

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ММР

_____ к.т.н., доц.

Андрій ГРЕЧКА

Кваліфікаційна робота

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Проектування різцевої головки спеціального розточувального верстата»

«Design of the cutting head of a special boring machine»

Виконавець: здобувач вищої освіти

4-го курсу, групи ПМ-22-3,

ОПП «Прикладна механіка»

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Нога Андрій Сергійович

Керівник роботи: к.т.н., доц.

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: к.т.н., доц.

Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
Андрій ГРЕЧКА

«____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Андрія НОГИ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проектування різцевої головки спеціального
розточувального верстата

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ

3. Строк подання роботи до захисту «15» червня 2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: розробка проекту різцевої головки спеціального
розточувального верстата

Завдання:

- виконати аналітичний огляд і вибір напрямку роботи;
- розробити технологію обробки картера на проектованому верстаті;
- розробити конструкції спеціального розточувального верстата та основних його характеристик;
- розробити відповідну конструкторську документацію.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 2	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 3	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	Аналітичний огляд і вибір напрямку роботи	Квітень 2026	Вик.
2	Технологія обробки картера на проектованому верстаті	Квітень 2026	Вик.
3	Розробка конструкції спеціального розточувального верстата та основних його характеристик	Травень 2026	Вик.
4	Висновки	Травень 2026	Вик.
5	Графічна частина та оформлення	Червень 2026	Вик.

Дата видачі завдання « 13 » квітня 2026 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання 13 » квітня 2026 р.

Здобувач _____ Андрій НОГА
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Андрій НОГА. Проектування різцевої головки спеціального розточувального верстата. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: спеціальності 131 Прикладна механіка / наук. кер. Олександр СКІБІНСЬКИЙ; ЦНТУ, 2026. 46 с.

Графічна частина – 2 аркуші формату А1, 1 аркуш формату А0.

Метою роботи є: розробка проєкту різцевої головки спеціального розточувального верстата.

Для досягнення вказаної мети необхідно: виконати аналітичний огляд і вибір напрямку роботи; розробити технологію обробки картера на проєктованому верстаті; розробити конструкції спеціального розточувального верстата та основних його характеристик; розробити відповідну конструкторську документацію

Актуальність роботи. Тонке розточування є сучасним технологічним методом фінішної обробки точних отворів, суттєва перевага якого полягає в обробці особливо точних отворів завдяки забезпеченню дуже точного взаємного розташування отворів або їх положення відносно базових поверхонь. Тонке розточування є також прогресивним методом підготовки отворів під хонінгування, яке створює передумови для високопродуктивного одержання особливо точних отворів.

Практичне значення. На станині розточувального верстата встановлені силові столи, на платформах яких установлені дві оригінальні шпиндельні головки для обточування зовнішніх поверхонь картера та силова головка із шпиндельною коробкою для розточування отворів в картері. Платформа отримує переміщення подачі від гідроциліндра, встановленого між напрямними силового стола. Натяг пасів здійснюється за допомогою переміщення електродвигуна розміщеного на піддвигуновій плиті.

Ключові слова: тонке розточування, принцип агрегування, особливо точні отвори, гідроциліндр, картер, шпиндельні головки

ABSTRACT

Andrii NOHA. Design of the cutting head of a special boring machine. Qualification work for the educational degree "bachelor": specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Oleksandr SKIBINSKYI; CNTU, 2026. 46 p.

Graphic part – 2 sheets of A1 format, 1 sheet of A0 format

The aim of the work is: to develop a design project for the cutter head of a special boring machine.

To achieve the stated objective, it is necessary to: perform an analytical review and determine the direction of the study; develop the machining technology for the crankcase on the designed machine tool; develop the design of the special boring machine and determine its main characteristics; and prepare the corresponding engineering documentation.

The relevance of the work. Fine boring is a modern technological method of finish machining of precision holes, the significant advantage of which lies in the capability to machine highly accurate holes by ensuring extremely precise relative positioning of the holes and their location with respect to reference surfaces. Fine boring is also considered an advanced method for preparing holes for honing, creating the conditions necessary for high-productivity manufacturing of ultra-precise holes

Practical significance. Power tables are mounted on the bed of the boring machine, and two original spindle heads for machining the external surfaces of the crankcase, as well as a power head with a spindle gearbox for boring holes in the crankcase, are installed on their platforms. The platform receives feed motion from a hydraulic cylinder mounted between the guideways of the power table. Belt tensioning is performed by displacement of the electric motor mounted on the motor base plate

Keywords: fine boring, aggregation principle, ultra-precise holes, hydraulic cylinder, crankcase, spindle heads.

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему:

**«Проектування різцевої головки спеціального розточувального
верстата»**

КРБ.ПМ.26.41.01.00.00

Виконавець: здобувач вищої освіти,
4-го року навчання, групи ПМ-22-З,
ОПП «Прикладна механіка»
Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Нога Андрій Сергійович

Керівник роботи: к.т.н., доц.

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1. Огляд нормалізованих вузлів розточувальних верстатів	10
1.2. Аналіз варіантів компоновок розточувальних верстатів і розробка оптимальної компоновки проектного верстата	11
1.3. Налагодження спеціального розточувального верстата для комплексної обробки картера заднього моста	12
2. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ КАРТЕРА НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ.....	14
2.1. Призначення, конструкція, вибір матеріала та заготовки картера	14
2.2. Базування картера при обробці на спеціальному розточувальному верстаті.....	15
2.3. Визначення похибки на установлення заготовки в затискному пристосуванні	18
2.4. Розрахунок режимів різання	19
2.4.1. Розрахунок режимів різання для розточування 4-х отворів одночасно	19
2.4.2. Розрахунок режимів різання для підрізання поверхонь В і Г	24
2.4.3. Технологічне нормування операцій.....	27
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОГО РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА ТА ОСНОВНИХ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК	30
3.1. Будова та принцип роботи спеціального розточувального верстата.....	30
3.2. Будова та робота уніфікованих вузлів і агрегатів спеціального розточувального верстата	33
3.3. Проектування та розрахунок затискного пристосування.....	33
3.4. Перевірка трубопроводу гідропривода на умову резонансу	36
3.5. Розробка технічної характеристики верстата	37
3.6. Електрообладнання верстата	37
3.7. Гідросистема верстата	38
3.8. Підготовка верстата до початкового пуску	40
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	44

ВСТУП

Для сучасного машинобудування характерне безперервне підвищення точності виробів з одночасним зростанням продуктивності праці при їх виготовленні. Задоволення підвищених вимог, які пред'являються до точності машин, механізмів, верстатів і приладів, неможливе без підвищення точності отворів у їх деталях. У багатьох випадках допустимі похибки розмірів отворів, їх форми та розташування вимірюються мікрометрами, а шорсткість поверхні повинна бути не вищою 1,25мкм за параметром Ra.

Разом із розвертуванням, хонінгуванням і доведенням, тонке розточування є сучасним технологічним методом фінішної обробки точних отворів. Суттєва перевага, тонкого розточування при обробці особливо точних отворів, це забезпечення дуже точного взаємного розташування отворів або їх положення відносно базових поверхонь. Тонке розточування є також прогресивним методом підготовки отворів під хонінгування, яке створює передумови для високопродуктивного одержання особливо точних отворів з шорсткістю поверхні за параметром Ra 1,25 мкм [1].

Під тонким розточуванням розуміють остаточну викінчувальну операцію обробки отворів, яка виконується алмазним або твердосплавним різальним інструментом, причому алмаз використовують, головним чином, для розточування виробів із кольорових сплавів, ебоніту, текстоліту, гуми та інших синтетичних матеріалів, обробка чорних металів ведеться твердосплавним інструментом.

Особливостями процесу такого розточування є високі швидкості різання, малі подачі та глибини різання при дуже високій вібростійкості технологічної системи: верстат - пристосування - інструмент - деталь. Ця технологічна система потребує створення спеціальних верстатів. Нині це - прецизійне, високопродуктивне обладнання, яке використовується у велокосерійному та серійному виробництві при обробці отворів у деталях автотракторних двигунів, дизелів, отворів у головках шатунів, гільзах, блоках циліндрів, корпусах, картерах, компресорів, та ін.

