

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра технології машинобудування

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ О.А.Охрименко
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ___ ” _____ 2022 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за напрямом **131. Прикладна механіка**
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему: Технологія виготовлення корпусу редуктора при безвібраційних режимах

Виконав студент 4 курсу, групи **МТ -81**

Яковенко А. С. _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник Петраков. Ю. В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

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

Засвідчую, що у цій дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Яковенко А.С.
(підпис)

Київ – 2022 року

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Технологія виготовлення корпусу редуктора при
безвібраційних режимах оброблення»

Яковенко А.С. «Технологія виготовлення корпусу редуктора при безвібраційних режимах»

УДК 621.941

В дипломному проекті вирішена задача створення технологічного процесу оброблення корпусу редуктора на верстатах з ЧПК при безвібраційних режимах різання. Ключові слова: технологія оброблення ЧПК, безвібраційні режими різання.

Дипломний проект за напрямом 131.Прикладна механіка, спеціалізації Технологія машинобудування / Яковенко Андрій Сергійович. – Київ, 2022. – 84 с.

Київ 2022

Зміст

Вступ.....	4
1. Дослідження умов сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі під час різання.....	4
1.1 Поняття про автоколивання.....	4
1.2. Дослідження умов сталості та виникнення автоколивань.....	7
1.3. Математична модель.....	13
1.4. Дослідження автоколивань в моделюванні.....	13
1.4.1. Програма «Автоколивання».....	15
1.4.2. Результати експериментальних досліджень.....	16
1.5. Висновки.....	25
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	28
2.1 Аналіз службового призначення і умов її роботи у вузлі.....	28
2.1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалу деталі.....	29
2.2 Визначення типу виробництва.....	30
2.3 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....	32
2.4. Вибір заготовки та її техніко-економічне обґрунтування.....	35
2.5. Вибір технологічних баз і обґрунтування вибраної схеми базування.....	37
2.6 Проектування технологічних маршрутів оброблення поверхонь.....	40
2.7 Проектування технологічного процесу оброблення деталі „Корпус редуктора”.....	42
2.7.1 Розроблення та представлення маршрутного технологічного процесу.....	42
2.7.2. Вибір обладнання, верстатних пристроїв, різальних і вимірювальних інструментів..	47
2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання.....	49
2.9 Аналітичний розрахунок припусків.....	51
2.10 Розрахунок режимів різання.....	54
2.11 Визначення норм часу.....	60
3. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ.....	63
3.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв.....	63
3.2 Розрахунок пристрою.....	65
Додаток А.....	67
Додаток Б.....	79
Література.....	81

Вступ

Неконтрольовані коливання інструменту - розповсюджена проблема навіть в процесах фрезерування, розточування, обточці. Вони схильні різко та неконтрольовано збільшувати сили різання і шороховатість, а також знижувати продуктивність обробки. Для всіх з них, коливання надзвичайно шкодять якості оброблення.

Вібрації можуть призвести до пошкодження ріжучого інструменту або навіть самого верстату, отже, збільшує витрати я виробництва. Тому вивчення і вирішення цієї проблеми дуже важливо для підвищення продуктивності цих операцій. (9)

Отже дослідження та вирішення цієї проблеми в машинобудуванні є пріоритетом.

1. Дослідження умов сталості та виникнення автоколивань у технологічній оброблювальній системі під час різання

1.1 Поняття про автоколювання

В процесі різання у елементах технологічної оброблювальної системи (Далі *-ТОС) виникають коливання

Автоколювання- найбільш розповсюджена та вивчена форма таких коливань. Така форма супроводжує майже всі види обробки різанням.

Зміна умов різання викличе відповідну реакцію процесу різання та пружного ТОС, що в свою чергу спричинить зміни умов різання. Тобто система замкнута. Автоколювання створюється і підтримується за рахунок внутрішніх процесів, які охоплюють ТОС, що має зовнішнє джерело енергії.

До прикладу: зміна подачі інструмента викликає зміну силу різання, яка викликає зміну пружної деформації ТОС, та, з тим, викликає зміну глибини різання.

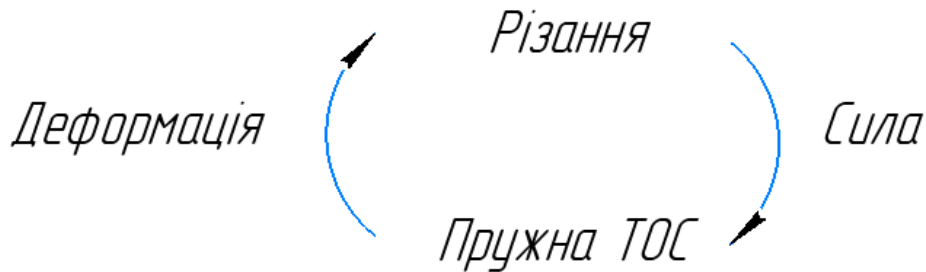


Рис.1.1. Замкнена технологічна обробна система

Існує три основних режими роботи ТОС при різанні:

1. Сталий процес різання.
2. Умовно сталий процес різання (з усталеними автоколиваннями).
3. Нестале різання, так зване підривання.

В реальній пружній ТОС в процесі різання діє велика низка факторів, що викликають автоколивання. З них найбільш вагомий - вплив особливостей процесу різання, таких як, залежності сили різання від глибини та швидкості різання і її вплив на багатокординатну динамічну систему верстата, що має зворотні зв'язки (рис.1.1).

Як правило, більшість дослідників вважають, що вібрації в ТОС виникають внаслідок взаємодії пружної системи і процесів різання. Таким чином, ця взаємодія є осцилятором і джерелом динамічних ефектів у пружній системі, яка з'являється в періодичних відносних зміщеннях інструменту і заготовка. (10)

Одна з важливих причин виникнення автоколивань- нелінійність процесу різання, та відставання у часі зміни різання від товщини шару, що зрізається.

Це запізнення вимірюється постійною часу стружкоутворення. Вона ж залежить від наступних умов різання: величина усадки стружки(пряма пропорційність) і швидкості різання (зворотно пропорційна). (5)

Здебільшого, для процесів оброблення різанням характерна обробка «за слідом» - різання на поточному проході шару припуску, форма у якого певній мірі сформувалася на попередньому проході при декому рівні вібрацій ТОС.

Це явище може навіть викликати втрату сталості процесу різання при вторинному підсиленні коливань за рахунок вимушених коливань з частотою, що дорівнює частоті власних коливань ТОС. Майже всі реальні процеси різання виконуються «за слідом».

Через певний проміжок часу в системі настає рівновага між енергією збурення автоколивань і енергією, що розсіюється. Усталені автоколивання настають після 5-30 обертів від початку різання для токарного оброблення однолезовим інструментом.

Підривання виникає внаслідок аперіодичної несталості динамічної системи верстату. Підривання виникає після автоколивань з амплітудою, що швидко збільшується і характеризує втрату сталості. При такому режимі роботи різання вести неможливо.

Рівень автоколивань у значній мірі впливає на стійкість інструменту і продуктивність та якість оброблення. Залежність стійкості інструменту від амплітуди автоколивань для різних процесів різання лезовим інструментом має екстремальний характер. (3)

Це означає, що для кожного конкретного технологічного процесу існує деяка оптимальна амплітуда автоколивань, при якій стійкість максимальна.

При обробці корозійно-стійких, жароміцних, високо-міцних сталей, а також титанових сплавів твердосплавними інструментами зона

оптимальних за критерієм стійкості амплітуд автоколивань знаходиться у діапазоні 8...18 мкм. (3)

1.2. Дослідження умов сталості та виникнення автоколивань

Управлінням рівнем автоколивань можна досягнути підвищення продуктивності оброблення завдяки інтенсифікації режиму різання. Також, геометричні параметри обробленої поверхні значно залежать від рівня амплітуди автоколивань та їх частоти.

Автоколивання можуть впливати як на мікрогеометрію - шорсткість поверхні, а також на мікрогеометрію – хвилястість.

Циклічний характер взаємодії задньої поверхні інструменту з поверхнею деталі під час вібраціях суттєво підвищує ступінь та глибину наклепу поверхневого шару.

Динаміка верстатів пояснює виникнення автоколивань як сукупність причин, у тому числі - наявністю складних багатокординатних зв'язків у пружній системі.

Простіше кажучи, для побудови адекватної математичної моделі не можна обмежитись всього однією координатою.

Для дослідження умов сталості та виникнення автоколивань необхідно розглянути ТОС, представлену як взаємозв'язані дві координатної динамічні моделі.

До того ж, однією з головних причин виникнення автоколивань дослідниками зазначається оброблення «за слідом».

Тому для побудови математичної моделі ТОС можна скористатися динамічною моделлю поперечного перерізу верстата, що представлена на рис.1.2.

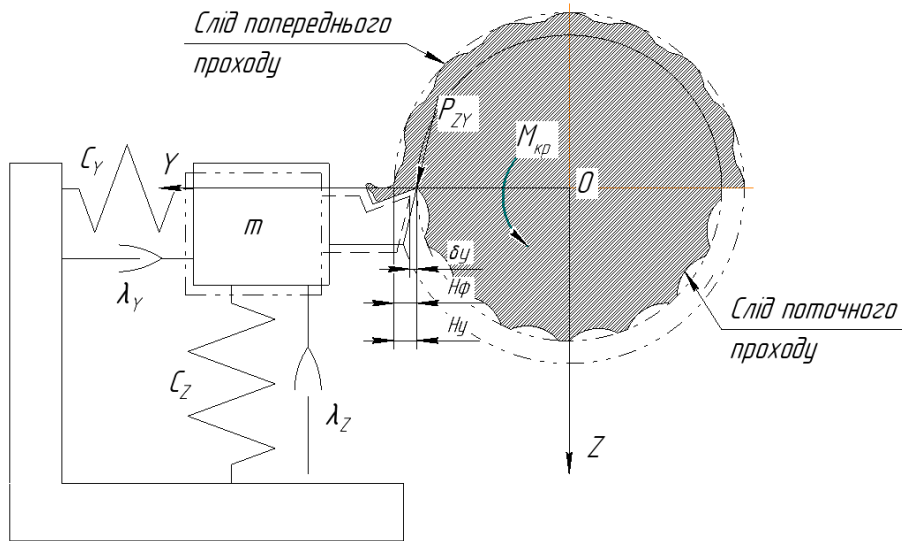


Рис.1.2. Динамічна схема ТОС токарного верстата

1.3 Математична модель

Метою дослідження є розробка математичної моделі, щоб створити інформаційне забезпечення чисельного моделювання та системи прогноз стабільності.

Це дозволяє вирішити не тільки проблеми вибору режим різання, а й дизайн динамічних параметрів ТОС для виконання стабільної обробки з максимальним продуктивність.

Пружна система верстату представлена у вигляді одномасової динамічної системи (приведена маса m) з двома ступенями рухомості за координатою Z і координатою Y .

Маса має пружні зв'язки з основою жорсткістю C_Z і C_Y відповідно, а також в'язким тертям (сила тертя пропорційна швидкості) з коефіцієнтами пропорційності λ_Z і λ_Y .

На практиці демпфіруванням складно управляти, а отже у подальших розрахунках коефіцієнти в'язкого тертя за обома координатами прийняті однаковими.

В процесі різання, під дією складової P_{ZY} сили різання, пружна система деформується і різець займає положення, що показане пунктирною лінією на рис.1.2.

Таким чином, з розмірного ланцюга схеми можна отримати у напрямку вісі Y величину фактичної глибини $H_{\phi Y}$ різання:

$$H_{\phi Y} = H_z - \delta_y \quad (1.1)$$

де H_z – задана глибина різання, d_y – пружна деформація ТОС у напрямку вісі Y.

Якщо деформація ТОС у напрямку вісі Y впливає на фактичну глибину різання, тобто вплив деформації ТОС у напрямку вісі Z на фактичну глибину різання може бути визначений за геометричною схемою рис.1.3.

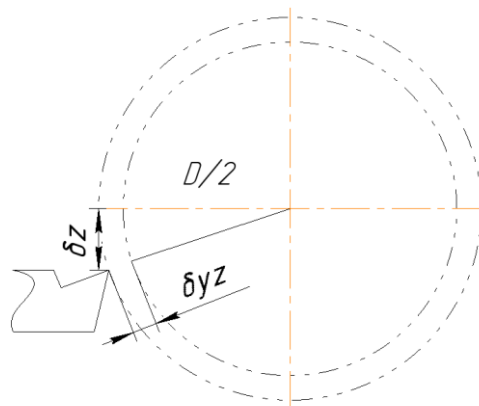


Рис.1.3. Схема впливу деформації d_z на H_{ϕ}

Так, з геометричних співвідношень рис.1.3 маємо:

$$\delta_{yz} = \sqrt{R^2 + \delta_z^2} - R \quad (1.2)$$

де $R=D/2$ – радіус деталі.

Таким чином, вплив деформації всієї пружної системи на фактичну глибину різання відображається залежністю, що об'єднує залежності (1.1) і (1.2):

$$H_{\phi} = H_3 - (\delta_y + \sqrt{R^2 + \delta_z^2} - R) \quad (1.3)$$

Оскільки деформація за віссю Z відбувається у напрямку швидкості V головного руху, то швидкість зміни деформації d_z ТОС впливає на фактичну швидкість різання:

$$V_{\phi} = V - \frac{d\delta_z}{dt} \quad (1.4)$$

Процес різання може бути представлений за допомогою відомих з теорії різання емпіричних залежностей:

$$P_z = C_{pz} H_{\phi}^{x_{pz}} S^{y_{pz}} V^n k \quad (1.5)$$

де C_{pz} , k – емпіричні коефіцієнти, x_{pz} , y_{pz} , n – показники ступеня.

Скориставшись співвідношенням $P_{xy} = 0,6P_z$, та геометричним розташуванням складових сили різання, можна отримати таку формулу для розрахунку складової P_y сили різання:

$$P_y = \sqrt{\frac{P_{xy}^2}{1 + tg^2(\varphi + \eta)}} \quad (1.6)$$

де φ – головний кут в плані різця; η – кут сходу стружки

Урахування динамічної характеристики процесу різання - наступним диференціальним рівнянням:

$$T_p \frac{dP}{dt} + P = k_p H \quad (1.7)$$

де T_p – постійна часу стружкоутворення, k_p – коефіцієнт лінеаризованої залежності сили різання від глибини.

За експериментальними даними постійна часу стружкоутворення змінюється у діапазоні 0,001...0,005 с. Однак більш суттєвим для покращення адекватності математичної моделі є те, що постійна часу

стружкоутворення для складової P_z є меншою, ніж для складової P_y сили різання .

За кожною координатою зв'язок маси m з основою представлений приведеною жорсткістю C та коефіцієнтом в'язкого тертя l , тобто такого тертя, коли сила тертя пропорційна швидкості відносного руху.

У цьому випадку рух системи відносно деформації δ за кожною координатою описується двома диференціальними рівняннями, кожне другого порядку:

$$\begin{cases} \frac{d^2\delta_y}{dt^2} m + \lambda_y \frac{\delta_y}{dt} + C_y \delta_y = P_y \\ \frac{d^2\delta_z}{dt^2} m + \lambda_z \frac{\delta_z}{dt} + C_z \delta_z = P_z \end{cases} \quad (1.8)$$

Представлена математична модель (1.1) - (1.8) покладена в основу алгоритму, за яким складена прикладна програма моделювання на ПЕОМ (рис.1.4).

