підсилення сигналу датчика;
- ланцюги контролю, які служать для періодичної перевірки справності схеми пристрою відключення;
- допоміжні елементи;

Автоматичний вимикач – це пристрій, що служить для включення і виключення ланцюгів, які знаходяться під навантаженням, і при коротких замиканнях.

5.2 Розрахунок захисного заземлення

В якості заземлення використовуємо вертикальні електроди (сталеві труби), діаметром 30 мм. і довжиною 2 – 2,5 м. Заземлювачі опущено у ґрунт на глибину 0,8 м. [29]

Опір заземлювача визначаємо за формулою:

$$R_{mp} = \frac{\rho_{роз}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (5.1)$$

де l – довжина стержня, м ($l = 2,5$ м.);

d – діаметр стержня, м ($d = 40 - 55$ мм.);

$\rho_{розр}$ – розрахунковий питомий опір заземлювача, Ом;

t – віддаль від поверхні ґрунту до середини заземлювача, м.

$$\rho_{розр} = \rho_{нит} \cdot \varphi, \quad (5.2)$$

де $\rho_{нит}$ – питомий опір ґрунту; приймаємо рівним 40 Ом.;

φ – коефіцієнт сезонності; приймаємо рівним 1,5.

$$\rho_{розр} = 40 \cdot 1,5 = 80 \text{ Ом.}$$

Відстань від поверхні ґрунту до середини стержня :

$$t = n + \frac{1}{2}, \quad (5.3)$$

де n – відстань від поверхні ґрунту до верхнього краю стержня, м.

$$t = 0,7 + \frac{2,5}{2} = 1,95 \text{ м.}$$

$$\text{Звідси: } R_{mp} = \frac{40}{2 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{50 \cdot 10} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 39,50 \text{ Ом}$$

Опір полосового заземлювача, вкладеного на глибину h від поверхні ґрунту:

$$R_n = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \cdot \ln \frac{2L^2}{b \cdot h}, \quad (5.4)$$

де b – ширина полоси, м (приймаємо $b = 0,7 - 0,75$ м.);

h – глибина залягання полоси у ґрунті, м (приймаємо $h = 1,5$ м.);

L – розрахункова довжина полоси, м

$$L = a \cdot n, \quad (5.5)$$

де a – віддаль між заземлювачами, м (приймаємо $a = 3 - 5$ м.);

n – кількість заземлювачів.

$$n = R_{од.} / R_{з\ норм.}, \quad (5.6)$$

де $R_{з\ норм.}$ – допустимий опір розтікання струму в землі заземлюючого пристрою, (40 м);

$$n = 39,50 / 4 = 9,87$$

Приймаємо: $n = 10$

$$L = 4 \cdot 10 = 40 \text{ м.}$$

Знаходимо опір полоси:

$$R_n = \frac{80}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot 40^2}{0,7 \cdot 1,5} = 30,84 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_з = \frac{R_{мп} \cdot R_n}{R_{мп} \cdot \eta_{мп} + R_n \cdot \eta_n \cdot n}, \quad (5.7)$$

де $\eta_{мп}$ – коефіцієнт використання заземлення;

η_n – коефіцієнт використання полоси;

$$R_з = \frac{39,50 \cdot 30,84}{39,50 \cdot 0,75 + 30,84 \cdot 0,95 \cdot 10} = 4,17 \text{ Ом}$$

5.3 Роль керівника підприємства у забезпеченні техногенної безпеки

Забезпечення техногенної безпеки підприємства (суб'єкта господарювання) покладається на його керівника, а під час проектування, будівництва об'єктів, будівель і споруд — на орган архітектури, замовників, забудовників, проектні будівельні організації. Забезпечення техногенної безпеки підприємства здійснюється на випадок:

- терористичної діяльності;
- наявності будівель та споруд з порушенням умов експлуатації;
- наявності об'єктів з критичним станом виробничих фондів та порушенням умов експлуатації;
- виникнення надзвичайних ситуацій (порушення умов експлуатації) на небезпечних об'єктах, ядерних установках.

Кожне підприємство повинне забезпечити виконання вимог законодавства у сфері техногенної безпеки, а також виконання вимог приписів, постанов та розпоряджень відповідного органу виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сферах техногенної та пожежної безпеки.

Керівництво підприємства за результатами аналітичного опрацювання інформації має включити до планів реагування на надзвичайні ситуації, планів взаємодії органів управління та сил цивільного захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій, планів основних заходів цивільного захисту функціональних і територіальних підсистем та їх ланок, а також планів локалізації і ліквідації аварії заходи щодо реагування на надзвичайні ситуації та утримання прийнятного рівня ризиків, спрямовані на запобігання або усунення:

- аварій та аварійних ситуацій;
- руйнування будівель і споруд з порушенням умов експлуатації;
- порушень нормальних умов експлуатації основних виробничих фондів, систем життєзабезпечення, а також внаслідок небезпечної дії на них природних явищ;
- наслідків злочинної діяльності та тероризму з використанням небезпечних речовин, у тому числі джерел іонізуючого випромінювання, інших ядерних та радіоактивних матеріалів;
- виникнення небезпеки руйнування будівель та будівельних конструкцій, інших об'єктів містобудування, гідротехнічних споруд тощо;
- надмірного та неврегульованого накопичення промислових і побутових відходів;