Спеціальні - розточувальні (викінчувально - розточувальні) верстати, на яких виконується тонке розточування, представляють собою верстати - напівавтомати з числовим програмним управлінням і широкою автоматизацією основних і допоміжних операцій. Поряд з розточуванням циліндричних отворів на цих верстатах здійснюється чистова обробка конічних і фасонних поверхонь, проточування канавок, підрізання зовнішніх і внутрішніх торців та ін. Можливість комплексної фінішної обробки виробів при напівавтоматичному циклі дозволяє сполучати на алмазно - розточувальних верстатах високу точність з високою продуктивністю праці.

Спеціальні - розточувальні верстати можуть бути одно- і багатошпиндельними з горизонтальним, вертикальним, похилим і комбінованим розташуванням осей шпинделів у просторі. Найбільш поширені горизонтальні верстати, які можуть мати рухомий стіл або рухомі шпиндельні головки. Стіл може рухатися паралельно або перпендикулярно осі шпинделя.

При проектуванні та виготовленні алмазно - розточувальних верстатів використовують принцип агрегування з широким застосуванням нормалізованих та уніфікованих вузлів та деталей, а також розробкою і оснащенням верстатів оригінальними та спеціальними вузлами і пристосуваннями, призначеними для обробки конкретних виробів.

Для розточування отворів і підрізання торців у чавунному картері в умовах серійного виробництва проектуємо спеціальний горизонтальний багатошпиндельний викінчувально - розточувальний верстат. При цьому використовуємо накопичений досвід роботи кафедри "Металорізальні верстати та системи" та спеціального конструкторського бюро алмазно-розточувальних верстатів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1. Огляд нормалізованих вузлів розточувальних верстатів

При проектуванні спеціального викінчувально-розточувального верстата для комплексної обробки картера заднього моста, вибираємо два напрямки:

- вибір стандартних вузлів вже розроблених розточувальних верстатів, які можна застосувати при проектуванні спеціального викінчувально-розточувального верстата;

- розробка та проектування спеціальних вузлів, які відрізняються від стандартних і можуть застосовуватися в розроблюваному верстаті для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь картера [2, 3, 4]

Нормалізованими вузлами для всіх типів розточувальних верстатів є такі вузли: станини, столи силові, силові та шпиндельні головки тощо.

Станина спеціального викінчувально-розточувального верстата являє собою чавунну відливку коробчатої форми. В залежності від конструкції верстата, що проектується, в його компоновці можуть бути одна або декілька станин. В залежності від конструктивного призначення та їх навантажень, станини можуть мати різні форми поперечного перерізу.

Уніфікований силовий стіл встановлюється на більш вузьку частину станини. Він складається з прямої плити, по якій від гідроциліндра переміщується платформа. Шток гідроциліндра з'єднується з кронштейном стола. В нижній частині плити встановлений регульований гвинт-упор, що обмежує переміщення платформи. На середній платформі силового столу встановлюються шпиндельна головка, з приводом обертання, на правій бічній станині розміщується силовий стіл на якому встановлена силова головка та чотирьохшпиндельна коробка, ліва бічна станина оснащена шпиндельною головкою з приводом обертання. Управління циклом роботи силового столу та силової головки здійснюється за допомогою кулачків, які встановлені в лінійці платформи та блока шляхових перемикачів.

1.2. Аналіз варіантів компоновок розточувальних верстатів і розробка оптимальної компоновки проектного верстата

Розточувальні верстати проектується за принципом агрегатувannya, тобто створюються на базі стандартних, уніфікованих вузлів і базових деталей з оптимальною послідовністю технологічних операцій обробки. Компоновки розточувальних верстатів залежать від кількості та взаємного розташування поверхонь, що обробляються в деталях. Загальними складальними одиницями розточувальних верстатів є такі силові вузли, як станини бокові, станини середні, стійки вертикальні з противагою, столи силові, розточувальні головки тощо.

Основні напрямки створення компоновок спеціального металообробного обладнання: агрегатний принцип, модульний принцип або агрегатно-модульний принцип. Спеціальні верстати створені за такими принципами характеризуються високим ступенем уніфікації, простотою та надійністю конструкції, централізованою системою змащування, забезпечують застосування сучасних високопродуктивних інструментальних матеріалів, подачу достатньої кількості рідини для охолодження зони різання, надійне і своєчасне змивання та відведення стружки й емульсії з робочої зони. Верстати повинні мати надійну огорожу робочої зони від вилітання стружки та розбризкування емульсії, що приводить до зручності їх експлуатації [5, 6, 7]

Розточувальні верстати поставляються із спеціальним оснащенням: пристосуванням для фіксації та затискання оброблюваної деталі, інструментом, силовими та шпиндельними головками, приводами обертання шпинделів, шпиндельними коробками, мірним інструментом, належностями для обслуговування верстата.

Розточувальний верстат може додатково оснащуватися автоматичними пристроями для завантаження та розвантаження деталей, вузлами підналадження різального інструмента.

Оптимальний варіант компоновки спеціального викінчувально-розточувального верстата для комплексної обробки картера заднього моста буде мати як уніфіковані вузли, так і спеціальні розроблені вузли.

Компоновка спеціального розточувального верстата створювалась за агрегатно-модульним принципом, тобто крім використання уніфікованих вузлів, проводимо накопичення однакових уніфікованих вузлів - в проектній компоновці використовуємо дві шпиндельні головки та два гідро циліндра.

На станині розточувального верстата встановлені силові столи, на платформах яких установлені дві оригінальні шпиндельні головки для обточування зовнішніх поверхонь картера та силова головка із шпиндельною коробкою для розточування отворів в картері. Платформа отримує переміщення подачі від гідроциліндра, встановленого між напрямними силового стола. Натяг пасів здійснюється за допомогою переміщення електродвигуна розміщеного на підмоторній плиті. Окремо від верстата розташовані: станція гідропривода, електрошафа та агрегат для охолодження зони різання. Електрообладнання, яке змонтоване в електрошафі, забезпечує два режими роботи верстата: налагоджувальний та напівавтоматичний. Органи сигналізації та управління верстатом зосереджені на пульті, що розташований в зоні оператора. Гідроапаратура встановлена на панелях станції гідропривода [8, 9, 10]

1.3. Налагодження спеціального розточувального верстата для комплексної обробки картера заднього моста

В переважній більшості розточувальні верстати використовуються для роботи інструментом, який обертається. Поряд з розточуванням поверхонь інколи доводиться виконувати тонке обточування концентричних або зовнішніх поверхонь. Ці операції виконуються інструментом, який змонтований в розточувальних головках та шпиндельній коробці. При налагодженні інструмента серйозних ускладнень не виникає.

При обточуванні деталі рухомим інструментом доводиться застосовувати спеціальні шпиндельні головки для підрізання торців, а також силову головку, яка є приводом чотирьохшпиндельної коробки для одночасного розточування чотирьох отворів. На центральному столі верстата встановлено затискне пристосування, яке забезпечує встановлення та закріплення заготовки, яка обробляється.

Управління циклом роботи силових столів та поперечного супорта здійснюється за допомогою кулачків, які встановлені в лінійці платформи та при допомозі блоків шляхових перемикачів [11, 12, 13]

2. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ КАРТЕРА НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ

2.1. Призначення, конструкція, вибір матеріала та заготовки картера

Картер є складальною одиницею редуктора машини. Картера, в значній мірі, визначають працездатність і надійність машин по критеріям вібростійкості, точності роботи під навантаженням і довговічності. Основними критеріями працездатності картерів служить жорсткість. Підвищені пружні переміщення в корпусних деталях приводять до порушення роботи механізму, що сприяє виникненню різних вібрацій [14, 15, 16]

У картери заливають мастило для змазування та охолодження деталей редукторів. Матеріал для картера вибирається з урахуванням критеріїв працездатності, міцності, жорсткості та технологічності.

Картер виготовляється із матеріала СЧ15 ГОСТ 1412-85. Це сірий чавун з пластичним графітом, твердістю HB 163...229, з границями міцності на розривання $\sigma_{\text{р}}=150\text{МПа}$. Вага картера 29,5 кг. Річна програма випуску деталей складає 38400шт і відповідає серійному типу виробництва.