Моделювання виконується чисельним методом з кроком інтегрування dt у функції номеру i за кутовою координатою контуру заготовки, що обробляється і номеру j оберту деталі.

Така структура алгоритму дозволяє врахувати вплив обробки «за слідом», коли похибка $dH_{j,i}$ від пружних деформацій, що утворилася на першому оберті заготовки сприймається ТОС як зміна заданої глибини різання $H_{j,i}=H_z+dH_{j-1,i}$ на другому оберті заготовки і т.д.

Чисельне інтегрування виконується за методом Рунге-Кутта четвертого порядку (модуль IntRK) у відповідності до математичної моделі, що представлена за допомогою змінних стану у модулі Model.

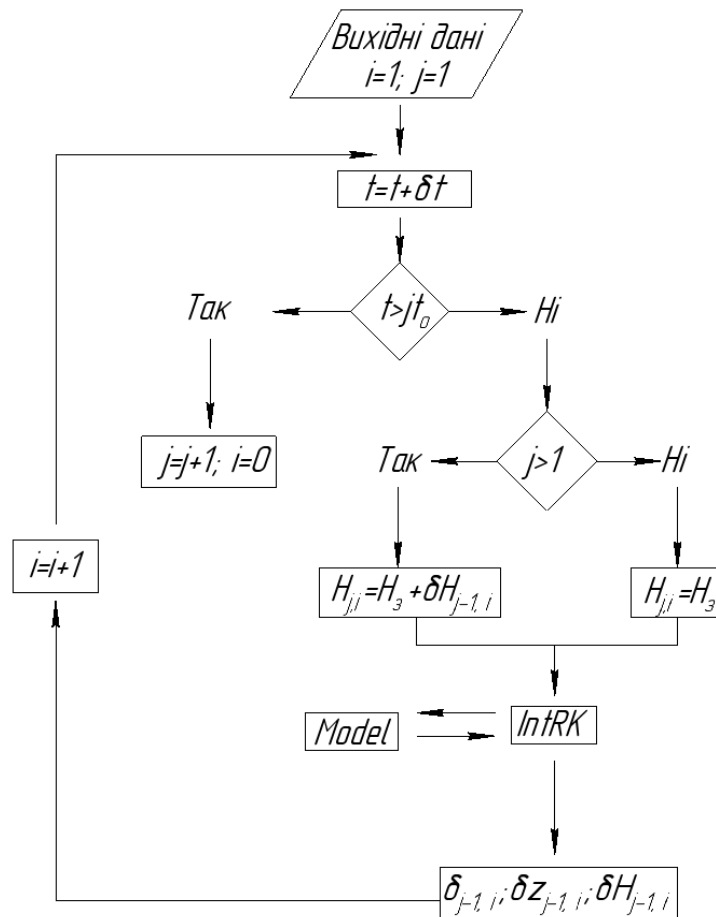


Рис.1.3. Блок-схема алгоритму моделювання

За допомогою представленої вище методики можна проводити аналіз та оцінювати вплив будь-яких параметрів системи, що наведені у вихідних даних, на її динамічні показники і характеристики.

Однак цей метод передбачає комплексне дослідження і вимагає значних витрат. Експериментальний метод завжди є трудомістким і дорогим, тоді як аналітичний метод усуває потребу в експериментах. Тим не менш, запропонований аналітичний метод не можна вважати вичерпним.

Необхідність розробити моделі для підвищення їх адекватності очевидна, визначення обмежень параметрів роботи ТОС дозволить достовірно і просто передбачити результати різання, тобто забезпечити стабільність процесу з використанням моделювання чисельними методами.

1.4. Дослідження автоколивань в моделюванні

1.4.1. Програма «Автоколивання»

Для виконання практичної частини використовуємо прикладну програму «Автоколивання»

Її головний інтерфейс представлений на рис.1.4.

На інтерфейсі розташовані вікна завдання вихідних даних, кнопки управління, а також вікно (1) анімації процесу точіння, зображення осцилографу (2) і плотеру (3).

Плотер (3) відображає траєкторію (4) руху вершини різця за координатами Z і Y , тобто у вертикальному перерізі заготовки.

Реєстрація процесів на плотарі, осцилографі і рух у вікні анімації синхронізовані. На зображенні осцилографа з'являються осцилограми його характеристик:

- крива 5 – деформація за координатою Z ,
- крива 6 – деформація за координатою Y .

Функція представлення частини траєкторії дозволяє спостерігати на екрані плотера тільки ту частину, яка відповідає періоду коливань.

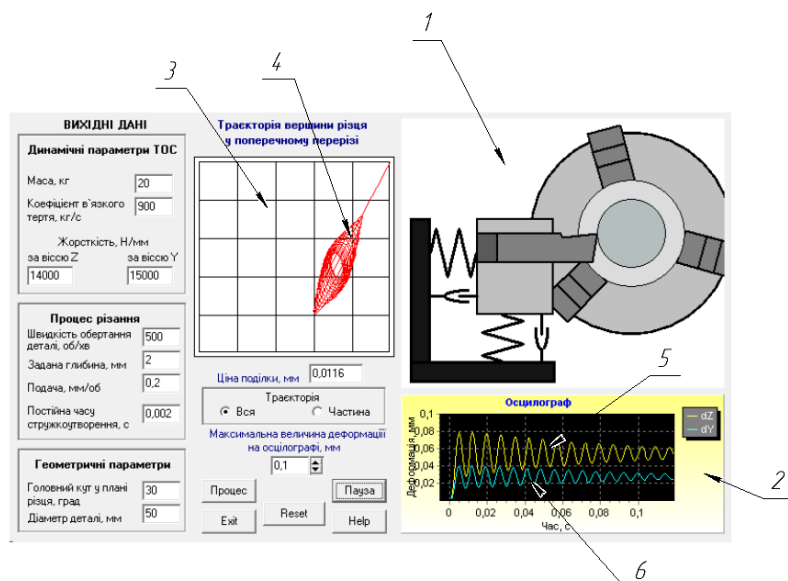


Рис.1.4. Головний інтерфейс прикладної програми

Прийнято, незалежно від величини повздовжньої подачі, що тривалість початкового процесу дорівнює часу одного оберту заготовки. Така особливість полегшує контроль часу одного оберту заготовки при різних значеннях частоти обертання, після якого вже настає різання “за слідом”, за зображенням на полі анімації.

У відповідності до заданої у вихідних даних частоти обертання заготовки (500 об/хв), час одного оберту дорівнює 0,12 с. Саме після цього часу настає оброблення за слідом, що починає додатково збуджувати систему.

Початок такого процесу зафіксований на осцилографі рис.1.5, де після 0,12 з амплітуди коливань пружної системи за координатою Z (1) та за координатою Y (2) збільшуються.

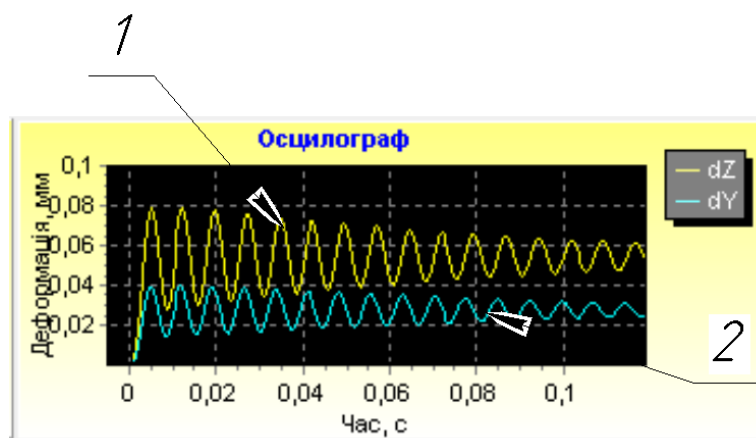


Рис.1.5. Початок обробки “за слідом”

В залежності від динамічних характеристик ТОС далі настають або усталені коливання, які визначають рівень вібрацій в системі під час оброблення, або амплітуда коливань постійно збільшується, що визначатиме втрату сталості і так зване підривання. В такому випадку, реально, процес різання продовжуватись не може.

Для визначення наведених тенденцій необхідно оцінювати процес не менш, ніж через 6 обертів заготовки.

- При вихідних даних, що наведені у вікнах інтерфейсу рис. 1.4, стан осцилографу і плотеру через 6 обертів заготовки (час $> 0,7$ с) показаний на рис. 1.6.
- 1 – деформація за координатою Z
- 2 – деформація за координатою Y
- 3 – траєкторія вершини різця у поперечному перерізі

Усталений режим автоколивань супроводжується рухом вершини різця за еліпсом головна вісь якого займає певне положення у площині, що співпадає з теоретичними дослідженнями і експериментальними вимірами. (рис. 1.6)

У перехідний період, на першому оберті заготовки, рух вершини різця виконується також за траєкторіями, що нагадують еліпс, головна вісь якого повертається.

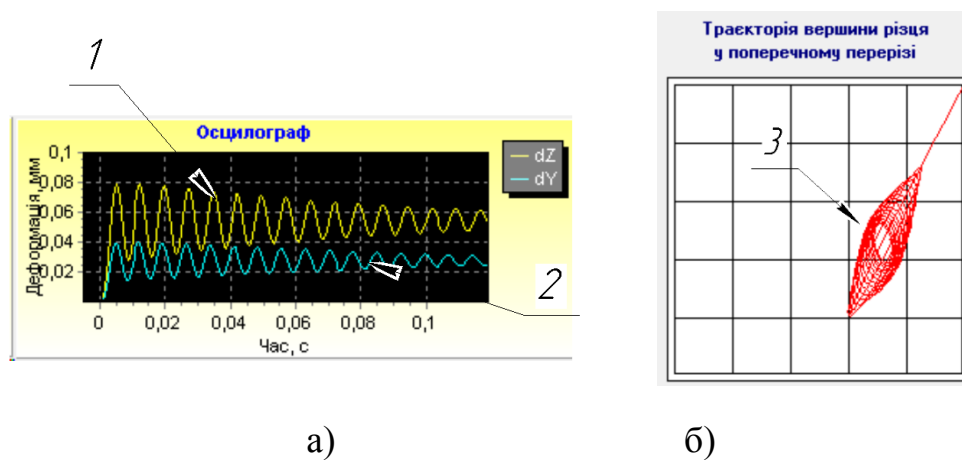


Рис.1.6. Результати моделювання ТОС при різанні в усталеному режимі:

а) – осцилограми деформацій, б) - траєкторія вершини різця у поперечному перерізі

Стан системи на початку процесу, який приводить до послідовного збільшення коливань, що свідчить про несталість процесу, показаний на

рис.1.7. Після виконання одного оберту заготовки (час 0,12 с) амплітуда коливань деформацій за віссю Z (1) та віссю Y (2) поступово збільшується, відповідно збільшуються також розміри еліпсів, що описує вершина різця у поперечному перерізі (3).

Моделювання у такому випадку може деякий час продовжуватись, однак у реальному процесі такі коливання провокують «підривання» різця, що приводить до колізій процесу різання.

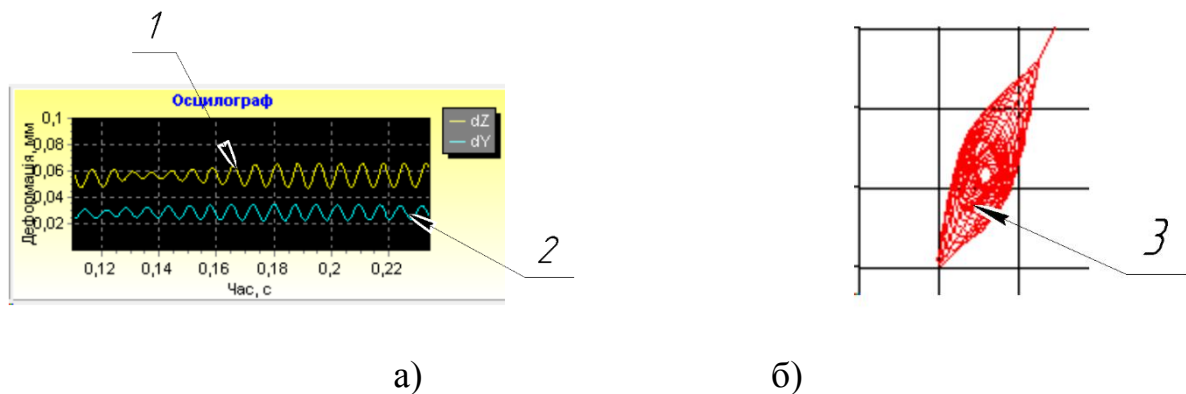


Рис.1.7. Результати моделювання ТОС при втраті сталості процесу різання: а) – осцилограми деформацій, б) - траєкторія вершини різця у поперечному перерізі

1.4.2. Результати експериментальних досліджень

Перед проведенням експериментальних досліджень необхідно підготувати таблицю для запису експериментальних даних відповідно до завдання. Необхідно зосередитися на діапазоні варіювання параметрів процесу обробки, передбаченому програмою, і виконати наступні експерименти відповідно до завдання та швидкості обертання заготовки.

Для завдання необхідно експериментально визначити наступні залежності амплітуди автоколивань за осями Z і Y :

- від жорсткості ТОС за координатою Z та маси ТОС;
- від жорсткості ТОС за координатою Y ;
- від частоти обертання заготовки;

- від заданої глибини різання;
- від діаметру заготовки.

Результати вимірювань записуємо у таблиці експериментальних даних, за якими необхідно побудувати графіки відповідних залежностей у кожному експерименті.

Таблиця 1.1. Вихідні дані

m, кг	C_z , Н/мм	C_y , Н/мм	l, кг/с	n_z , об/хв	H_z , мм	S, мм/хв	T_p , с	j, град	D_z , мм
20	14000	15000	900	500	2	0.2	0.002	30	50

Перша серія експериментів у відповідності до завдання проводиться для визначення залежностей амплітуди коливань за визначеними осями координат від жорсткості за віссю Z та приведеної маси динамічної системи.

Спочатку необхідно провести пошуковий експеримент зі збільшеним кроком зміни жорсткості - 1000 Н/мм. Прийнятий крок зміни маси 5 кг. Експериментальні дані занотовані у табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Амплітуди коливань від жорсткості C_z і маси ТОС

№	C_z , Н/мм	m=10 кг		m=15 кг		m=20 кг	
		d_z , МКМ	d_y , МКМ	d_z , МКМ	d_y , МКМ	d_z , МКМ	d_y , МКМ
1	9000	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.
2	10000	9	2	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.
3	11000	5	0	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.
4	12000	3	0	9	2	25	2
5	13000	0	0	4	0	42	12
6	14000	0	0	5	2	10	9
7	15000	0	0	4	2	25	18

8	16000	0	0	2	0	5	2
---	-------	---	---	---	---	---	---

Аналіз отриманих експериментальних даних табл. 1.2 показує, що у деяких діапазонах зміни жорсткості виявлені досить різкі зміни деформацій, що порушує регулярний характер залежностей.