— негативних наслідків військової та іншої екологічно небезпечної діяльності;

— фактів самовільного будівництва, розширення, реконструкції і технічного переоснащення (модернізації) об'єктів, якщо це може спричинити виникнення надзвичайної ситуації та вплинути на стан захисту населення і територій.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проведено теоретичні дослідження умови сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі. Побудовано графічні залежності амплітуди автоколивань за осями Z та Y від жорсткості C_z, C_y технологічної системи для приведеної маси та залежності амплітуд автоколивань за осями Z та Y від діаметру заготовки;

Встановлено режими роботи оброблювальної технологічної системи при різанні в залежності від жорсткості C_z за зміною координати Z . При дослідженні залежності амплітуди коливань від зміни діаметру заготовки теж встановили три режими коливань.

Для забезпечення сталості технологічної системи необхідно підібрати раціональну геометрію інструмент. При точінні правильний вибір геометрії інструменту, дозволяє зменшити ширину шару, що зрізається в кілька разів без виникнення вібрацій. Тому вибір геометричних параметрів інструмента слід вести не тільки залежно від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу деталі, але і в залежності від жорсткості технологічної системи.

Розроблено технологічний процес виготовлення картера ведучого моста 4094-2301010-10, а також вибрано устаткування та обґрунтовано параметри процесів механічної обробки

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготованок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
1. Грановский Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Григурко І. О., Брендюля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
3. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л. : Машиностроение, 1987. – 184 с.
4. Курсовое проектирование по технологи машиностроения под редакцией Горбацевича А.Ф. – Издание 3-е, дополненное и переработаное, издательство «Вышэйшая школа», Минск, 1975.
5. Жарков Н. В., Прокди Р. Г., Финков М. В. AutoCAD 2014 : посібник. Санкт-Петербург : Наука и техника, 2014. 624 с.
6. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В., Дячун А. Є. Механоскладальні дільниці та цехи : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 40 с.
7. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
8. Кабалдин, Ю.Г. Управление процессами механообработки в автоматизированном производстве. Синергетика / Ю.Г. Кабалдин, А.М. Шпилев. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комс.-на-Амуре гос. техн. унта, 1997.- 260 с
9. Ковалев В. Д. Опоры и передачи жидкостного трения станочного оборудования / В. Д. Ковалев, О. Ф. Бабин : учебное пособие. – Краматорск : ДГМА, 2005. – 188 с.
10. Лазарев, Г.С. Автоколебания при резании металлов [Текст] / Лазарев Г.С. - М.: Высшая школа, 1971. – 243/
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 152 с.

12. Пашинин А. В. обнаружение неоднозначности сил резания в колебательном движении при точении / А. В. Пашинин, Е. А. Чернышев // Сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 12–17 сентября 2011 г. В 3-х т. – Донецк : ДнНТУ, 2011. – Т. 3.
13. Пилипець М., Кавунова Д. Аналіз причин виникнення автоколивань при механічній обробці різанням. Зб. Тез IV міжнародній студентській науково - технічній конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання" 28-29 квітня 2021.ТНТУ, 2021. С.89
14. Петраков Ю В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. УкрНДІАТ, К.: 2004.– 384 с.
15. Маталин А.А. Технология машиностроения.– Л. – М., 1985. – 496 с.
16. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 207. 275 с.
17. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. 199 с.
18. Локтев А. Д. Общемашиностроительные нормативы режимов резания : справочник. В 2 т. Москва : Машиностроение, 1991.
19. Солнцев Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. 784 с.
20. Технология обработки металлов резанием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sandvik.coromant.com/silenttool
21. Effectiveness of particle and mass impact damping on tool vibration during hard turning process Author: P Sam Paul, Prashanth Raja, Philip Aruldhas, Sam Pringle, Elvin Shaji. Proceedings of the institution of mechanical engineers part b – journal of engineering manufacture Volume: 232 issue: 5 page(s): 776–786 Issue published: April 1, 2018 .
22. Tlustý J. Besipiele der behandlung der selbsterregten Schwingung der Werkzeugmaschine / J. Tlustý, M. Polacek. – Munchen: FoKoMa, Hanser Verlag, 1957.

23. Tobias S.A. Theory of Regenerative Machine Tool Chatter / S.A. Tobias, W. Fiswick. – London: Engineering, 1958. – 258 p.
24. Hanna N.A. Theory of Nonlinear Regenerative Chatter / N.A. Hanna, S.A. Tobias// ASME Journal of Engineering for Industry. – 1974 – №35. – P. 247-255.
25. Tlusty J. Analysis of the State of Research in Cutting Dynamics / J. Tlusty // Annals of the CIRP. – 1978. – Vol. 2. – pp. 583-589.
26. Ivana Kovacic .Автоколебания при резании металла – теоретический подход/ UNIVERSITY OF NIŠ / The scientific journal FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering Vol.1, No 5, 1998 pp. 581- 593
27. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
28. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
29. Baranovskiy V.M., Chicory root crops combined harvester/ Baranovskiy V.M., Pankiv M.R.,Skalsky O.Yu., Pastushenko A.S. INMATEH – Agricultural Engineering. – INMA Bucharest : National Institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry, 2017. – Vol. 53. – No. 3/2017. – P. 41–50 (SciVerse SCOPUS)