Таблиця 2.1.

Хімічні властивості матеріала СЧ15 ГОСТ 1412-85, %

C	Si	Mn	S	P
3,5-3,7	2-2,4	0,5-0,8	до 0,15	до 0,2

Таблиця 2.2.

Механічні властивості матеріала СЧ15 ГОСТ 1412-85

$\sigma_{\text{зг}}$, МПа	$\sigma_{\text{ст}}$, МПа	HB
305	610	163...229

Заготовкою картера є вилівка, тому що сірий чавун має хороші ливарні властивості. З точки зору механічної обробки, сірий чавун з твердістю HB

163...229 має хорошу оброблюваність різанням, тому що його висока теплопровідність дозволяє вести обробку при високих швидкостях різання і забезпечує мінімальну висоту нерівностей обробленої поверхні.

2.2. Базування картера при обробці на спеціальному розточувальному верстаті

При розробці схеми базування картера, необхідно встановити такі фактори:

- число опор (точок), на які встановлюється заготовка, не повинно перевищувати шести;
- при установленні заготовки на опори не повинен виникати перекидний момент;
- поверхні заготовки, які вибрані під бази, повинні мати достатню площу і якість обробки.

На розточувально-викінчувальний верстат, картер надходить попередньо обробленим, з чистовими базовими поверхнями - площиною А і двома отворами Б та поверхнями В і Г(див. рис. 2.1). До картера, перед виконанням операції тонкого розточування та підрізання торців, висуваються такі вимоги:

Похибка на розвертання та розточування отворів складає 0,03мм на діаметр, а підрізання торців 0,3мм;

Площина А може мати відхилення не більше 0,025мм, а шорсткість Ra 2,5мкм;

Два отвори Б $\varnothing 13^{+0,3}$ мають шорсткість поверхні Ra 2,5мкм; не перпендикулярність осей цих отворів до площини А не більше 0,01мм на довжині 284,5 мм;

Відстань координатних осей між базовими отворами Б 284,5 мм;

Зміщення попередніх оброблених отворів і торців номінального положення(базових поверхонь) не більше 0,1мм.

З точки зору виконання операції на спеціальному викінчувально-розточувальному верстаті, деталь достатньо технологічна. Конструкція картера має достатню жорсткість, яка не обмежена режимами різання, а також достатні за розміром, відстанню і розташуванням базові поверхні, які можуть забезпечити правильне базування і надійне закріплення деталі при її обробці на спеціальному викінчувально-розточувальному верстаті. Конструкція картера забезпечує вільний доступ інструмента до оброблюваних поверхонь.

При обробці картера на викінчивально-розточувальному верстаті, що розробляється, приймаємо схему базування деталі, яка показана на рис. 2.1.

Картер отворами Б встановлюється на пальці і опирається поверхнею А на плоску жорстку опору. Затиск деталі буде здійснюватись по поверхні Д у напрямку, перпендикулярному до опорної поверхні А. При такій схемі базування дотримується принцип єдності технологічних та вимірювальних баз.

Для затискання деталі на спеціальному викінчувально-розточувальному верстаті доцільно застосувати гідравлічне затискне пристосування, так як привід верстату гідравлічний. Переваги гідравлічного затискного пристосування в тому, що габарити його набагато менші ніж пневматичного і надійне закріплення картера дає змогу проводити обробку з оптимальними режимами різання.

На рисунку 2.1 показані слідуючі поверхні:

- А - установочна поверхня;
- Б - центровочні, направляючі отвори;
- В, Г - оброблювані поверхні;
- Д - поверхня для затиску деталі.

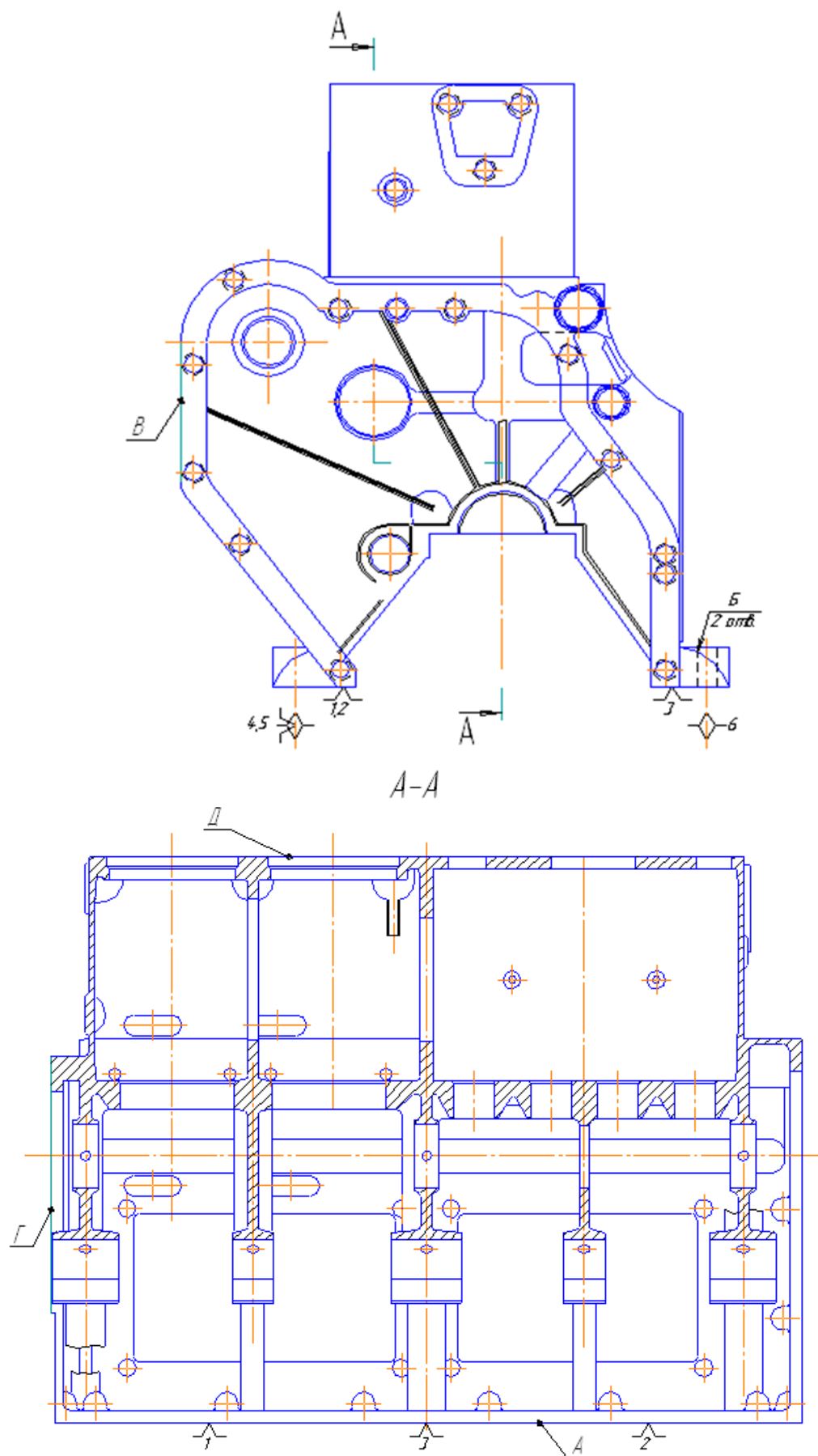


Рис. 2.1. Базування картера:

2.3. Визначення похибки на установлення заготовки в затискному пристосуванні

Похибка установки картера в пристосуванні ΔE_y розраховується з урахуванням похибок:

ΔE_b – базування;

ΔE_z – закріплення;

ΔE_{pr} – похибка виготовлення та зношення опорних елементів затискного пристрою.