Таким чином, виникає потреба більш точно виявити значення жорсткості C_z , що приводить до резонансу, а також межу втрати сталості ТОС (у табл. 1.2 такий стан позначений скороченням **н.с.** – не стала).

Такі дослідження проведені для маси $m=20$ кг при кроці зміни жорсткості 250 Н/мм (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Залежність амплітуди коливань від C_z для $m=20$ кг

№	C_z , Н/мм	d_z , мкм	d_y , мкм
1	12000	25	2
2	12250	14	4
3	12500	25	7
4	12750	42	12
5	13000	42	12
6	13250	38	9
7	13500	17	6
8	13750	5	3
9	14000	10	9
10	14250	14	11
11	14500	29	19
12	14750	35	22
13	15000	25	18
14	15250	16	9
15	15500	8	5
16	15750	3	2

17	16000	5	2
----	-------	---	---

За результатами експериментальних даних табл. 1.3, з використанням пакету Excel, побудовані графіки відповідних залежностей, що представлені на рис. 1.8.

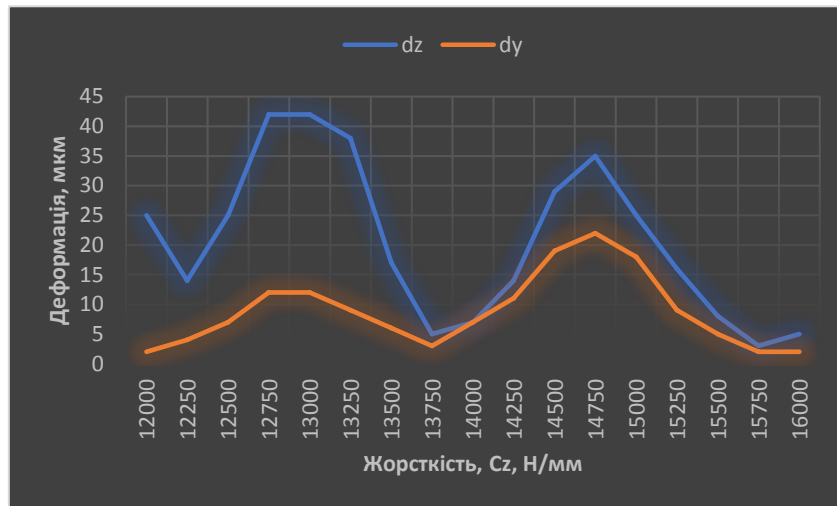


Рис.1.8. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від жорсткості C_z ТОС для приведеної маси 20 кг

Проведення наступних експериментальних досліджень виконується для встановлення залежності автоколивань ТОС при різанні від жорсткості C_y за схемою однофакторного експерименту. Всі інші незмінні вихідні дані відповідають табл. 1.1. Результати досліджень представлені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Залежність амплітуди коливань від жорсткості C_y ТОС

№	C_y , Н/мм	d_z , мкм	d_y , мкм
1	5000	2	4
2	6000	2	4
3	7000	0	4
4	8000	2	0
5	9000	6	0
6	10000	5	0
7	11000	3	0

8	12000	4	1
9	13000	6	4
10	14000	10	8
11	15000	7	7
12	16000	4	0
13	17000	2	0

При зниженні величини жорсткості ТОС у напрямку вісі Y було помічено, що траєкторія руху вершини різця у поперечному перерізі змінює свою форму у порівнянні з попередньою серією досліджень.

Особливо помітною різниця форми стає при величинах жорсткості за межами, зазначеними у табл. 1.4. На рис. 1.9 зафіксований стан ТОС на початку процесу різання при заниженій жорсткості C_y : коливання за координатою Y – лінія 1, за координатою Z – лінія 2.

Вершина різця рухається за знаку безкінечності траєкторією (3), що пояснюється значною різницею частот власних коливань за осями Z і Y .

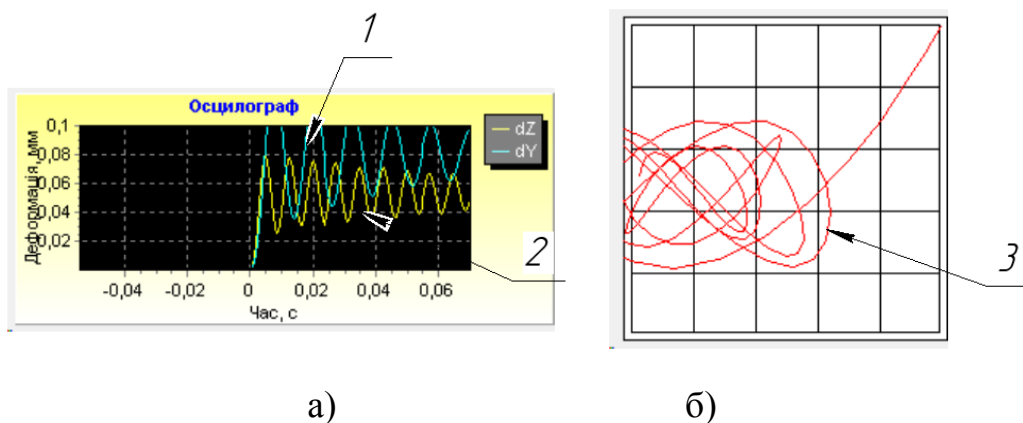


Рис.1.9. Результати моделювання ТОС при $C_y = 5000$ Н/мм: а) – осцилограми деформацій, б)- траєкторія вершини різця у поперечному перерізі

За результатами досліджень, які занотовані у табл. 1.4, побудовані графіки відповідних залежностей (рис.1.10).



Рис.1.10. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від жорсткості C_y ТОС для приведеної маси 20 кг

У відповідності до завдання наступні експерименти проводяться в залежності від частоти обертання заготовки.

Оскільки обробка моделюється в термінах траєкторій, необхідно вимірювати амплітуду коливань уздовж координатних осей однаковою кількістю обертів заготовки, щоб підтримувати адекватність вимірювань.

Для таких вимірювань в експериментальний паспорт необхідно додати стовпець із часом шести оборотів заготовки, розрахованим за простою формулою

$$t_{6об} = 360/n_з, \text{ де } n_з - \text{ частота обертання заготовки (табл. 1.5).}$$

Таблиця 1.5. Залежність амплітуди коливань від частоти обертання заготовки

№	$n_з$, об/хв	$T_{6об}$, с	V , м/с	d_z , мм	d_y , мм
1	100	3.6	15,70	н.с.	н.с.
2	200	1.8	31,40	н.с.	н.с.

3	300	1.2	47,10	н.с.	н.с.
4	400	0,9	62,80	16	11
5	500	0,72	78,50	10	9
6	600	0,6	94,20	20	10
7	700	0,51	109,90	22	11
8	800	0,45	125,60	4	3
9	900	0,4	141,30	3	0
10	1000	0,36	157,00	3	3
11	1100	0,33	172,70	10	5
12	1200	0,3	188,40	8	4
13	1300	0,28	204,10	3	3
14	1400	0,26	219,80	6	0
15	1500	0,24	235,50	5	3
16	1600	0.22	251,20	2	2
17	1700	0.21	266,90	0	0

За отриманими результатами експериментальних досліджень (табл. 1.5) на рис.1.11 побудовані графіки відповідних залежностей.



Рис.1.11. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від частоти обертання заготовки

Для встановлення експериментальної залежності амплітуди автоколивань ТОС під час різання на заданій глибині різання проведено наступні експерименти.

Діапазон і розмір кроку зміни глибини різання слід задавати за допомогою попередніх експериментів, які визначали чутливість системи до зміни обраних параметрів і максимально допустимі значення за якого настає нестабільний режим роботи.

Результати досліджень представлені у табл. 1.6, графіки залежностей – на рис.1.12.

Таблиця 1.6. Залежність амплітуди коливань від глибини різання

№	H _з , мм	d _z , мм	d _y , мм
1	0,5	0	0
2	0,6	0	0
3	0,7	0	0
4	0,8	0	0
5	0,9	0	0
6	1	0	0
7	1,1	0	2
8	1,2	1	2
9	1,3	2	0
10	1,4	3	0
11	1,5	2	1
12	1,6	3	2
13	1,7	3	2
14	1,8	5	3
15	1,9	6	5
16	2	10	9
17	2,1	10	8
18	2,2	10	8
19	2,3	17	10
20	2,4	16	12
21	2,5	н.с	н.с

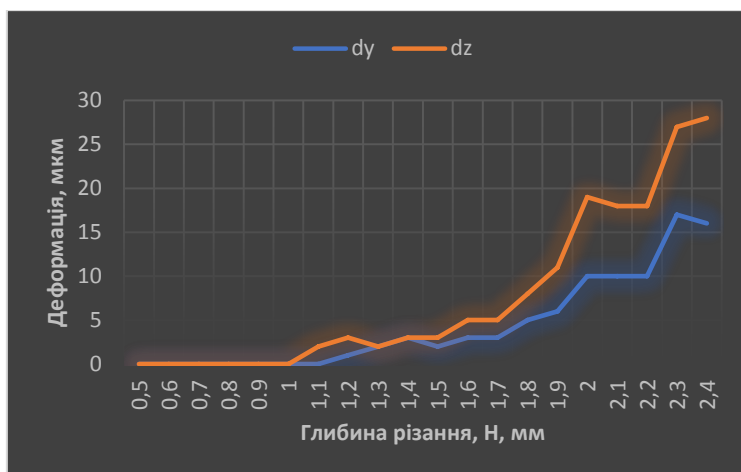


Рис.1.12. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від глибини різання

Остання запланована серія експериментів – провести дослідження режиму автоколивань ТОС в залежності від діаметру заготовки.

При більш уважному погляді можна помітити, що діаметр заготовки опосередковано впливає на фактичну глибину різання, яка є важливим фактором процесу різання і впливає, у свою чергу на силу різання.

Таким чином, через замкненість ТОС при різанні, діаметр заготовки повинен впливати на режим автоколивань. Для виявлення такого впливу складений план експерименту (табл. 1.7), з попереднім визначенням кроку і доцільного діапазону зміни аргументу, як і для всіх попередніх експериментів.

Таблиця 1.7. Залежність амплітуди коливань від діаметру заготовки

№	D_z , мм	d_z , мм	d_y , мм
1	30	н.с.	н.с.
2	35	н.с.	н.с.
3	40	н.с.	н.с.
4	45	19	13
5	50	10	9
6	55	5	2

7	60	2	1
8	65	2	1
9	70	0	0

Результати експериментів представлені на рис. 1.13.

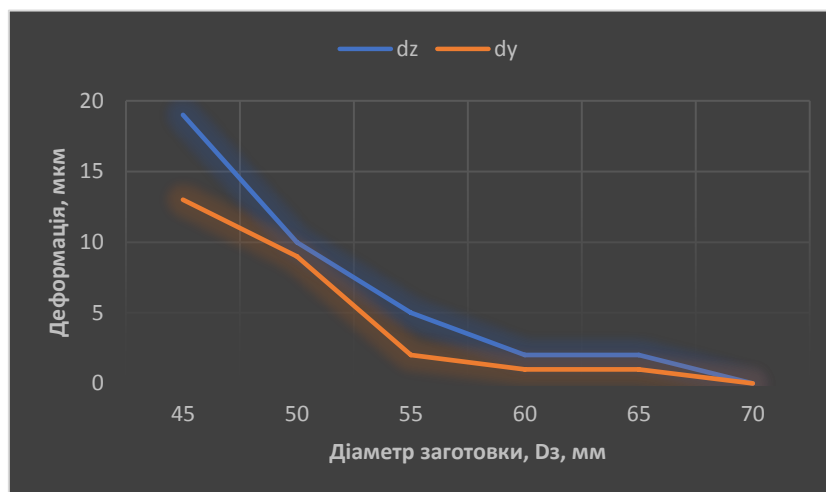


Рис.1.13. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від діаметру заготовки

1.5. Висновки

1.Режим роботи ТОС при різанні сильно залежить від жорсткості C_z за координатою Z. Характер залежності- періодичний.

В режимі усталених автоколивань амплітуда коливань змінюється в залежності від жорсткості з певною періодичністю, це свідчить про наявність декількох резонансних зон пружної ТОС при різанні.

Несталий режим при жорсткості $C_z < 11000$ Н/мм характеризується поступовим збільшенням коливань, проте після суттєвого збільшення перерізу шару, що зрізається, відбувається злам або інструменту, або деталі (далі – підривання).

Приведена маса пружної ТОС також суттєво впливає на динамічну частотну характеристику системи, а саме, на зсув межі сталості за жорсткістю C_z .

2. При жорсткості $C_y \leq 5000$ Н/мм статичні деформації (зникає амплітуда коливань), а подальше зменшення жорсткості C_y змінює форму

траєкторії руху вершини різця у поперечному перерізі з еліптичної на знак безкінечності.

Система не втрачає сталості навіть при малих величинах жорсткості C_y . Згідно з дослідженнями- ТОС є менш чутлива до змін жорсткості за координатою Y , ніж за координатою Z .

3. Важливим є забезпечення високої жорсткості C_z за координатою Z і зниження маси деталі.

Щодо жорсткості C_y , то необхідно уникати підвищення жорсткості.

4. Виявлена зона несталого режиму різання при $n_3 < 300$ об/хв, та зона усталених автоколивань. За межею $n_3 \geq 1700$ об/хв статичні деформації (зникає амплітуда коливань) .

Залежність амплітуди коливань від частоти обертання заготовки має періодичний характер, що збігається з запропонованою методикою моделювання обробки «за слідом».

Амплітуда коливань поступово зменшується, проходячи через три резонансні зони. Помітний вплив зменшення сили різання при збільшенні швидкості від 15м/хв до 240м/хв.

Для реальних процесів можна рекомендувати підвищення частоти обертання заготовки і швидкості різання.

5. В загальному, залежність амплітуди автоколивань від глибини різання має монотонний характер (не враховуючи одну резонансну зону, в якій підскочила деформація)

Для наших даних виявлені три режими роботи: при $H_3 \leq 1$ мм – сталий режим, при $1 \text{ мм} < H_3 < 2,5$ мм – режим усталених автоколивань і при збільшенні глибини різання настає підривання. Отже, максимально допустима глибина різання для нашого прикладу = 2,4мм.

6. Характер залежності амплітуди коливань від діаметру заготовки - монотонний.

При $D_3 < 45\text{мм}$ несталий режим, режим усталених автоколивань при $45\text{мм} < D_3 < 75\text{мм}$ і сталий режим роботи при $D_3 > 70\text{мм}$. Підривання настає при обробленні деталей з меншими діаметральними розмірами.

7. Загалом найлегший та найефективніший метод зменшити коливання в будь-якій ТОС – збільшити відношення товщина заготовки/ шар що знімається.

8. Альтернативним методом буде збільшення швидкості різання, проте це може збільшити похибки оброблення які пов'язані з інструментом або людським фактором.

Самим тяжким буде підбір жорсткостей системи ТОС (C_y , C_z) при котрих амплітуда коливань буде найменшою.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз службового призначення і умов її роботи у вузлі

У результаті технологічного контролю креслення „Корпус редуктора”, зазначимо:

- * на кресленні вказані всі необхідні розміри
- * шорсткість усіх поверхонь відповідає ГОСТ 2789-73;
- * допуски і відхилення розмірів відповідають ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82;
- * допуски форми та розташування поверхонь відповідають ГОСТ 24643-81;
- * вимоги до точності виготовлення поверхонь корпусу відповідають вимогам до шорсткості цих поверхонь.

За функціональним призначенням „Корпус редуктора” - базова деталь у вузлі, що необхідний для розміщення механізму шестерень.

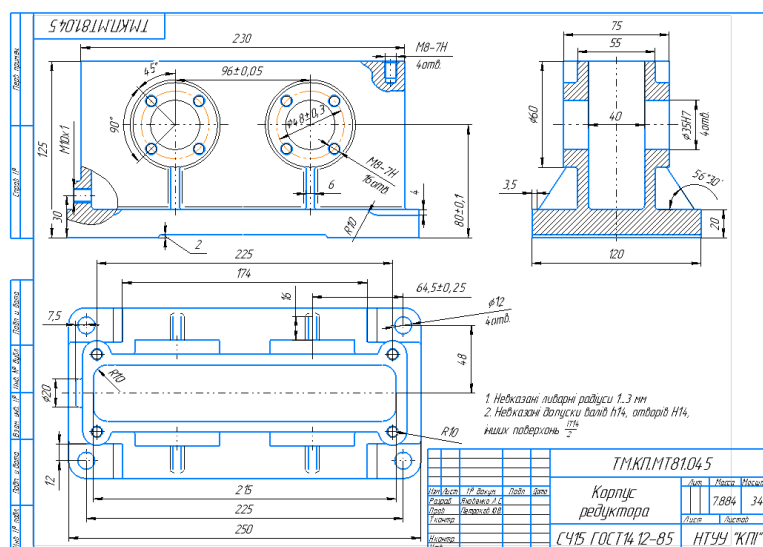


Рисунок 2.1 – Корпус редуктора

При виготовленні корпусу необхідно приділити увагу зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 70k6$, та внутрішній циліндричній поверхні \varnothing

176^{+0,08}. Деталь корпус виготовляють з сірого чавуну марки СЧ15 ГОСТ 1412-85.

2.1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалу деталі

Хімічний склад і фізико-механічні характеристики СЧ15 ГОСТ1412-85

Таблиця 2.1 Хімічний склад і фізико-механічні характеристики

Параметр	Показник	Одиниця вимірювання
Міцність на розтяг δ_B	150-240	НВ
Плотність	$7 \cdot 10^3$	Кг/м ³
Лінійна усадка ϵ	1.1	%
Модуль пружності, E	700	10^{-2} МПа
Ліміт теплоємності	460	Дж*кг*К
Коефіцієнт лінійного розширення	$9 \cdot 10^{-6}$	1/°С
Теплопровідність	59	Вт*м*К
Масова доля вуглеця	3.5-3.7	%
Масова доля кремнію	2-2.4	%
Масова доля марганця	0.5-0.8	%
Масова доля фосфору (не більше)	0.2	%
Масова доля сірки (не більше)	0.15	%

Чавун, як матеріал з високими антифрикційними властивостями. Він здатен поглинати вібрації, проте він не витримує великих ударних навантажень.

Висновок: деталь в процесі експлуатації працює в нормальних умовах, а також немає впливу агресивних середовищ, до того ж вона сприймає невеликі навантаження.

СЧ15 забезпечить виконання усіх вимог пред'явлених до деталі, а його собівартість при виготовленні дуже низька.

2.2 Визначення типу виробництва

У відповідності до стандартів ГОСТ 3.1108-74 ЄСТД, а також ГОСТ 14.004-74 ЄСТПВ, одна з основних характеристик типу виробництва- коефіцієнт закріплення операцій ($K_{з.о.}$);

Розраховується по формулі:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum_{i=1}^n TO}{\sum_{j=1}^m PM}, \quad (2.1)$$

де: $\sum_{i=1}^n TO$ - число технологічних операцій,

$\sum_{j=1}^m PM$ - число робочих місць з різними операціями.

Кількість всіх операцій і кількість робочих місць невідомі, тобто неможливо визначити коефіцієнт закріплення операцій.

Проте тип виробництва можна визначити на основі маси та річного обсягу випуску виробу. Визначимо тип виробництва згідно наступної таблиці (2.2.)

Таблиця 2.2 - Допоміжна таблиця для орієнтовного визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей, шт.		
	Легкі (масою до	Середні (масою	Важкі (масою

	20 кг)	20...30 кг)	більше 30кг)
одиничне	До 100	До 10	1...5
малосерійне	101...500	11...200	6...10
середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
великосерійне	5001...50000	1001...5000	201...1000

Маса деталі $m=7,884$ кг, річний обсяг випуску- 8000 штук

Приймаємо великосерійний тип виробництва.

Для великосерійного типу виробництва встановлено K_{30} в межах 1...10. Приймаємо $K_{30}=4$.

Для великосерійного типу виробничу ділянку організують за принципом обробки деталей схожих конструктивно, такою може бути дільниця корпусних деталей.

Розмір партії деталей можна визначити по формулі:

$$n = \frac{N * t}{F}, \quad (2.2)$$

де: $N= 8000$ шт – річний об'єм випуску деталей

$t=5$ – на скільки днів, на який необхідно мати запас деталей;

F - кількість робочих днів у році, $F=245$ днів.

Підставивши у формулу (2.2) значення, одержимо:

$$n = \frac{8000 * 5}{245} = 164 \text{ шт}$$

Висновок: Тип виробництва - великосерійний. Всі подальші технологічні рішення будемо виконувати для великосерійного типу виробництва з $K_{30}=4$.

2.3 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Розвиток технологічності - комплексні заходи щодо підтримки певного рівня технологічності конструкцій за певними показниками, спрямовані на зниження собівартості, підвищення продуктивності та скорочення термінів виготовлення виробу при забезпеченні його якості. Оцінка технологічності може бути двох видів - якісної або кількісної

Емпірична якісна оцінка технологічності конструкційних властивостей допускається на всіх етапах проектування, але як попередня.

Кількісна оцінка технологічності виробу виражається у вигляді числової метрики, яка використовується, якщо показник сильно впливає на технологічність виробу.

Ми використовуємо обидва види оцінки частково.

Якісна оцінка технологічності конструкції

Матеріал виробу – чавун марки СЧ15 ГОСТ 1412-85, він має гарні ливарні властивості та добре оброблюється.

Оброблені поверхні прості. Для обробки деталей не потрібні спеціальні інструменти, а всі поверхні легкодоступні. І забезпечити точну та надійну основу для процесу обробки.

Проаналізувавши технологічність конструкції, ми маємо наступний висновок:

- Конструкція має високу жорсткість, що забезпечує високі режими різання та широкий спектр наборів інструментів;
- Конструкція корпусу забезпечує вільний доступ до обробленої поверхні для ріжучих і контрольних інструментів;

- всі оброблені поверхні та отвори паралельні або перпендикулярні один одному;

- Більшість поверхонь і отворів можна обробити стандартними інструментами.

Кількісна оцінка технологічності деталі

1. Рівень технологічності конструкції по точності оброблення:

$K_{б.тч}$, $K_{тч}$ - відповідно базовий і отриманий коефіцієнти точності оброблення.

$K_{тч}$ визначається:

$$K_{тч} = \frac{K_{б.тч}}{K_{тч}}, \quad (2.3)$$

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{T_c} - \frac{\sum ni}{\sum Tni} = 1 - \frac{1}{12.8} = 0.92 \quad (2.4)$$

T_c - середній квалітет точності оброблення виробу;

n_i - кількість розмірів одного квалітету точності;

T - квалітет точності оброблення.

Таблиця 2.3 - Кількісна характеристика

Поверхня	Квалітет		
	7	9	14
Циліндрична	4	2	2
Лінійна	-	-	24

$$T_c = \frac{n1 * 2n2 + 3n3 + \dots}{n1 + n2 + n3 + \dots}, \quad (2.5)$$

$$T_c = \frac{7 * 4 + 9 * 2 + 14 * 26}{4 + 2 + 2 + 24} = 12.8$$

$K_{тч} = 0,92 > 0,8$ – отже ця умова виконується.

2. Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхонь:

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш_{ni}}{\sum n_i} = \frac{n_1 + n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 \dots} \quad (2.6)$$

$K_{б.ш}$, $K_{ш}$ – відповідно базовий та отриманий коефіцієнт шорсткості.

Таблиця 2.4 - Якісна характеристика

Поверхня	Шорсткість		
	5	2,5	0,63
Циліндрична	21	2	3
Лінійна	1	5	-

$$Ш_{ср} = \frac{5 * 24 + 2.5 * 9 + 0.63 * 3}{21 + 1 + 2 + 5 + 4} = 3.92$$

$$K_{ш} = 0,26 < 0,32 \quad (2.7)$$

3. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = \frac{M_d}{M_з} \quad (2.8)$$

де M_d , $M_з$ – відповідно маса деталі і маса заготовки;

Точну масу заготовки ми поки що не знаємо, то вважаємо, що її маса на 30% більша від маси деталі, тобто $7.884 * 130\% = 10.25$

Отже попередньо

$$K_{в.м} = 0.77$$

4. Рівень технологічності конструкції використання матеріалу:

$$K_{у.и.} = \frac{K_{б.в.м}}{K_{в.м}} \quad (2.9)$$

$K_{б.в.м}$, $K_{в.м}$ – відповідно базовий та отриманий коефіцієнти використання матеріалу.

Відпрацювання деталі на технологічність за кількісними показниками показало що деталь технологічна за показниками, та точностями розмірів поверхонь, за шорсткістю поверхонь і використанням матеріалу заготовки.

Висновок: деталь-технологічна.

2.4. Вибір заготовки та її техніко-економічне обґрунтування

Враховуючи матеріал СЧ15 і вихід 8000 деталей, ми приймаємо метод лиття в піщано-глиняну форму.

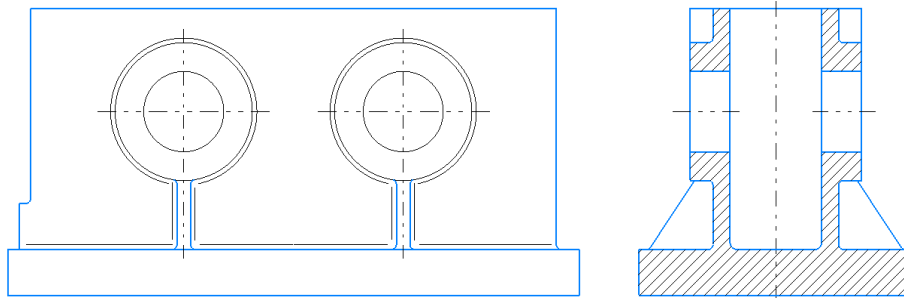
Метою перевірки способу отримання заготовки є пошук найбільш економічно доцільним способом для зазначеного виду виробництва, матеріалу заготовки та вимог до якості виготовлення.

На вибір методу отримання заготовки впливають вимоги до матеріалу, застосування та процесу, а також кількість і серія виробництва, форма поверхні та розмір деталі.

Оптимальний метод отримання заготовки визначається на основі аналізу вказаних факторів та техніко-економічного розрахунку технологічної собівартості деталі.

З огляду на розміри й матеріал корпусу, а також найменшу вартість литво в піщано-глинисті форми, заготовку будемо одержувати литвом у форми з

машинним формуванням по металевих моделях, так як цей метод є



рекомендованим для великосерійного типу виробництва.

Рисунок 2.2 заготовка деталі “Корпус редуктора”

Визначаємо основні параметри згідно ГОСТ 26645-85:

- * Клас розмірної точності – 10
- * Ступінь жолоблення – 7
- * Ступінь точності поверхні виливка – 15
- * Ряд припусків – 6
- * Шорсткість поверхні виливка для 15-ої ступіні точності поверхні виливка не більше Ra 50
- * Клас точності маси виливка – 10

За площину рознімання приймаємо площину, що проходить через нижню основу. В ній лежать найбільші габаритні розміри заготовки, а також найбільша частина виливка формується в одній опоці.

Литі поглиблення під колодязі будуть формуватися за допомогою ливарних стрижнів з ухилами по довжині.

Визначаємо вартість виливка по формулі:

$$S_3 = \left(\frac{C_i}{1000} * Q * K_T * K_C * K_B * K_M * K_M \right) - (Q - q) * \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (2.10)$$

C_i - базова вартість однієї тони заготовок, $C_i = 4800$ грн.

K_T, K_C, K_B, K_M, K_P - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва заготовок. Всі коефіцієнти приймаю рівними одиниці.

Q - маса заготовки, кг; $Q=10.25$ кг;

q - маса готової деталі, $q = 7,884$ кг;

$S_{\text{від.}}$ - ціна 1т відходів, $S_{\text{від.}}=64,8$ грн.

Підставивши дані у формулу (1.10), одержимо:

$$S_3 = \left(\frac{4800}{1000} * 10.25 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 \right) - (10.25 - 7.884) * \frac{64.8}{1000} \\ = 49.04 \text{ грн}$$

Таку вартість заготовки можна вважати раціональною і прийняти спосіб виготовлення заготовки литвом в піщано-глинисті форми.

2.5. Вибір технологічних баз і обґрунтування вибраної схеми базування

Якість виготовлення деталей залежить від правильного вибору технологічних баз.

Неправильний підбір робить положення заготовки щодо вісі інструменту хибним, призводить до похибок на оброблюваній поверхні, створює нерівномірні припуски на обробку, а також може стати причиною поломки.

При виборі технологічних основ керуємось принципами єдності і постійності баз.

Принцип єдності баз полягає в наступному технологічної бази вибирають поверхню, яка є одночасно і проектною, і вимірювальною

базою. Якщо це неможливо, технологічна база підключається хоча б до однієї з них.

Принцип єдності баз використовується для зменшення похибок обробки та прийняття найбільш раціонального варіанту технологічного процесу.

Загальний алгоритм вибору технологічних баз передбачає вибір загальнотехнологічних баз (ЗТБ) на першому етапі.

При першій операції необхідно отримати загальну технологічну базу - набір підготовчих поверхонь, що забезпечує обробку більшості операцій технологічного процесу з постійною установкою заготовки.