Похибка установки визначається, як граничне поле розсіювання положень вимірjuвальної поверхні відносно поверхні відліку в напрямленні розміру, який витримується:

$$E_y = \sqrt{E_b^2 + E_z^2 + E_{pr}^2}, \quad (2.1)$$

де: E_b – похибка установки заготовки на постійні опори, $E_b = 50 \text{ мкм}$

E_z – контактна деформація стику заготовки – опора пристрою;

$$E_z = [(K_{rz} \cdot R_z + K_H \cdot H_B) + G_1] \cdot \left(\frac{Q}{9,8} \right)^n \cdot \frac{1}{F^m} \quad (2.2)$$

$$E_z = [(0 + (-0,003) \cdot 250) + 0,67 \cdot \frac{6,23}{5}] \cdot \left(\frac{200}{9,8} \right)^{0,8} \cdot \frac{1}{1} = 20 \text{ мкм}$$

E_{pr} - для серійного та масового виробництва;

$E_{pr} = E_{zn}$ – зношення установочних елементів пристроїв:

$$E_{pr} = B \cdot N = 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ мкм};$$

$$E_y = \sqrt{50^2 + 20^2 + 4,8^2} = 54 \text{ мкм}.$$

Аналізуючи отриману похибку і порівнюючи точність відтворюючих розмірів можна зробити висновок, що спосіб базування вибраний правильно.

Виходячи з технічних вимог, які пред'являються до деталі після її обробки, очевидно, що така точність установки картера, на спеціальному розточувальному верстаті, цілком достатня.

2.4. Розрахунок режимів різання

2.4.1. Розрахунок режимів різання для розточування 4-х отворів одночасно

Виконуючи розрахунок режимів різання при розверчуванні отворів Ø34Js7, Ø22Js7 та розточуванні отворів Ø49H7, Ø62H7, в заготовці з сірого чавуна марки СЧ15 ГОСТ 1412-85, приймаємо стійкість інструментів в залежності від їх діаметру та матеріалу [8]:

1) Інструмент розвертка, Ø34мм, матеріал інструменту твердий сплав ВК8, стійкість $T_1 = 105\text{хв.}$;

2) Інструмент борштанга, Ø40мм, матеріал ріжучих пластин твердий сплав ВК8, стійкість $T_2 = 70\text{хв.}$;

3) Інструмент борштанга, Ø50мм, матеріал ріжучих пластин твердий сплав ВК8, стійкість $T_3 = 90\text{хв.}$;

4) Інструмент розвертка, Ø22мм, матеріал інструменту твердий сплав ВК8, стійкість $T_4 = 75\text{хв.}$

Глибина різання, що рекомендується при таких умовах розвірчування та розточування сірого чавуна, складає 0,05- 0,25мм [4].

При розверчуванні отвору Ø34Js7±0,012мм:

$$t_1 = 0,09\text{мм},$$

При розточуванні отвору Ø49H7+0,025мм:

$$t_2 = 0,1\text{мм},$$

При розточуванні отвору Ø62H7+0,030мм:

$$t_3 = 0,13\text{мм},$$

При розверчуванні отвору Ø22Js7±0,0065мм:

$$t_4 = 0,06\text{мм}.$$

Для забезпечення необхідної шорсткості оброблених поверхонь при розверчуванні та розточуванні чавуну рекомендуються подачі $S = 0,2 - 0,3 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$

[24]. Приймаємо $S = 0,25 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

При повздовжньому розверчуванні та розточуванні отворів швидкість різання розраховуємо за емпіричною формулою[8]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \quad (2.3)$$

де, C_v , q , x , y , m – величини, які залежать від оброблювального матеріалу, матеріалу інструмента й умов обробки;

T – стійкість інструмента, хв;

t – глибина різання, мм;

s – швидкість подачі, мм/об;

K_v – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки, стан її поверхні, матеріалу інструмента

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv} \cdot K_{zv} \quad (2.4)$$

Згідно [24]: $C_v = 109$, $q=0,2$, $y = 0,5$, $m = 0,45$, $T_1 = 105$ хв, $T_2 = 70$ хв, $T_3 = 90$ хв, $T_4 = 75$ хв, $K_{mv} = 1,15$, $K_{iv} = 1$, $K_{lv} = 1$, $K_{zv}=0,75$.

Тоді: $K_v = 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,8625$

Швидкість різання при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$V_1 = \frac{109 \cdot 34^{0,2}}{105^{0,45} \cdot 0,09^0 \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 0,8625 = 54,35 \text{ м/хв};$$

Швидкість різання при розточуванні отвору Ø49H7:

$$V_2 = \frac{109 \cdot 40^{0,2}}{70^{0,45} \cdot 0,1^0 \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 0,8625 = 67,39 \text{ м/хв};$$

Швидкість різання при розточуванні отвору Ø62H7:

$$V_3 = \frac{109 \cdot 50^{0,2}}{90^{0,45} \cdot 0,13^0 \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 0,8625 = 62,93 \text{ м/хв} ;$$

Швидкість різання при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$V_4 = \frac{109 \cdot 22^{0,2}}{75^{0,45} \cdot 0,06^0 \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 0,8625 = 57,97 \text{ м/хв} .$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою[8]:

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} , \quad (2.5)$$

Частота обертання шпинделя при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 54,35}{3,14 \cdot 34} = 509,1 \text{ хв}^{-1} , \text{ Приймаємо } n_1 = 500 \text{ хв}^{-1} ;$$

Частота обертання шпинделя при розточуванні отвору Ø49H7:

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 67,39}{3,14 \cdot 40} = 536,5 \text{ хв}^{-1} , \text{ Приймаємо } n_2 = 500 \text{ хв}^{-1} ;$$

Частота обертання шпинделя при розточуванні отвору Ø62H7:

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 62,93}{3,14 \cdot 50} = 400,8 \text{ хв}^{-1} , \text{ Приймаємо } n_3 = 400 \text{ хв}^{-1} ;$$

Частота обертання шпинделя при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 57,97}{3,14 \cdot 22} = 839,2 \text{ хв}^{-1} , \text{ Приймаємо } n_4 = 800 \text{ хв}^{-1} .$$

Фактичні швидкості різання розраховуються за наступною формулою [8]:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.6)$$

Фактична швидкість різання при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$V_{\phi 1} = \frac{3,14 \cdot 34 \cdot 500}{1000} = 53,38 = 53 \frac{\text{м}}{\text{хв}} ;$$

Фактична швидкість різання при розточуванні отвору Ø49H7:

$$V_{\phi 2} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 500}{1000} = 62,8 = 63 \frac{м}{хв};$$

Фактична швидкість різання при розточуванні отвору Ø62H7:

$$V_{\phi 3} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 400}{1000} = 62,8 = 63 \frac{м}{хв};$$

Фактична швидкість різання при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$V_{\phi 4} = \frac{3,14 \cdot 22 \cdot 800}{1000} = 55,2 = 55 \frac{м}{хв};$$

Сили різання при тонкому розточуванні визначаємо за формулою [8]:

$$P_z = c_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot K_{pz} \quad (2.7)$$

де, C_{pz} – коефіцієнт, що залежить від оброблювального матеріалу, для сірого чавуна $C_{pz} = 1150$;

t - глибина різання, мм;

s - подача, мм;

x_{pz}, y_{pz} – показник ступенів;

K_{pz} – загальний поправочний коефіцієнт.

Значення коефіцієнтів C_{pz} і показників ступенів x_{pz}, y_{pz} виписуємо з таблиці [4].

$$K_{pz} = K_D \cdot K_\gamma \cdot K_s = 1,05 \cdot 1 \cdot 1,04 = 1,1$$

де K_D – коефіцієнт що залежить від діаметра розточування D , при розточуванні чавуну (при $D = 10 - 60$ мм) $K_D = 1,05$;

K_γ – коефіцієнт, що враховує відхилення та значення переднього кута різця, $K_\gamma = 1$;

K_s – коефіцієнт, що залежить від зносу інструмента, при величині зносу 0,06-0,01мм $K_s = 1,04$.