ЗТБ знаходиться після аналізу конструктивних особливостей заготовки. Для цього виконується класифікація поверхонь заготовки за службовим призначенням. Всі поверхні деталей у відповідності до їх використання прийнято ділити на чотири класи:

- допоміжні конструкторські бази (ДКБ);
- вільні поверхні (ВП) – всі інші поверхні деталі.
- основні конструкторські бази (ОКБ) – необхідні для орієнтації деталі в процесі роботи;
- кріпильні поверхні (КП) – використовуються для визначення положення приєднувальних деталей та елементів;

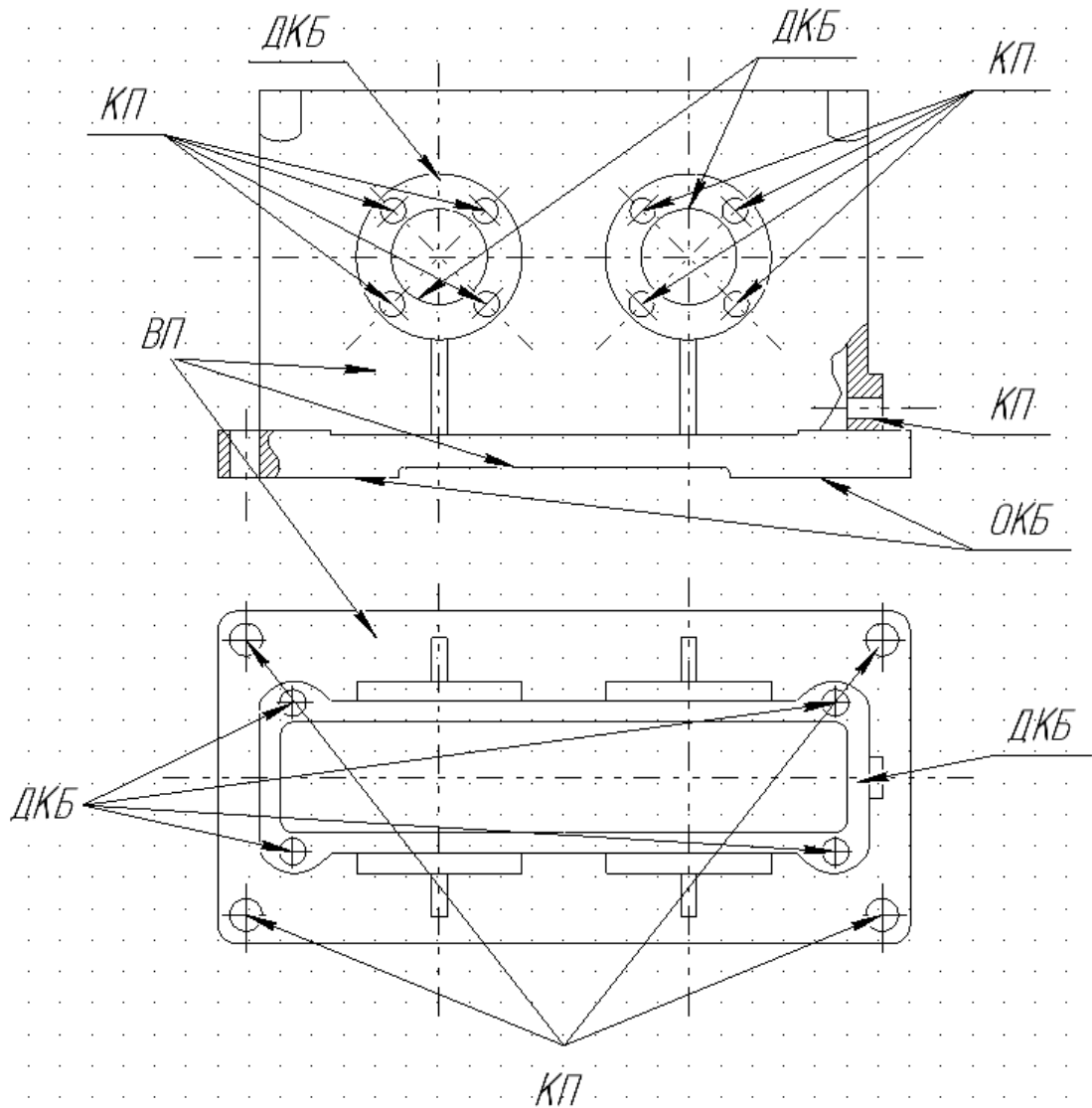


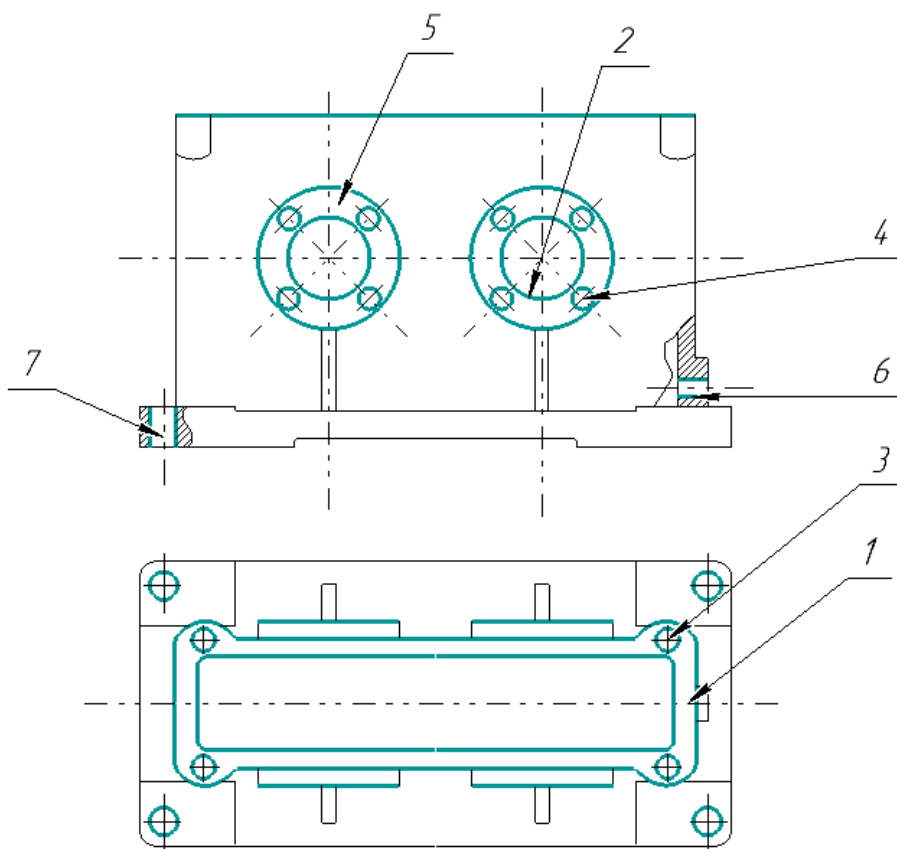
Рисунок 2.3 Класифікація баз за призначенням

Поверхні, що входять до складу загально технічних баз, повинні мати найбільш сприятливі якісні характеристики. Цей набір загальних технічних баз повинен забезпечувати легку підготовку монтажу, надійність кріплення, найпростішу конструкцію обладнання.

2.6 Проектування технологічних маршрутів оброблення поверхонь

У виробничій практиці накопичений досвід виробництва типової технології економічної обробки поверхні, щоб забезпечити досягнення розмірів і параметрів шорсткості робочої поверхні заданої точності.

Майже всі технічні каталоги цитують наступну послідовність. Типовий технологічний шлях обробки поверхні повинен бути додатково проаналізований та уточнений у проекті процесу.



Рисуснок 2.4 Ескіз корпусу редуктора із зазначеними поверхнями для обробки

Маршрути оброблення поверхонь, економічна точність та шорсткість робочих поверхонь, що при цьому буде забезпечена наведено в табл.2.5.

Табл 2.5. економічна точність та шорсткість робочих поверхонь

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічний маршрут оброблення	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості R_a , мкм		Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості R_a , мкм
1	14	5	Фрезерування попереднє	12	10
			Фрезерування чистове	7	2.5
2	7	0.63	Розточування попереднє	10	5
			Розточування чистове	7	0.8
3	7	1.2	Свердління попереднє	10	5
			Свердління чистове	9	5
			Нарізання різьби	7	1.2
4	7	1.2	Свердління попереднє	10	10
			Свердління чистове	9	5
			Нарізання різьби	7	1.2
5	14	5	Фрезерування попереднє	12	10
			Фрезерування чистове	7	2.5
6	7	5	Свердління попереднє	11	10
			Свердління чистове	9	5
			Нарізання різьби	7	1.2
7	10	5	Свердління попереднє	12	10
			Свердління чистове	8	3.2

2.7 Проектування технологічного процесу оброблення деталі „Корпус редуктора”

Для деталі можливо реалізувати принцип незмінності баз, що буде забезпечувати незмінність технологічної оснастки, тобто $ЗТБ = const$. В якості загальних технологічних баз використовуємо, оброблені нижню поверхню корпусу та торцеві поверхні основи заготовки.

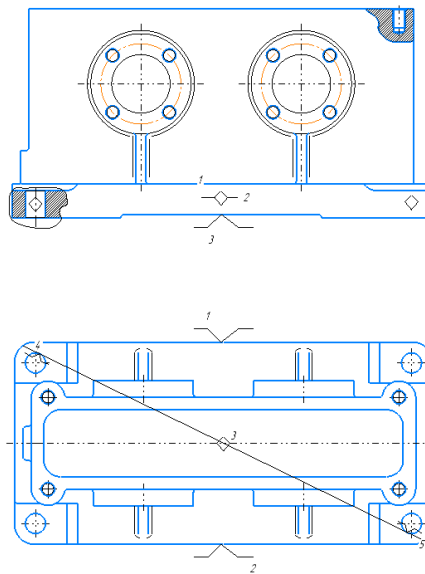


Рисунок. 2.5 Схема базування заготовки

2.7.1 Розроблення та представлення маршрутного технологічного процесу

На цьому етапі проектування необхідно розробити загальний технологічний потік обробки деталі «корпус редуктора». Слід пам'ятати, що перша оброблена поверхня заготовки є основою для наступного етапу механічної обробки - ЗТБ.

Важливо пам'ятати, що чорнову обробку поверхні необхідно віднести до окремої операції. Це виправляє деформацію поверхні заготовки через вирівнювання залишкових напружень за рахунок видалення великої кількості припуску на стадії чорнкової обробки.

При чорнових роботах необхідно обробити поверхню з найбільшим запасом і найнадійнішою поверхнею.

Кожен наступний перехід або операція повинні покращувати якісні характеристики обробленої поверхні.

Остаточну обробку найбільш відповідальних поверхонь необхідно проводити останніми технологічними переходами, оскільки це компенсує попередні помилки та виключає їх випадкове пошкодження.

У потоці процесу необхідно передбачити контрольні операції, які слід розміщувати між операціями, до і в кінці відповідальних високовартісних операцій.

Технологічний шлях виготовлення деталі «корпус редуктора»:

005 Багатоцільова з ЧПК

0. Встановити, закріпити

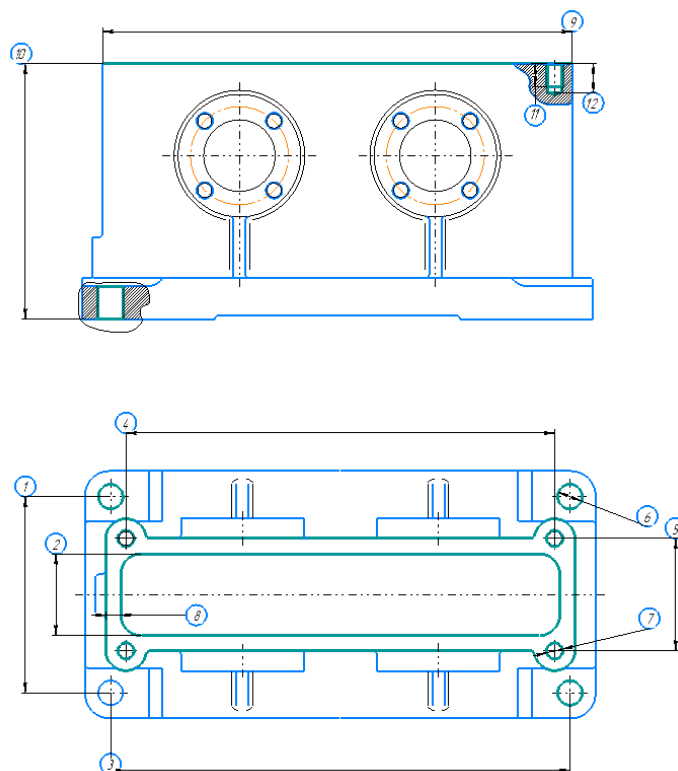


Рисунок 2.6 Операція 005

005.01. Фрезерувати попередньо, витримуючи розміри 8, 2, 9, 10

005.02. Фрезерувати начисто, витримуючи розміри 8, 2, 9, 10

005.03 Свердлити 4 отвори попередньо, витримуючи розміри 4, 5, 11, 12

005.04 Свердлити начисто 4 отвори, витримуючи розміри 4, 5, 11, 12

005.05 Нарізати різьбу М8, витримуючи розміри 4, 5, 11, 12

005.06 Свердлити попередньо 4 отвори, витримуючи розміри 1, 3

005.07 Свердлити начисто 4 отвори, витримуючи розміри 1, 3

010 Багатоцільова з ЧПК

1. Повернути на 90° перпендикулярно підлозі

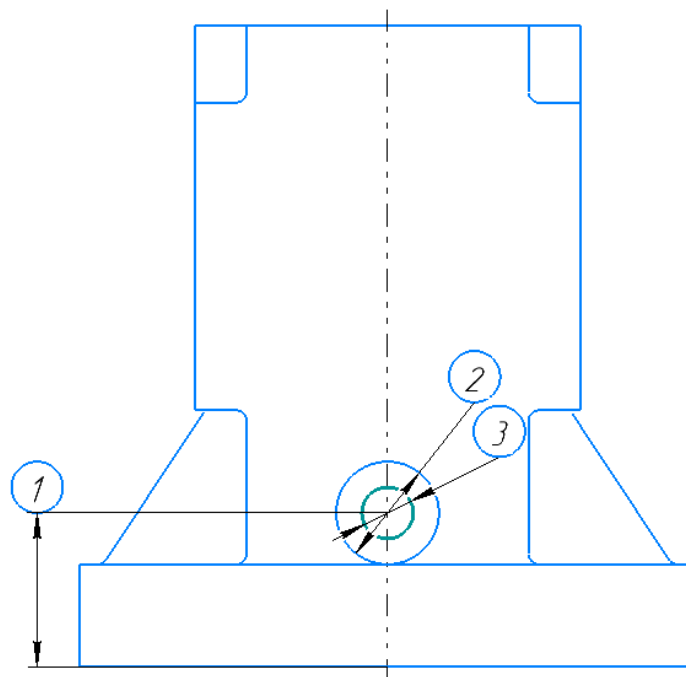


Рисунок 2.6 Операція 010

010.01.Сверлити попередньо, витримуючи розміри 1, 2,3

010.02. Сверлити начисто, витримуючи розміри 1, 2,3

010.03. Нарізати різьбу М10, витримуючи розміри 1, 2,3

015 Багатоцільова з ЧПК

0. Повернути паралельно підлозі, перпендикулярно до осі шпинделю верстата

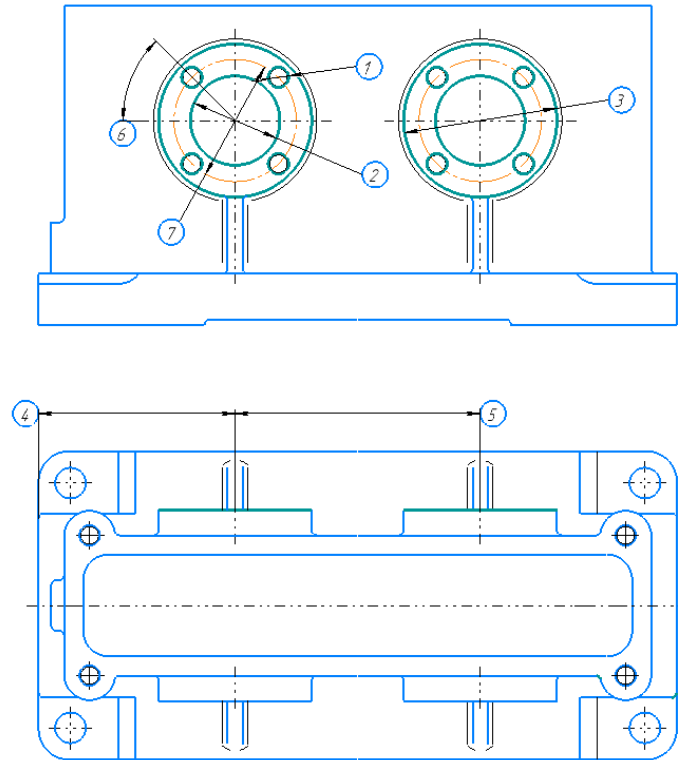


Рисунок 2.6 Операція 015

015.01 Фрезерувати дві поверхні попередньо, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5

015.02 Фрезерувати дві поверхні начисто, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5

015.03. Розточити попередньо два отвори, витримуючи розміри 2, 5, 4

015.04. Розточити начисто два отвори, витримуючи розміри 2, 5, 4

015.05. Свердлити попередньо 4 отвори, витримуючи розміри 1, 6, 7

015.06. Свердлити начисто 4 отвори, витримуючи розміри 1, 6, 7

015.07. Нарізати різьбу в 4 отворах, витримуючи розміри 1, 6, 7

020 Багатоцільова з ЧПК

0. Повернути стіл на 180°, зняти

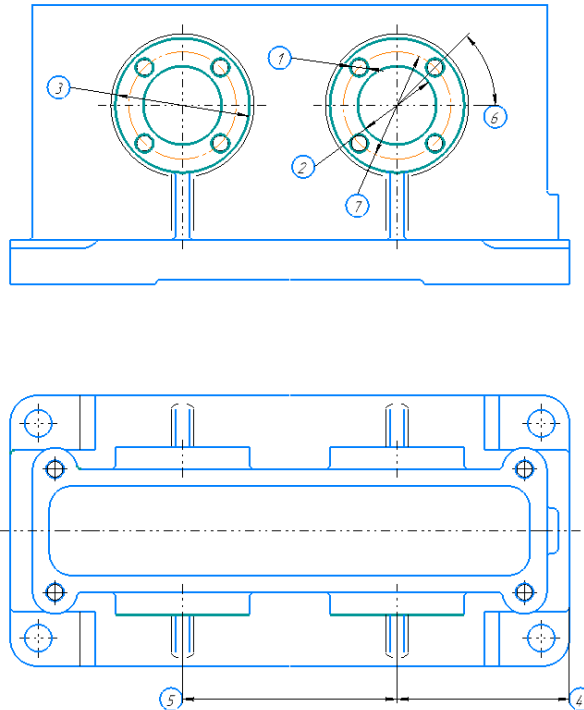


Рисунок 2.6 Операція 020

020.02 Фрезерувати дві поверхні попередньо, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5

020.02 Фрезерувати дві поверхні начисто, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5

020.03. Розточити попередньо два отвори, витримуючи розміри 2, 5, 4

020.04. Розточити начисто два отвори, витримуючи розміри 2, 5, 4

020.05 . Розточити тонко два отвори, витримуючи розміри 2, 5, 4

020.06. Свердлити попередньо 4 отвори, витримуючи розміри 1, 6, 7

020.07. Свердлити начисто 4 отвори, витримуючи розміри 1, 6, 7

020.08. Нарізати різьбу в 4 отворах, витримуючи розміри 1, 6, 7

025 Мийочна

030 Контрольна

2.7.2. Вибір обладнання, верстатних пристроїв, різальних і вимірювальних інструментів

Вибране обладнання та технологічне оснащення приведене у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Обладнання та технологічне оснащення

№ операції	Верстат	Пристосування	Різальні інструменти
005	П'яти осьовий універсальний оброблюючий центр UMC-500	Пневматичні лещата Geradi tipo morsa STD art.14, Магнітні плити Gerardi art. 313, Шпиндель ISO 40 HAAS inline-drive spindle 40 Taper, Стандартний стіл верстату UMC-500, Перехідник Sandvik C6-390B.140-40 085	1/Фреза для обробки прямокутних виступів Sandvik 490-025C6-08M, 2/ Твердосплавне сверло Sandvik 860.1-0800-025A1-GM X1BM, 3/ Твердосплавне сверло Sandvik 861.1-1200-180A1-GM GC34 4/ Мітчик з прямими канавками для стружки Sandvik T100-KM106AA-M8 D210

010	П'яти осьовий універсальний оброблюючий центр UMC-500	Пневматичні лещата Geradi tipo morsa STD art.14, Магнітні плити Gerardi art. 313, Шпиндель ISO 40 HAAS inline-drive spindle 40 Taper, Стандартний стіл верстату UMC-500, Перехідник Sandvik C6-390B.140-40 085	1/ Твердосплавне сверло Sandvik 870-1000-6LX063-3 2/ Мітчик з прямими канавками для стружки Sandvik T100-KM102AA-M10 D210
015	П'яти осьовий універсальний оброблюючий центр UMC-500	Пневматичні лещата Geradi tipo morsa STD art.14, Магнітні плити Gerardi art. 313, Шпиндель ISO 40 HAAS inline-drive spindle 40 Taper, Стандартний стіл верстату UMC-500, Перехідник Sandvik C6-390B.140-40 085	1/ Торцева фреза R210-066C6-14H, 2/ Твердосплавне сверло 860.1-0800-025A1-GM X1BM, 3/ Мітчик з прямими канавками для стружки Sandvik T100-KM106AA-M8 D210 4/ Інструмент Sandvik 825-36TC06-C3 для чистового розточування

020	П'яти осьовий універсальний оброблюючий центр UMC- 500	Пневматичні лещата Geradi tipo morsa STD art.14, Магнітні плити Gerardi art. 313, Шпиндель ISO 40 HAAS inline-drive spindle 40 Taper, Стандартний стіл верстату UMC-500, Перехідник Sandvik C6-390B.140-40 085	1/ Торцева фреза R210-066C6-14H, 2/ Твердосплавне сверло 860.1-0800- 025A1-GM X1BM, 3/ Мітчик з прямими канавками для стружки Sandvik T100-KM106AA-M8 D210 4/ Інструмент Sandvik 825-36TC06-C3 для чистового розточування
-----	--	---	---

2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання

Для обробки корпусу редуктора ми використовуємо п'яти осьовий універсальний оброблюючий центр HAAS UMC-500, так як нам необхідно мати рухомий стіл, для ефективною обробки всіх бокових поверхонь.

Багатоцільові верстати – це верстати з ЧПК, які забезпечують комплексну обробку складних деталей з різних сторін без їх переміщення, зазвичай мають пристрої для автоматичної зміни інструменту (АЗІ).

На цьому верстаті можна виконувати чорнову і чистову обробку корпусних деталей, можна виконувати фрезерування площин, виступів, пазів, свердління, нарізання різьби та зенкування;

Для виконання великої кількості технологічних переходів різноманітними інструментами багатоцільові верстати мають ряд конструктивних особливостей порівняно зі звичайними верстатами з ЧПК.

Наведені технічні характеристики верстата з ЧПК HAAS UMC-500
табл.

Параметр	Показник
Хід по осі X	610
Хід по осі Y	406
Хід по осі Z	406
Максимальна потужність	22.4 КВт
Максимальна частота обертання шпинделю	15000 хв ⁻¹
Максимальний крутний момент	122 Н*м
Конус	ISO 40
Кількість інструментів	30+1
Об'єм СОЖ	208л
Вага	5400 кг
Вартість	Від 113000 євро



**Рис. 2.7 Загальний вигляд п'яти осевого універсального
оброблюючого центру HAAS UMC-500**

2.9 Аналітичний розрахунок припусків

Розрахуємо припуски для оброблення точного отвору $\text{Ø}35\text{H}7$.

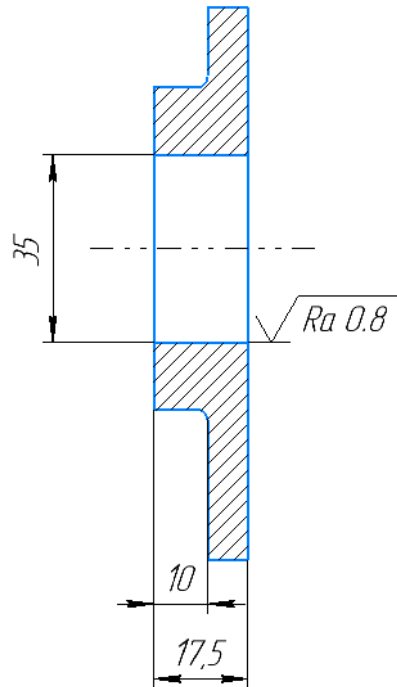


Рисунок 2.8. Ескіз поверхні, що обробляється

Технологічний процес обробки виконується в три переходи:

- чорнове розточування Н10, $Ra = 10$ мкм,
- чистове розточування Н7, $Ra = 5$ мкм,

Розрахунок припусків буде у вигляді таблиці (2.7), в яку записується технологічний маршрут обробки й всі значення елементів припусків.

Для виливків, що отримуються литтям у піщано-глинясті форми з машинним формуванням по металевих моделях - 1 клас точності;

точність та якість їх поверхонь:

$$Rz+h = 400 \text{ мкм} \quad (2.12)$$

- якість поверхонь після механічної обробки

- для чорнового розточування: Rz=50 мкм, h=50 мкм

Мінімальний припуск на обробку визначаємо по формулі:

$$2Z_i^{min} = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \Delta_{\Sigma i}^2}) \quad (2.13)$$

Сумарне просторове відхилення розташування поверхонь визначаємо по формулі:

$$\Delta_E = \sqrt{\Delta_{кор}^2 + \Delta_{см}^2} \quad (2.14)$$

де $\Delta_{кор}$ – відхилення осі деталі від прямолінійності,

$$\Delta_{кор} = \Delta_k \cdot L = 2 \cdot 17.5 = 35 \text{ мкм}, \quad \Delta_k = 2 \text{ мкм/мм},$$

$\Delta_{см}$ – відхилення зсуву осі отвору,

$$\Delta_{см} = S^2, \quad S = 0.6 \text{ мкм/мм} - \text{зазор},$$

$$\Delta_{см} = 5 \cdot 35 = 175 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{E0} = \sqrt{35^2 + 0.36^2} = 35 \text{ мкм}$$

Сумарні й просторові відхилення після обробки визначаємо по формулі:

$$\Delta_{Ei} = K_y \cdot \Delta_{E0}, \quad (2.15)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення, для чорнового точіння: $K_y = 0,06$;

$$\Delta_{E1} = 0.06 * 35 = 1.8 \text{ мкм}$$

Визначаємо похибку установки по формулі:

$$E_i = \sqrt{E_{\sigma}^2 + E_3^2 + E_n^2}, \quad (2.16)$$

де E_6 – похибка базування, що виникає при установці заготовки на 2 пальці, (посадка $\text{Ø}12\text{H}7/\text{g}6$):

$$E_6 = IT6 + IT7 + \Delta = 11 + 18 + 3 = 32 \text{ мкм}$$

E_3 - похибка закріплення, $E_3 = 100\text{мкм}$;

E_n - похибка положення, при обробці за один установ дорівнює 0.

$$E_1 = \sqrt{100^2 + 32^2} = 105 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка установки: $E_2 = 0,06 \cdot 105 = 6.3 \text{ мкм}$

Тоді припуск:

- на чорнове розточування:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot (400 + \sqrt{148.5^2 + 100^2}) = 1158 \text{ мкм};$$

- для чистового розточування:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{1.8^2 + 6.3^2}) = 213\text{мкм};$$

Результати розрахунку наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок припусків на внутрішню поверхню $\text{Ø}35\text{H}7$

Технологічні операції переходи обробки елементних поверхонь	Елементи припуску				Розрахунковий припуск, $2Z_{1min}$, мкм	Розрахунковий min розмір, мм	Допуск, TD, мкм	Прийняті розміри по переходах, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	Δ	Σ				D min	D max	2Z max	2Z min

Заготівка	400	1.8	-	-	33.529	-	33	34.2	-	-	
Чорнове розточування (Н10)	50	5 0	1.8	10 0	1158	34.687	250	34.52 7	34.7 87	1.68 7	0.22 7
Чистове розточування (Н7)	25	2 5	-	6	213	34,9	62	34,93 8	35	0,47 3	0,15 1

2.10 Розрахунок режимів різання

Розточування

Скористаємось алгоритмом з (16);

Необхідно обробити наскрізний отвір

Ø35H7, Ra 0.8

Глибина свердління $l = 17.5$ мм

Матеріал СЧ15 HB170

Інструмент: Sandvik 825-36TC06-C3

Потужність головного електродвигуна, кВт 22.4

Кут в плані $2\phi = 92^\circ$

Глибина різання:

$$h = \frac{D}{2} = \frac{35}{2} = 17.5 \text{ мм}$$

Визначення подачі за міцністю

$$[S]_{\text{MC}} = \left(\frac{2 * \sigma_{3\Gamma} * D^{3-Z_M}}{10^6 * \sqrt{3} * n_3 * C_M * K_M} \right)^{\frac{1}{Y_M}}$$

$$\sigma_{3\Gamma \text{ інстр}} = 2300 \text{ Мпа}$$

$$Z_M = 2 \text{ для}$$

$$n_3 = 4;$$

$$C_M = 0.021$$

$$Y_M = 0.8$$

Вплив характеристик оброблюваного матеріалу визначаємо за формулою:

$$K_M = \left(\frac{HB}{190} \right)^{0.6} = \left(\frac{170}{190} \right)^{0.6} = 0.935$$

$$K_\phi = 1$$

$$K_3 = 1$$

Розрахункове значення $K_M = 0.935 * 1 * 1 = 0.935$

Отримаємо:

$$[S]_{\text{MC}} = \left(\frac{2 * 2300 * 35^{1.0}}{10^6 * \sqrt{3} * 4 * 0.021 * 0.935} \right)^{1.25} = 1.23 \text{ мм/об}$$

Подача за міцністю різальних кромки $[S]_{\text{PK}}$ визначається за формулою:

$$[S]_{\text{PK}} = C_S * D^{0.6}$$

$$[S]_{\text{PK}} = 0.075 * 35^{0.6} = 0.633 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Визначення подачі за міцністю механізму подач

Подача за міцністю механізму подач $[S]_{МП}$ визначається за формулою:

$$[S]_{МП} = \left(\frac{[P_0]_{МП}}{10 * C_P * D^{Z_P} * K_P} \right)^{\frac{1}{Y_P}}$$

$$[P_0]_{МП} = 40000 \text{ Н}$$

$$C_P = 42$$

$$Z_P = 1.2$$

$$Y_P = 0.75$$

Розрахуємо поправочний коефіцієнт K_P :

$$K_M = \left(\frac{HB}{190} \right)^{0.6} = \left(\frac{170}{190} \right)^{0.6} = 0.935$$

$$K_\phi = 1$$

$$K_3 = 1$$

$$K_M = 0.935 * 1 * 1 = 0.935$$

$$[S]_{МП} = \left(\frac{40000}{10 * 42 * 35^{1.2} * 0.935} \right)^{\frac{1}{0.75}} = 1.61 \text{ мм/об}$$

приймаємо мінімальну подачу з розрахованих.