Сила різання при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$P_{z1} = 1150 \cdot 0,09^{0,9} \cdot 0,25^{0,72} \cdot 1,1 = 53,4 \text{ Н};$$

Сила різання при розточуванні отвору Ø49H7:

$$P_{z2} = 1150 \cdot 0,1^{0,9} \cdot 0,25^{0,72} \cdot 1,1 = 58,7 \text{ Н};$$

Сила різання при розточуванні отвору Ø62H7:

$$P_{z3} = 1150 \cdot 0,13^{0,9} \cdot 0,25^{0,72} \cdot 1,1 = 74,3 \text{ Н};$$

Сила різання при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$P_{z4} = 1150 \cdot 0,06^{0,9} \cdot 0,25^{0,72} \cdot 1,1 = 37 \text{ Н}.$$

Крутний момент при розточуванні отворів знаходиться за формулою [4]:

$$M_{кр} = \frac{C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot D \cdot z}{2 \cdot 100}, \quad (2.8)$$

де, D – діаметр інструменту;

z - число зубів інструменту.

Визначаємо крутний момент при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$M_{кр1} = \frac{42 \cdot 0,09 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 34 \cdot 10}{2 \cdot 100} = 2,272 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Визначаємо крутний момент при розточуванні отвору Ø49H7:

$$M_{кр2} = \frac{42 \cdot 0,1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 40 \cdot 12}{2 \cdot 100} = 3,564 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Визначаємо крутний момент при розточуванні отвору Ø62H7:

$$M_{кр3} = \frac{42 \cdot 0,13 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 50 \cdot 12}{2 \cdot 100} = 5,791 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Визначаємо крутний момент при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$M_{кр4} = \frac{42 \cdot 0,06 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 22 \cdot 8}{2 \cdot 100} = 0,784 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо потужність різання за формулою [24]:

$$N_{p1} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}, \text{ кВт} \quad (2.9)$$

Потужність різання при розверчуванні отвору Ø34Js7:

$$N_{p1} = \frac{53,4 \cdot 53}{60 \cdot 1020} = 0,046 \text{ кВт};$$

Потужність різання при розточуванні отвору Ø49H7:

$$N_{p2} = \frac{58,7 \cdot 63}{60 \cdot 1020} = 0,06 \text{ кВт};$$

Потужність різання при розточуванні отвору Ø62H7:

$$N_{p3} = \frac{74,3 \cdot 63}{60 \cdot 1020} = 0,076 \text{ кВт};$$

Потужність різання при розверчуванні отвору Ø22Js7:

$$N_{p4} = \frac{37 \cdot 55}{60 \cdot 1020} = 0,033 \text{ кВт}.$$

2.4.2. Розрахунок режимів різання для підрізання поверхонь В і Г

Призначаємо режими різання для підрізання поверхні В [4]. Для підрізання застосовуємо торцеву фрезу $D = 100 \text{ мм}$, $z = 10$, вставні пластини із твердого сплаву ВК6.

Призначаємо режими різання для підрізання поверхні Г [4]. Для підрізання застосовуємо торцеву фрезу $D = 150 \text{ мм}$, $z = 12$, вставні пластини із твердого сплаву ВК6.

Глибина різання при підрізанні поверхні В:

$$t = 0,8 \text{ мм};$$

Глибину різання при підрізанні поверхні Г:

$$t = 1 \text{ мм}.$$

Вибираємо подачу на один зуб при підрізанні поверхні В [4]:

$$s_z = 0,4 \text{ мм/об};$$

Вибираємо подачу на один зуб при підрізанні поверхні Г [4]:

$$s_z = 0,7 \text{ мм/об}.$$

Швидкість різання для зовнішнього обточування розраховуємо за емпіричною формулою [24]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v, \quad (2.10)$$

де, C_v , x_v , y_v , m – величини, які залежать від оброблювального матеріалу, інструментального матеріалу й умов обробки;

T – стійкість інструмента, хв;

K_v – коефіцієнт, який враховує матеріал та стан поверхні заготовки;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}. \quad (2.11)$$

Згідно [24]: $C_v = 445$; $x = 0,15$; $y = 0,35$; $m = 0,32$; $p = 0,1$; $u = 0,2$; $q = 0,2$;
 $T_1 = 180$ хв; $T_2 = 180$ хв; $B_1 = 50$ мм; $B_2 = 100$ мм; $z_1 = 10$; $z_2 = 12$; $K_{mv} = 1$;
 $K_{pv} = 0,82$; $K_{iv} = 1,0$.

Тоді отримаємо:

$$K_v = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 0,85.$$

Швидкість різання при підрізанні поверхні В:

$$V_1 = \frac{445 \cdot 100^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 0,8^{0,15} \cdot 0,4^{0,35} \cdot 50^{0,2} \cdot 12^{0,1}} \cdot 0,85 = 93,3 = 93 \text{ м/хв.}$$

Швидкість різання при підрізанні поверхні Г:

$$V_2 = \frac{445 \cdot 150^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,7^{0,35} \cdot 100^{0,2} \cdot 16^{0,1}} \cdot 0,85 = 68,8 = 69 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою [4]:

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.12)$$

де, D – зовнішній діаметр інструмента.

Визначаємо частоту обертання шпинделя при підрізанні поверхні В:

$$n_{\text{шп1}} = \frac{1000 \cdot 93}{3,14 \cdot 100} = 296 \text{ хв}^{-1};$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя $n_{\text{шп1}} = 315 \text{ хв}^{-1}$ [4].

Визначаємо частоту обертання шпинделя при підрізанні поверхні Г:

$$n_{\text{шп2}} = \frac{1000 \cdot 69}{3,14 \cdot 150} = 146 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя $n_{\text{шп2}} = 160 \text{ хв}^{-1}$ [4].

Фактична швидкість різання визначається за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{шп}}}{1000}; \quad (2.13)$$

Визначаємо фактичну швидкість різання при підрізанні поверхні В:

$$V_{\phi1} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 315}{1000} = 99 \text{ м/хв};$$

Визначаємо фактичну швидкість різання при підрізанні поверхні Г:

$$V_{\phi2} = \frac{3,14 \cdot 150 \cdot 160}{1000} = 75 \text{ м/хв}.$$

Сили різання при торцевому фрезеруванні визначаємо за формулою [4]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \text{ Н}. \quad (2.14)$$

Згідно [24]: $C_p = 54,5$; $x = 0,9$; $y = 0,74$; $n_1 = 315$; $n_2 = 160$; $u = 0,2$; $q = 1,0$; $w = 0$; $B_1 = 50 \text{ мм}$; $B_2 = 100 \text{ мм}$; $z_1 = 10$; $z_2 = 12$; $K_{MP} = 1$.

Тоді знаходимо силу різання при підрізанні поверхні В:

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 0,8^{0,9} \cdot 0,4^{0,74} \cdot 50^{1,0} \cdot 10}{100^{1,0} \cdot 315^{0,4}} \cdot 1 = 113,3 \text{ Н};$$

Тоді знаходимо силу різання при підрізанні поверхні Г:

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 1^{0,9} \cdot 0,7^{0,74} \cdot 100^{1,0} \cdot 12}{150^{1,0} \cdot 160^{0,5}} \cdot 1 = 264,7 \text{ Н}.$$

Визначаємо крутний момент за формулою [4]:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot D_{\phi}}{2 \cdot 100}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.15)$$

де, P_z – складова сили різання, в залежності від умов різання [4]
приймаємо $P_z = 0,55 \text{ Н}$;

D_{ϕ} – діаметр фрези, мм.

Крутний момент при підрізанні поверхні В:

$$M_{\text{кр1}} = \frac{113,3 \cdot 100}{2 \cdot 100} = 56,65 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Крутний момент при підрізанні поверхні Г:

$$M_{\text{кр2}} = \frac{264,7 \cdot 150}{2 \cdot 100} = 198,53 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність різання (ефективна) знаходимо за формулою [4]:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт}; \quad (2.16)$$

Потужність різання при підрізанні поверхні В:

$$N_{p1} = \frac{113,3 \cdot 99}{1020 \cdot 60} = 0,18 \text{ кВт};$$

Потужність різання при підрізанні поверхні Г:

$$N_{p2} = \frac{264,7 \cdot 75}{1020 \cdot 60} = 0,32 \text{ кВт}.$$

При чистовому розверчуванні та розточуванні отворів застосовуються середні режими різання. Виходячи з пункту 2.3., а також враховуючи матеріал заготовки (СЧ15 ГОСТ 1412-85), проводимо обробку із застосуванням ЗОР.