Приймаємо $[S]_{\min} = [S]_{PK} = 0.633 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання, що допускається різальними властивостями свердла

$[V]_i$ визначається за формулою:

$$[V]_i = \frac{C_V * D^{Z_V} * K_V}{60 * T^m * S^{Y_V}}$$

$$T_H = 70 \text{ хв.}$$

де $C_V = 17.1$

$Z_V = 0.25$

$Y_V = 0.4$

$m = 0.12$

Вплив характеристик оброблюваного матеріалу визначимо за формулою:

$$K_{MV} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1.3} = \left(\frac{190}{170}\right)^{1.3} = 1.156$$

$K_{iV} = 1$

$K_{lV} = 0.75$

$K_{CV} = 1$

$K_{OV} = 1$

$$KV = K_{MV} * K_{iV} * K_{lV} * K_{CV} * K_{OV} = \\ 1.156 * 1 * 0.75 * 1 * 1 = 0.867$$

Отже:

$$[V]_i = \frac{17.1 * 35^{0.25} * 0.867}{60 * 70^{0.12} * 0.633^{0.4}} = 0.433 \text{ м/с}$$

Швидкість різання за потужністю двигуна головного приводу

$$[V]_B = \frac{N_G * \eta}{20 * C_M * D^{Z_M - 1} * S^{Y_M} * K_M}$$

$K_M = 0.935$

$N_G = 22.4 \text{ кВт}$

$\eta = 0.85$

$Z_M = 2$

$$Y_M = 0.8$$

$$C_M = 0.021$$

$$[V]_B = \frac{22.4 * 0.85}{20 * 0.021 * 35 * 0.633^{0.8} * 0.935} = 1.996 \frac{M}{c} = 2 \frac{M}{c}$$

Визначаємо коефіцієнт корисної дії процесу розточування

$$\eta = \frac{[V]_i}{[V]_B} = \frac{0.433}{2} = 21.7\%$$

Визначимо розрахункової частоти обертання шпинделя верстата

$$[n] = \frac{60 * 1000 * [V]_{min}}{\pi * D} = \frac{60 * 1000 * 0.433}{\pi * 35} = 233 \text{ хв}^{-1}$$

Як ми дослідили, частота обертання критично впливає на якість обробки, а отже її потрібно підвищити



Рис.1.11. Графіки залежностей амплітуд автоколивань за осями Z і Y від частоти обертання заготовки

Вибираємо $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$

Хвилинна подача, яка відповідає найближчій більшій частоті обертання n_{K+1} буде дорівнювати

$$S_{\text{XB}} = 0,633 * 1000 = 63.33 \text{ мм/ХВ}$$

Дійсна швидкість різання дорівнюватиме:

$$V = \frac{3.14 * 35 * 1000}{1000} = 109.96 \frac{\text{М}}{\text{ХВ}} = 110 \frac{\text{М}}{\text{ХВ}}$$

Визначення основного часу свердління

$$T_o = \frac{L_{\text{заг}}}{n * S}$$

$$l = 17.5 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{17.5}{1000 * 0.633} = 0.028 \text{ ХВ} = 1.7 \text{ с}$$

Сила різання

$$P_z = 10 * C_p * t^{xp} * S^{YP} * V * K_p$$

$$P_z = p * f$$

p – питома сила різання

f – площа поперечного перерізу шару зріється

$$p = K_\delta * \delta_B$$

$$k_{HB} = 16.75 - 0.023 * HB = 12.38$$

$$p = 12.38 * 110 = 1362 \frac{\text{Н}}{\text{М}^2}$$

$$f = h_r * 0.5S = 17.5 * 0.5 * 0.633 = 5.54 \text{ м}^2$$

$$P_z = 5.54 * 1362 = 7545 \text{ Н}$$

2.11 Визначення норм часу

Норми часу на виконання робіт на верстатах з ЧПУ ($T_{шт.к.}$) складається з: -

- норми підготовчо-основного часу ($T_{п.з.}$)
- та норми поштучного часу ($T_{шт.}$)

$$T_{шт.к.} = T_{шт.} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \quad (2.24)$$

n - розмір партії деталей, розмір партії деталей

n визначаємо:

$$n = \frac{N * t}{F}, \quad (2.25)$$

де N - це річна програма випуску деталей, шт;

t - кількість днів, на який необхідно мати запас деталей, $t=5$ днів;

F - кількість робочих днів у році.

Підставивши у цю формулу $N=10000$; $F = 245$, отримаємо:

$$n = \frac{8000 * 5}{245} = 40.82 = 41 \text{ шт}$$

Норма штучного часу визначається за формулою

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_B * K_{tb}) \left(1 + \frac{a_{орг} + a_{тех} + a_{отл}}{100} \right), \quad (2.26)$$

де $T_{ц.а.}$ - час циклу автоматичної роботи верстата за програмою

$$T_{ц.а.} = T_o + T_{мв}, \quad (2.27)$$

де T_o - основний час на оброблення однієї деталі, хв:

$$T_o = \sum \frac{L_i}{S m_i}, \quad (2.28)$$

- L_i - довжина оброблення, мм;
- S_{mi} - хвилинна подача на даному технологічному переході мм/хв.
- $T_{м.д.}$ - машинний допоміжний час
- $T_{В.ВИМ.}$ - допоміжний час на вимірювання партії деталей;
- $T_{В.ОП.}$ - допоміжний час, пов'язаний з операцією, хв;
- $T_{ВУ}$ - час на установку та зняття деталі;
- K_{tb} - поправочний коефіцієнт на виконання ручної допоміжної роботи;
- $a_{орг.}$ - час на організаційне, технічне обслуговування робочого місця,
- $a_{тех}$ - час на технічне обслуговування робочого місця
- $a_{тол}$ - час на відпочинок та особисті потреби при одноверстатному обслуговуванні

Норма підготовчо-заключного часу визначається за формулою:

$$T_{п.з.} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пз.обр.}$$

де $T_{пз1}$ - норма часу на організаційну підготовку, хв;

$T_{пз2}$ - норма часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту, програмних пристроїв, хв;

$T_{пз.обр.}$ - норма часу на пробну обробку, хв.

Нормування операції: 020 Багатоцільова з ЧПК

Допоміжний час на встановлення деталі в пристрою: $t = 0.2$ хв

Допоміжний час, пов'язаний з обробкою, невиключений в програму:

- виключити верстат: $t = 0,03$ хв.
- встановити координати X й Y: $t = 0,12$ хв.
- відкрити загороджувальний щиток від стружки, закрити: $t = 0,05$ хв.
- ввести корекцію на інструмент: $t = 0,04 \times 4 = 0,16$ хв.

$$T_B = 0,2 + 0,03 + 0,12 + 0,05 + 0,16 = 0,56 \text{ хв}$$

Визначаємо автоматичний час основної роботи по програмі за наступною формулою:

$$T_a = T_{e.a.} + T_{в.а.}, (2.29)$$

де: $T_{e.a.}$ - сума машинного часу по всіх інструментальних переходах,

$$T_{e.a.} = 0,56 \text{ хв.}$$

$T_{в.а.}$ - допоміжний час на прискорені, установчі рухи й заміну інструмента.

$$T_{в.а.} = \frac{4 * 400}{4800} = 0,33 \text{ хв.}$$

$$T_a = 0,56 + 0,33 = 0,89 \text{ хв.}$$

Час на організаційне й технічне обслуговування робочого місця

$$T_{обс.} = 4\% T_{оп}, \text{ хв;}$$

Час на відпочинок й особисті потреби:

$$T_{від.} = 5\% T_{оп}, \text{ хв.}$$

Визначаємо норму штучного часу по формулі:

$$T_{шт.} = (T_a + T_B * K_B) * \left(1 + \frac{T_{обсл.} + T_{від.}}{100}\right), (2.30)$$

$$(0,89 + 0,56 * 0,7) * \left(1 + \frac{5 + 4}{100}\right) = 1,4 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час

- одержати інструмент, пристосування: $t = 3 \text{ хв;}$
- ознайомитися з роботою: $t = 8 \text{ хв;}$
- установити й зняти блок з інструментом: $t = 4 \times 6 = 24 \text{ хв;}$

- ручна корекція програми: $t = 4$ хв.
- установити й зняти програмоносій: $t = 0.8$ хв

$$T_{п.з.} = 3 + 8 + 24 + 4 + 1 = 40 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$\begin{aligned} T_{шк} &= T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, & (2.31) \\ &= 1.4 + \frac{40}{200} = 1.6 \text{ хв.} \end{aligned}$$

3. Проектування верстатних пристроїв

3.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв

Даний пристрій використовується для операцій 005, 010, 005, та 020.

Пристрій- складна одиниця - тиски Gerardi art. 14 встановлюються прямо на робочий стіл верстату, кріпиться завдяки двом прихватам та двома Т-образним гайкам (іншими словами- сухариками), які скріплюються двома болтами М12, та чотирма шайбами, для надійного кріплення.

Завдяки такій простоті пристрою, не доводиться використовувати громіздкі універсальні збірні пристрої (УЗП).

Схема базування деталі в тисках виглядає наступним чином:

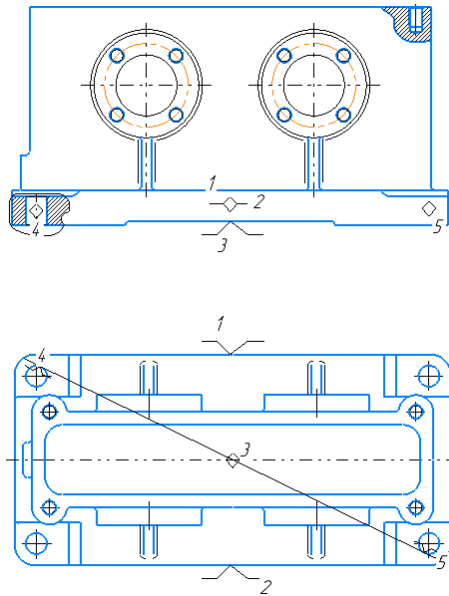


Рисунок 3.1 Схема базування

Заготовка деталі (11) базується між двома прямими пластинами (10), та поверх двох магнітних пластин (4), саме завдяки ним заготовка базується не на самій поверхні верстату. В тисках рухома лише одна губка (3). Завдяки супорту (1) регулюється сила зажиму.

Тиски в свою чергу закріплюються на стандартному столі верстату UMC-500 (2) завдяки двом прихватам Gerardi art. 313 (7) та двом Т-образним гайкам (8), які між собою з'єднані двома болтами (5), для підвищення надійності встановлення тисків в стіл було додано дві шайби (6) та дві (9)

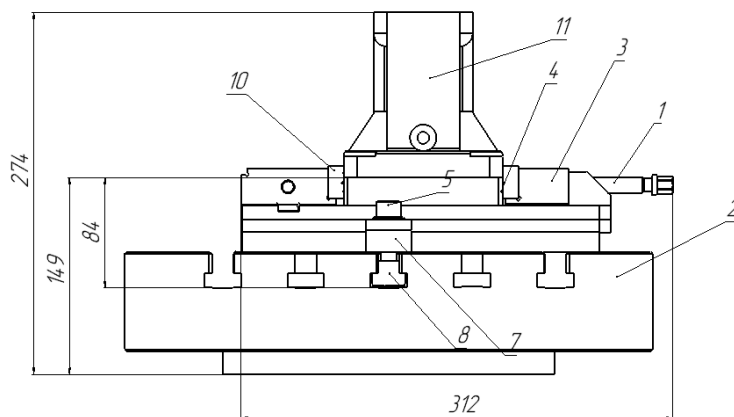


Рисунок 3.2 Ескіз пристрою для верстату HAAS UMC-500

3.2 Розрахунок пристрою

З умови граничної рівноваги визначаємо Силу закріплення W_i .

Розглянемо всі можливі випадки зміщення заготовки, та для кожного з них розробимо розрахункову схему дії сил та моментів.

Зі схем, в свою чергу, визначаємо силу закріплення W_i і для подальших розрахунків вже виберемо найбільше значення.

Для розроблення розрахункових схем приймемо наступні спрощення:

- силу тяжіння (G) заготовки не врахуємо;
- пружні особливості опор та затискного механізму не врахуємо;
- тиски будуть встановлені напрямку перпендикулярно базовій площині.

Зміщення вздовж осі

В нашій системі оброблення, при найневигіднішому куту розташування інструменту, силі зміщення P_{z1} протидіє сила тертя $F_{Tр1}$

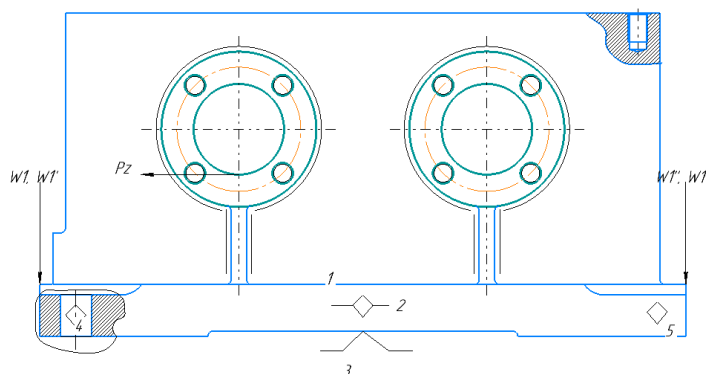


Рисунок 3.3 схема дії сил при зміщенні заготівки

$$\sum x = 0$$

$$Pz1 * k = F_{\text{тр}}, \quad (3.1)$$

$$F_{\text{тр}1} = 4W1 * f, \quad (3.2)$$

f – коеф. тертя = 0.12 – 0.16

k – коеф запасу міцн. = 2

$Pz = 7545 \text{ Н}$

$$W1 = \frac{F_{\text{тр}}}{4f} = \frac{Pz * k}{4f} = \frac{7545 * 2}{4 * 0.14} = 26947 \text{ Н}$$

Відрив заготовки

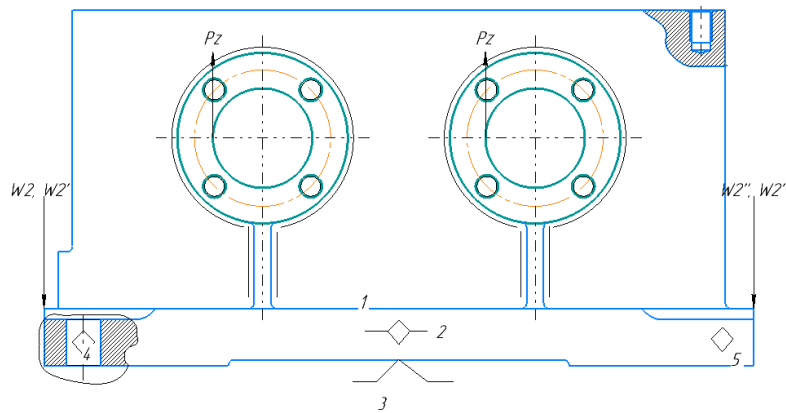


Рисунок 3.4 схема дії сил при відриві заготівки

$$W_2 = \frac{Pz * k}{2}, \quad (3.3)$$

$$W_2 = \frac{7545 * 2}{2} = 7545 \text{ Н}$$

За силу затиску беремо найвище з двох значень, з урахуванням коеф. Сили тертя, тобто:

$$Q = \frac{W1}{0.84} = 32080H = 32100H$$

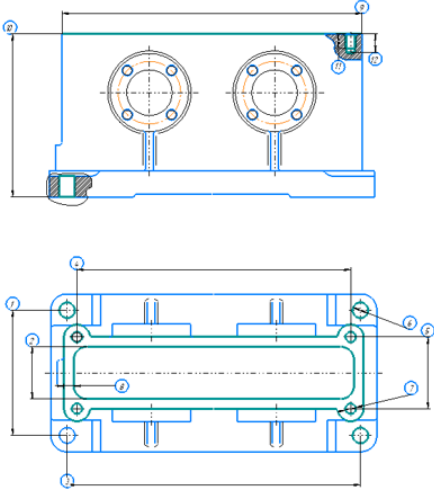
Додаток А

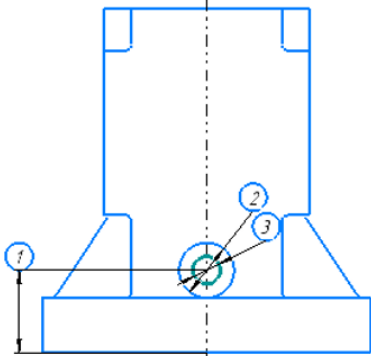
Операційні карти

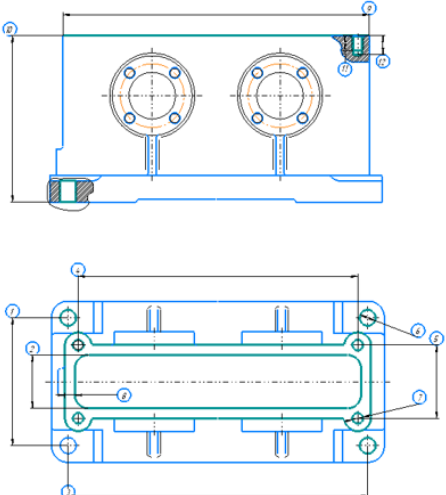
ГОСТ 3.1118-83 Форма 1

<u>Дубл.</u>																				
<u>Взам.</u>																				
<u>Підп.</u>																				
<u>Изм.</u>	<u>Лис.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підп.</u>	<u>Дата</u>	<u>Изм.</u>	<u>Лис.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Підп.</u>	<u>Дата</u>											
<u>Разроб.</u>	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009													
<u>Перевір.</u>	Петраков Ю.В.				Корпус редуктора															у
<u>Т.контр.</u>																				
<u>Н.контр.</u>																				
<u>Ств.</u>																				
M01	СЧ15ГОСТ1412-85 НВ130-241																			
M02	Код	Е8	МД	ЕН	Н.расх.	Ки.м.	Код заготовки	Профиль и размеры				КД	МЗ							
A	Цех	Уч.	Р.М.	Опер	Код, наименование операции				Обозначение документов											
B					Код, наименование оборудования				СМ	Проф	Р	УТ	кр	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з.	Тшт.	
A 03					005	Багатоцильова														
B 04	П'ятигосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500																			
05																				
A 06					010	Багатоцильова														
B 07	П'ятигосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500																			
08																				
A 09					015	Багатоцильова														
B 10	П'ятигосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500																			
11																				
A 12					020	Багатоцильова														
B 13	П'ятигосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500																			
14																				
15																				
МК																				1

<u>Дубл.</u>																				
<u>Взам.</u>																				
<u>Подп.</u>																				
<u>Изм.</u>	<u>Лис.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Подп.</u>	<u>Дата</u>	<u>Изм.</u>	<u>Лис.</u>	<u>№ докум.</u>	<u>Подп.</u>	<u>Дата</u>											
<u>Разроб.</u>	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009													
<u>Провер.</u>	Петраков Ю.В.				Корпус редуктора															
<u>Т.контр.</u>																				
A	Цех	Уч.	Р.М.	Опер	Код, наименование операции				Обозначение документов											
B					Код, наименование оборудования				СМ	Проф	Р	УТ	кр	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з.	Тшт.	
A 01					025	Мийочна														
B 02	Мийочна машина																			
03																				
A 04					030	Контрольна														
B 05	Контрольний стіл																			
06																				
A 07																				
B 08																				
09																				
A 10																				
B 11																				
A 12																				
B 13																				
МК																				2

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»				ДПБ.МТ-81016.2022.009					
Провед.	Петраков Ю.В.													
Т. конт.														
Н. конт.														
Утв.														
Корпус редуктора										005				
														
КЕ	Карта ескізу										3			

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»				ДПБ.МТ-81016.2022.009					
Провед.	Петраков Ю.В.													
Т. конт.														
Н. конт.														
Утв.														
Корпус редуктора										010				
														
КЕ	Карта ескізу										4			

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм	Лис	№ докум	Подп.	Дата	Изм	Лис	№ докум	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009							
Провер.	Петраков Ю.В.													
Т.конт.														
Н.конт.														
Утв.														005
Корпус редуктора														
														
КЭ	Карта эскиза												7	

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм	Лис	№ докум	Подп.	Дата	Изм	Лис	№ докум	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009							
Провер.	Петраков Ю.В.													
Т.конт.														
Н.конт.														
Утв.														005
Корпус редуктора														
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД			
Багатоцільова		СЧ15 ГОСТ1412-85		НВ130-241										
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		То	Тв	Тп.з	Тш.к	СОЖ						
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500														
Р	Содержание перехода			ПИ	D или B	L	t	l	S	n	V			
О 01					мм	мм	мм		мм/об	мин ⁻¹	м/мин			
О 02	005.00													
О 03	Встановити деталь у тиски													
О 04	Затиснути деталь у тисках													
Т 05	Тиски Gerardi art.14, стандартний стіл верстату УМС-500													
О 06	005.01													
О 07	Фрезерувати попередньо													
О 08	005.02													
О 09	Фрезерувати начисто													
Т 10	Фреза для обробки прямокутних виступів San dvik 490-025C6-08M													
О 11														
OK	Операційна карта										8			

Дубл.	Взам.	Подп.	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Яковенко А.С.					НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»	ДПБ.МТ-81016.2022.009						
Провер.	Петраков Ю.В.												
Т.контр.													
Н.контр.													
Утв.													
Корпус редуктора										у	005		
Наименование операции			Материал			Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД
Багатоцільова			СЧ15 ГОСТ1412-85			HB130-241							
Оборудование, устройство ЧПУ			Обозначение программы			То	Тв	Тп.з	Тш.к	СОЖ			
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500													
Р	Содержание перехода				ПИ	Д или В	L	t	l	S	n	V	
О 12						мм	мм	мм		мм/об	мин ⁻¹	м/мин	
О 13	005.03												
О 14	Свердлиți попередньо												
О 15	005.04												
О 16	Свердлиți начисто												
Т 17	Твердосплавне сверло Sandvik 860.1-0800-025A1-GM X1BM												
О 18	005.05												
О 19	Нарізати різьбу М8												
Т 20	Мітчик з прямими канавками для стружки Sandvik T100-KM106AA-M8 D210												
О 21													
О 22													
OK	Операційна карта											9	

Дубл.	Взам.	Подп.	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Яковенко А.С.					НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»	ДПБ.МТ-81016.2022.009						
Провер.	Петраков Ю.В.												
Т.контр.													
Н.контр.													
Утв.													
Корпус редуктора										у	005		
Наименование операции			Материал			Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД
Багатоцільова			СЧ15 ГОСТ1412-85			HB130-241							
Оборудование, устройство ЧПУ			Обозначение программы			То	Тв	Тп.з	Тш.к	СОЖ			
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500													
Р	Содержание перехода				ПИ	Д или В	L	t	l	S	n	V	
О 23						мм	мм	мм		мм/об	мин ⁻¹	м/мин	
О 24	005.06												
О 25	Свердлиți попередньо												
О 26	005.07												
О 27	Свердлиți начисто												
Т 28	Твердосплавне сверло Sandvik 861.1-1200-180A1-GM GC34												
О 29													
О 30													
О 31													
О 32													
О 33													
OK	Операційна карта											10	

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009							
Провер.	Петраков Ю.В.													
Т.контр.														
Н.контр.														
Утв.														010
Корпус редуктора														
КЭ	Карта эскиза												11	

Дубл.														
Взам.														
Подп.					Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Яковенко А.С.				НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009							
Провер.	Петраков Ю.В.													
Т.контр.														
Н.контр.														
Утв.														010
Корпус редуктора														
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД			
Багатоцільова		СЧ15 ГОСТ1412-85		НВ130-241										
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		То	Тв	Тп.з	Тпл.к	СОЖ						
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр UMC-500														
Р	Содержание перехода			ПИ	Д или В	L	t	l	S	n	V			
О 01					мм	мм	мм		мм/мин	мин ⁻¹	м/мин			
О 02	010.00													
О 03	Повернути на 90° перпендикулярно підлозі													
Т 04	Тиски Gerardi art.14, стандартний стіл верстату UMC-500													
О 05	010.01													
О 06	Сверлити попередньо													
О 07	010.02													
О 08	Сверлити начисто													
Т 09	Твердосплавне сверло Sandvik 870-1000-6LX063-3													
О 10	010.03													
О 11	Нарізати різьбу M10													
ОК													12	

Дубл.															
Взам.															
Подп.															
Разраб.	Яковенко А.С.			НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009									
Провер.	Петраков Ю.В.														
Т.контр.															
Н.контр.															
Утв.															
Корпус редуктора														у	015
Наименование операции		Материал				Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры				МЗ	КОИД	
Багатоцільова		СЧ15 ГОСТ1412-85				НВ130-241									
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы				То	Тв	Тп.з	Тш.к	СОЖ					
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500															
Р	Содержание перехода			ПИ	Д или В	L	t	l	S	n	V				
О 01					ММ	ММ	ММ		ММ/МИН	МИН ⁻¹	М/МИН				
О 02	015.00														
О 03	Повернути паралельно підлозі, перпендикулярно до осі шпинделю верстата														
Т 04	Тиски Gerardi art.14, стандартний стіл верстату УМС-500														
О 05	015.01														
О 06	Фрезерувати дві поверхні попередньо														
О 07	015.02														
О 08	Фрезерувати дві поверхні начисто														
Т 09	Торцева фреза R210-066С6-14Н														
О 10	015.03														
О 11	Розточити попередньо														
ОК												15			

Дубл.															
Взам.															
Подп.															
Разраб.	Яковенко А.С.			НТУУ «КПІ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»		ДПБ.МТ-81016.2022.009									
Провер.	Петраков Ю.В.														
Т.контр.															
Н.контр.															
Утв.															
Корпус редуктора														у	015
Наименование операции		Материал				Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры				МЗ	КОИД	
Багатоцільова		СЧ15 ГОСТ1412-85				НВ130-241									
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы				То	Тв	Тп.з	Тш.к	СОЖ					
П'ятиосьовий універсальний оброблюючий центр УМС-500															
Р	Содержание перехода			ПИ	Д или В	L	t	l	S	n	V				
О 01					ММ	ММ	ММ		ММ/МИН	МИН ⁻¹	М/МИН				
О 02	015.04														
О 03	Розточити начисто														
Т 04	<u>Противобращающий инструмент</u> Sandvik 825D-45TC09U-C4L для чистового <u>розточування</u>														
О 05	015.05														
О 06	Свердлити попередньо 4 отвори														
О 07	015.06														
О 08	Свердлити начисто 4 отвори														
Т 09	Твердосплавне сверло 860.1-0800-025A1-GM X1BM														
О 10															
О 11															
ОК												16			

Додаток Б

Специфікація збірки верстатного пристрою

Форм.	Зона	Поз.	<u>Обозначення</u>	Назва	Кільк.	Примеч.
				<u>Документація</u>		
A0				Кресленик складальний		
A4				Специфікація		
				<u>Складальні одиниці</u>		
				Пневматичні лещата	1	
				<u>Gerardi art. 14</u>		
				<u>Деталі</u>		
A2		11		Корпус Редуктора	1	
		7		Прихват M12	2	
				<u>Gerardi art. 298</u>		
		8		T-образна гайка M12	2	
				<u>Gerardi art. 287</u>		
		4		Паралельні магнітні пластини	2	
				<u>Gerardi art. 313</u>		
		1		Супорт для зажиму деталі	1	
				<u>Gerardi art. 258</u>		
		10		Пряма пластина	2	
				<u>Gerardi art. 246</u>		
		3		Призматична рухома губка	2	
				<u>Gerardi art. 146</u>		
		2		Стіл верстату	1	
				Standard table UMC-500		
ДПБ.МТ-81016.011						
<u>Нзм.</u>	<u>Лист</u>	<u>ІР викон.</u>	<u>Подп.</u>	<u>Дата</u>		
<u>Вклад.</u>		Яковенко А.С.			<u>Лист</u>	<u>Листов</u>
<u>Прод.</u>		Петражко ЮВ			1	2
<u>Н.контр.</u>					КПІ ім. Ігоря Сікорського ННІМФ, кафедра ТМ	
<u>Узд.</u>						

Література

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
2. Богуслаев В.А., Цыпак В.И., Яценко В.К. Основы технологии машиностроения. – Запорожье, изд-во ОАО «Мотор Сич». – 2003. – 336 с.
3. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение, 1986. – 268 с.
4. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967 – 360с.
5. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М., Машиностроение, 1974. – 320с.
6. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник.-Київ: УкрНДІАТ, 2004.- 383с.
7. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах Т1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 656 с.
8. Петраков Ю. В., Субін А. А., Фролов В. К. Лабораторно-комп'ютерний практикум з мікропроцесорної техніки: Навч. посіб. – К.:ІЦВ “Політехніка”, 2005. – 104 с.
9. E. Ozlu, E. Budak, “Analytical Modeling of Chatter Stability in Turning and Boring Operations: A Multi-Dimensional Approach”, Vol. 56 (Issue 1), 2007, p. 401-404,
10. Y. Petrakov, M. Danylchenko, A. Petryshyn, “Prediction of chatter stability in turning”, 2019
11. Caixu Yue,*, Haining GAO, Xianli LIU, Steven Y. LIANG , Lihui Wang “A review of chatter vibration research in milling”, 2018

12. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 1. Нормативы времени.: М.: Экономика. 1990г. – 206с.
13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 2. Нормативы режимов резания.: М.: Экономика. 1990г. – 474 с.
14. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов. 3-е издание переработанное и дополненное – Киев: Высшая школа. 1986г. – 455с.
15. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах Т1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – 4-е изд. переработанное и дополненное – М.: Машиностроение. 1986г. – 656 с.
16. **Теорія різання.** Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентів на пряму підготовки бакалаврів-**Інженерна механіка** усіх форм навчання / Укл. В.Г.Біланенко, В.М.Кореньков, О.О. Мельник- Київ: НТУУ "КПІ",2007. - 75 с.