2.4.3. Технологічне нормування операцій

В серійному виробництві штучний час обробки деталі знаходиться за формулою [6]:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_d + T_{\text{об}} + T_{\text{п-в}}, \quad (2.17)$$

де T_o – основний час обробки, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{\text{об}}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{п-в}}$ – час перерв і відпочинку, хв.

Основний час визначаємо за формулою [5]:

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{n \cdot S}, \quad (2.18)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання та перебігу, мм;

l_2 – додаткова довжина на знімання пробної стружки, мм.

Основний час на першому переході:

$$T_{o1} = \frac{200 + 0,5 + 0,1}{137,5} = 1,46 \text{ хв}$$

Основний час на другому переході:

$$T_{o2} = \frac{50 + 0,5 + 0,1}{315 \cdot 0,4} = 0,402 \text{ хв}$$

Основний час на третьому переході:

$$T_{o3} = \frac{100 + 1 + 0,2}{160 \cdot 0,7} = 0,904 \text{ хв}$$

Сума часу на всіх трьох операціях:

$$\sum T_o = T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} = 1,456 + 0,402 + 0,904 = 2,762 \text{ хв}$$

Допоміжний час визначимо за формулою [6]:

$$T_d = T_{y-3} + T_{3-в} + T_{y.п} + T_{в.д}, \quad (2.19)$$

де $T_{y-3} = 0,13$ хв – час на установлення та знімання деталі;

$T_{3-в} = 0,051$ хв – час на закріплення та відкріплення деталі;

$T_{y.п} = 0,05$ хв – час на прийоми управління;

$T_{в.д} = 0,87$ хв – час на вимірювання деталі [5].

$$T_d = 0,13 + 0,051 + 0,05 + 0,87 = 1,101 \text{ хв}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою [6]:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг}, \quad (2.20)$$

де $T_{тех} = 0,191$ хв – технічне обслуговування;

$T_{орг} = 0,11$ хв – організаційне обслуговування.

$$T_{об} = 0,191 + 0,13 = 0,321 \text{ хв}.$$

Час перерв і відпочинку складає 6 % від оперативного часу і знаходиться за формулою [6]:

$$T_{в-п} = (T_o + T_d) \cdot 0,06 \quad (2.21)$$

$$T_{в-п} = (1,101 + 0,321) \cdot 0,06 = 0,085 \text{ хв}.$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{шт} = 2,762 + 1,101 + 0,321 + 0,085 = 4,269 \text{ хв}$$

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОГО РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА ТА ОСНОВНИХ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Будова та принцип роботи спеціального розточувального верстата

На середній станині спеціального розточувального верстата встановлені два силові столи, на першому столі кріпиться шпиндельна головка для підрізання торцю В (див. п. 2.2), а на другому платформа, на якій кріпиться одномісне гідравлічне затискне пристосування. Станина бокова права несе на собі силовий стіл на якому закріплена шпиндельна головка для підрізання торцю Г (див. п. 2.2). На лівій боковій станині кріпиться силовий стіл на якому встановлена силова головка, яка є приводом чотирьохшпиндельної коробки. В кожній із трьох станин встановлений диференціальний гідроциліндр приводу повздовжнього переміщення столів.

Поруч з верстатами установлені окремі вузли: станція гідроприводу та шафа з електроапаратурою, які зв'язані з верстатом.

На кожному силовому столі встановлені плити для закріплення на них електродвигунів. Електродвигуни є приводами силової та шпиндельних головок, від них головки одержують обертання за допомогою клинових пасів, які, на відміну від зубчастих передач, добре гасять вібрації шпинделя.

Стіл, на якому кріпиться затискне пристосування, здійснює рухи вгору та вниз, піднімаючи заготовку в крайнє верхнє положення та опускаючи її після обробки, в нижнє крайнє положення, ці переміщення виконуються за допомогою гідропривода. Рухи подачі здійснюються за допомогою ползків, які встановлені на станинах.

Верстат оснащений кабінетною системою захисту робочої зони оператора від попадання стружки та розбризкування ЗОР. Відкривання рухомого попередження робочої зони здійснюється гідромотором за допомогою троса, натягнутого на шків пружинами.

Гідрообладнання верстата складається із станції гідроприводу та гідрокомунікацій до неї, централізованої системи змащування верстата, а також системи охолодження. Гідростанція представляє собою окремий агрегат, до складу якого входять гідравлічний бак, пластинчастий насос, повітряний теплообмінник, фільтр та інші пристрої.

Гідропривід здійснює подачу стола і (за допомогою ряду гідророзподільників з електромагнітним управлінням) управління додатковими гідрофікованими механізмами пристосувань, а саме: механізмом фіксації та розфіксації деталі, механізмом затиску і відкріплення механізмом для підрізання торців, механізмом двопозиційного столу, механізмом автоматичного підналагоджування інструментів, механізмом переміщення системи кабінного захисту робочої зони оператора. Привод всіх цих механізмів здійснюється за допомогою відповідних гідроциліндрів. Гідропривід зв'язаний з верстатом комунікацією із сталевих труб. Розводка труб верхня.

На верстаті застосований гідравлічний спосіб видалення стружки із каналів станини. Крім захисту робочої зони, передбачені кожухи зі змінними кришками, які закривають клинопасові передачі приводів обертання шпинделів, та огороження колекторів і системи управління тиском.

На передній бічній поверхні станини встановлений кронштейн, до якого кріпиться пульт управління верстатом. На середній, боковій правій та боковій лівій поверхнях станини закріплені плити з електродвигунами приводів шпиндельних головок, а у середині її частини - бачок для змащування напрямних. У пазах на задній бічній поверхні станини встановлені кулачки управління циклом роботи верстата, діючі на штирі відповідних мікроперемикачів, зібрані у блок, установлений на колекторі верстата.

Верстат установлюється на фундамент на трьох віброопорах, розташованих у вершинах рівнобедреного трикутника. Поза фундаментом розміщується комплексний гідропривід та електрошкаф.

Механізми верстата працюють по такому циклу:

- 1) Завантаження заготовки;

- 2) Підйом заготовки до верхнього положення і заклинювання повзуна;
- 3) Швидке підведення середньої, правої бічної та лівої бічної головок без обертання інструмента;
- 4) Робоча подача лівої бічної головки, для розточування отворів, із включенням обертів інструмента;
- 5) Робоча подача середньої та правої бічної головок, з включенням обертання інструмента. Ліва бічна головка відведена у вихідне положення;
- 6) Зупинка обертання інструмента середньої та правої головок;
- 7) Швидке відведення середньої та правої бічної головок, в вихідне положення;
- 8) Розклинювання повзуна та опускання столу з обробленою деталлю у вихідне положення;
- 9) Розвантаження обробленої деталі.

Обов'язки оператора зведені до завантаження заготовок та розвантаження оброблених деталей і вмикання верстата на цикл роботи. Всі робочі та допоміжні рухи робочих органів верстата, забезпечуючи взаємні переміщення інструментів і заготовки, необхідні для формоутворення оброблюваних поверхонь, виконуються в автоматичному циклі. Після завершення циклу робочі органи верстата зупиняються у вихідному положенні.

У межах технічної характеристики верстата забезпечене безоступінчасте регулювання швидкості робочих подач, а також зміна довжини робочих та прискорених переміщень, шляхом переналагодження може бути зміненим також автоматичний цикл роботи верстата. Швидкості обертання шпинделів можна змінити, змінивши шківні клинопасових передач.

Електросхемою верстата передбачені такі блокування: автоматичний цикл роботи виконується тільки після зажиму деталей, у вихідному положенні стола огороженні робочої зони, при наявності тиску у гідробабці, нормальній температурі мастила та ін. Оператор може здійснювати розтискання заготовки тільки у тому випадку, коли шпинделі не обертаються. Система кабінного захисту робочої зони заблокована з циклом роботи верстата таким чином, що при

відкритій зоні обробки робота верстата по циклу неможлива. При знятих клинопасових передачах приводів обертання шпинделів або огорожень колектора системи управління циклом (наприклад, при налагодженні інструментів або кулачків управління) подача електроенергії до верстата припиняється.

3.2 Будова та робота уніфікованих вузлів і агрегатів спеціального розточувального верстата

Розроблювальний спеціальний розточувальний верстат складається із уніфікованих та оригінальних вузлів і агрегатів. До перших відносяться станина, напрямні, шпиндельні головки для підрізання торців, шпиндельна коробка, центральний силовий стіл, гідростанція, система змащування, жорсткі гідравлічні упори та інші.

Оригінальними вузлами, які необхідно спроектувати, є приводи обертання шпинделів, гідросистема, затискне пристосування, розточувальні борштанги та оправки, пристосування для виставлення різців на необхідні розміри, пристрої для компенсації зносу різців (автопідналагоджувачі) та інші.

Уніфіковані вузли та агрегати для розроблюваного спеціального розточувального верстата вибираємо в залежності від габаритів оброблюваної деталі та від розмірів технічної оснастки.

3.3. Проектування та розрахунок затискного пристосування

Для закріплення картелу на спеціальному розточувальному верстаті, що розробляється, проектуємо одномісне затискне пристосування з гідравлічним приводом затиску. Установку деталей у пристосування виконуємо згідно схеми базування.

Механізм затискання картелу працює наступним чином:

Масло від гідросистеми подається в без штокову порожнину циліндра 1, при цьому шток 2 переміщує тягу 4 із втулкою 5, на якій нарізані зубці. Переміщення втулки обмежується з двох боків упорними гайками 3, а положення фіксується кінцевими перемикачами 6. Втулка-рейка, переміщуючись, повертає зубчасте колесо 7, яке зв'язане з валом 8. На іншому кінці вала нарізане зубчасте колесо 9, при обертанні якого переміщується центральна качалка 10, яка жорстко з'єднана з повзуном 11. Після натискання на кінцевий перемикач дається команда на подачу масла в без штокову порожнину циліндра 12. При цьому шток циліндра, переміщуючись в ліво, головою упорного гвинта 13 впливає на клин 14. Клин в свою чергу, через ролик 15, який закріплений в качалці 16 надійно заклинює повзун із заготовкою в верхньому положенні. Таких заклинюючих механізмів два, обидва їх циліндра з'єднані паралельно. Принципова схема сил, які діють на заготовку при закріпленні, зображена на рис. 3.1.

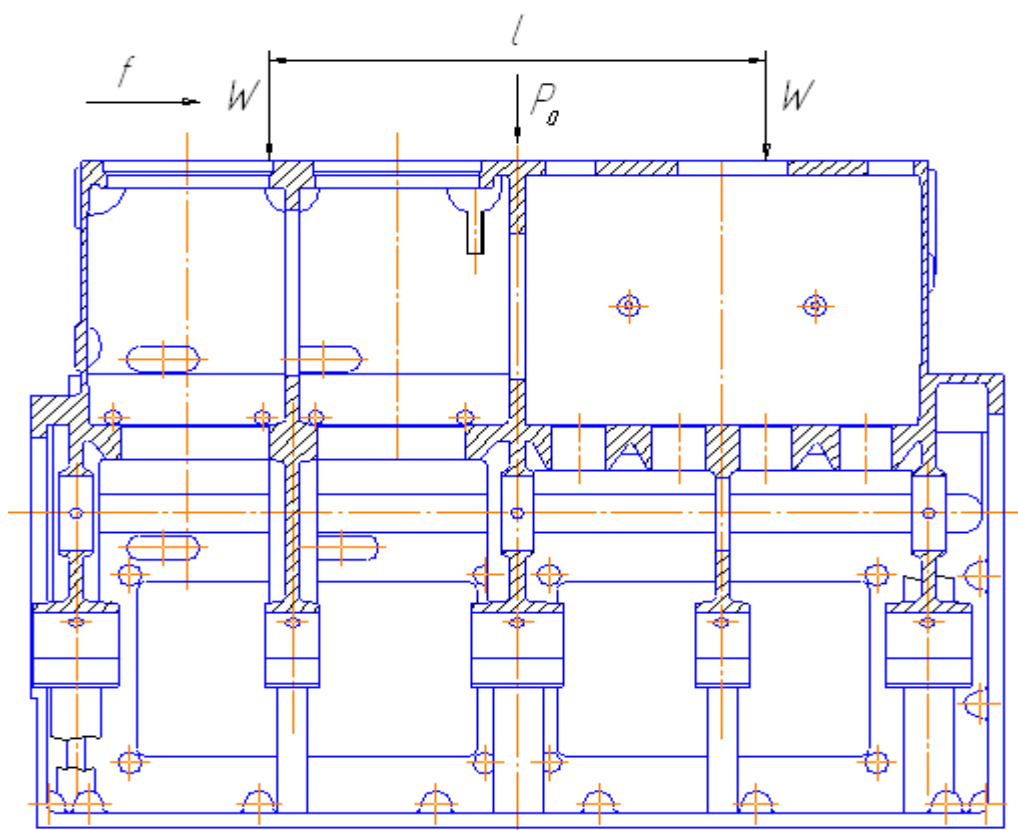


Рис. 3.1. Схема дії сил на заготовку при закріпленні:

W - сила захисту деталі;

P_o - осьова складова сили різання;

l - відстань між затискними важелями, $l = 135\text{мм}$;

f - коефіцієнт тертя у місцях контакту деталі з елементами затискного пристосування, для розточування приймаємо 0,15.

Розраховуємо силу затиску деталі в затискному пристосуванні:

$$W = K_3 \cdot P_o, \quad (3.1)$$

K_3 – коефіцієнт запасу, 1,5...3 приймаємо $K_3 = 2,2$.

Найбільша сила різання виникає при розточуванні чотирьох отворів одночасно Ø34мм, Ø49мм, Ø62мм і Ø22мм. Осьове зусилля при цьому визначається за формулою [10]:

$$P_o = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (3.2)$$

$$P_o = 53,4 + 58,7 + 74,3 + 37 = 223,4 \text{ Н}.$$

Тоді: $W = 2,2 \cdot 223,4 = 491,5 \text{ Н}.$

Момент тертя при розточуванні отворів визначається за формулою [10]:

$$M_T = W \cdot f \cdot l, \quad (3.3)$$

Визначаємо момент тертя:

$$M_T = 491,5 \cdot 0,15 \cdot 135 = 9,9 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр поршня гідроциліндра визначається за формулою [10]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \mu}}, \quad (3.4)$$

де, D – діаметр поршня гідроциліндра, мм

p – тиск масла, $p=0,8$ МПа;

η – ККД враховуючий втрати у пневмоциліндрі, $\eta=0,85...0,9$.

Q – дорівнює силі затиску деталі W .

Тоді визначаємо діаметр поршня гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 491,5}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,85}} = 32,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр поршня гідроциліндра $D=40$ мм, d – діаметр штока, $d=20$ мм. Згідно ГОСТ 15608-81.

3.4. Перевірка трубопроводу гідропривода на умову резонансу

Рівень вібрації в гідросистемі верстата обумовлений пульсацією роботи насоса, сполученням частотних характеристик контрольно-регулюючої апаратури і трубопроводу. При випадковому виборі параметрів трубопроводу тиск насоса на багато разів збільшується, якщо частота пульсації роботи насоса близька до частоти одного з резонансних піків трубопроводу. В гідросистемі верстата довжина трубопроводу невелика, тому можна обмежитися першою формою коливального процесу. Перша резонансна частота трубопроводу [4]:

$$f_1 = \frac{a}{4l}, \quad (3.5)$$

де $a = 1500$ м/с – швидкість звука в маслі;

$l = 7$ м – довжина трубопроводу.

$$f_1 = \frac{1500}{4 \cdot 7} = 54 \text{ Гц.}$$

Частота пульсації витрати насоса [4]:

$$f_n = \frac{z \cdot n}{60}, \quad (3.6)$$

де, $z = 12$ – число робочих елементів (лопаток);

$n = 950$ об/хв – число обертів ротора насоса.

$$f_n = \frac{12 \cdot 950}{60} = 190 \text{ Гц}$$

Отже, частота пульсації майже в 4 рази більше частоти коливань трубопроводу, тому явище резонансу не спостерігається.

3.5. Розробка технічної характеристики верстата

Спроекований спеціальний розточувальний верстат для обробки картера заднього моста буде мати наступну технічну характеристику:

1 Кількість шпинделів, шт.	6
2 Кількість силових головок, шт.	1
3 Кількість шпиндельних головок, шт.	2
4 Кількість силових столів, шт.	4
5 Вид затиску	гідравлічний
6 Завантаження (ручне і автоматичне).....	ручне
7 Кількість електродвигунів, шт.	3
8 Сумарна потужність електродвигунів, кВт	6,4
9 Робочий тиск в гідросистемі, мПа	0,8
10 Об'єм бака з охолоджуючою рідиною, л	200
11 Продуктивність, шт./год	19,2
12 Висота завантаження верстата, мм	1120
13 Габарити (включаючи бак для МОР), мм	3050x3050x1650
14 Вага, кг	14000

3.6. Електрообладнання верстата

До складу електрообладнання входить:

- електрообладнання верстатної частини, що складається з блока датчиків переміщення стола і датчиків положення переднього та заднього огороження робочої зони;

- електрообладнання комплектного гідроприводу, що складається з електродвигунів гідронасосів, вентилятора теплообмінника та електромагнітів гідрозолотників;
- електрообладнання агрегату охолодження, що складається з електродвигунів насосів охолодження та змивання стружки;
- електрообладнання системи змащування напрямних силових столів, що складається з електродвигуна насоса змащування, датчика рівня масла у баку, датчика закінчення циклу змащування;
- окремо електрошафа з апаратурою управління та захисту, програмованим контролером (ПК);
- пульти управління, на які винесено усі органи управління верстатом, селектор режимів, лампи, сигналізації.

Система живлення електрообладнання розрахована на живлення від мережі трифазного змінного струму:

- силові ланки - 50 Гц, 380 В;
- ланки живлення ПК - 50 Гц, 110 В;
- ланки управління, сигналізації, безконтактних датчиків;
- ланки місцевого освітлення - 50 Гц, 24 В.

Схема електрообладнання передбачає такі режими роботи верстата:

1. напіваавтоматичний;
2. налагоджувальний.

3.7. Гідросистема верстата

Гідрообладнання верстата складається з гідроприводу, системи змащування верстата, системи охолодження та гідрокомунікацій.

Гідропривід здійснює робочі подачі та прискоренні переміщення середнього, бічного правого та лівого столів, фіксацією та закріплення деталі у затискному пристосуванні, підрізання торців, переміщення системи кабінетного захисту робочої зони, автоматичне підналагодження інструментів. Привод всіх цих механізмів виконується за допомогою відповідних гідро циліндрів, а

управління ними - за допомогою ряду розподільників з електромагнітним управлінням.

Гідропривід при автоматичному та налагоджувальному циклах роботи верстата живиться від гідростанції. Станція гідропривіда представляє собою окремий агрегат, до складу якого входять гідравлічний бак ємністю 200л, пластмасовий насос подвійної дії БГ 12-24ПМ продуктивністю 50 л/хв., фільтри та ряд інших пристроїв. Для забезпечення роботи механізмів затиску деталі, підрізання торців, силових столів, в яких недопустимі коливання тиску, пов'язані з перехідними процесами у гідросистемі, на базі гідропривода встановлена допоміжна насосна установка з продуктивністю насоса БГ12-32М 5/8 м/хв.

Гідропривід зв'язаний з верстатом комунікацією зі сталейних труб. Розводка труб верхня.

Для змащування верстата використовується централізована змащувальна система 933СПИ-2,5-0ГЗ, забезпечуючи дозовану подачу масла у кожен змащувальну точку з інтервалом часу 30 хвилин. До неї входять змащувальна станція типу ИС-2,5/0,5 та однолінійним живленням типу МИ.

Масло від насоса змащування надходить у живильник, а потім по трубопроводах до змащувальних точок. Шток живильника здійснює зворотно-поступальний рух, нажимаючи при цьому на мікро перемикач, який видає сигнали в електросистему верстата, здійснюючу управління та контроль за роботою системи змащування.

Система охолодження, принципова гідравлічна схема якої зображена на рисунку 3.2, призначена для передачі ЗОР у зону різання для охолодження інструмента, зливання стружки, а також для відстою та фільтрування ЗОР. Агрегат охолодження представляє собою зварний бак, на кришці якого встановлені відцентровані насоси Н1, Н2, Н3, запірні вентилі ВН1, ВН2, і лотковий фільтр Ф1.

На верстаті застосований гідравлічний спосіб видалення стружки з каналів станини, ЗОР, що змивається з верстата зі стружкою, попадає у лотковий фільтр

Ф1, де затримується крупна стружка, а рідина через отвори у лотку та кришці агрегату попадає у перший відсік, де встановлений насос Н1 продуктивністю 100 л/хв., який періодично вмикається і по трубопроводу подає ЗОР у канали станини з накопиченою в них стружкою. Потім рідина змиває стружку з каналів у лотковий фільтр. Із першого відсіку через верхній край перегородки ЗОР переливається у більший другий відсік, де вона відстоюється, відфільтровується через сітку Ф2, після чого двома насосами Н2 і Н3 подається до інструментів. Потім від обох насосів регулюються вентилями ВН1 і ВН2.

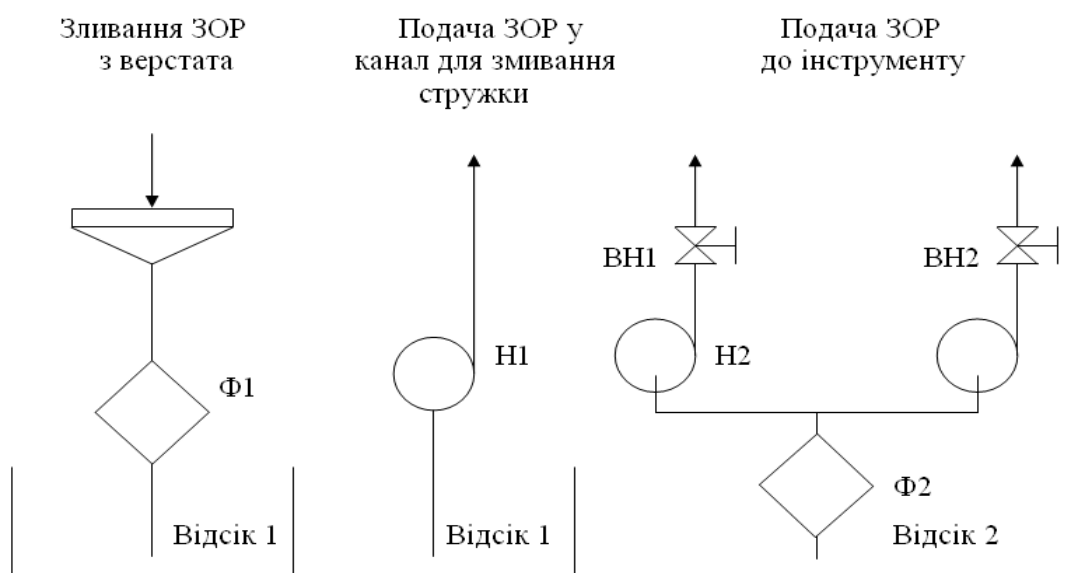


Рис. 3.2. Принципова гідро схема системи охолодження верстата

3.8. Підготовка верстата до початкового пуску

Процес підготовки агрегатного верстата складається з наступних етапів:

- ознайомлення з технічним паспортом верстата, інструкцією з експлуатації, управління верстатом і т.д.;
- вивчення технологічного процесу обробки деталей на верстаті;
- установка насадок і пристосувань;
- установка ріжучого інструменту;
- настройка циклів і режимів обробки;
- змащення верстата;

- випробування верстата на холостому ході;
- перевірка наявності СОЖ;
- випробування верстата під навантаженням;
- перевірка геометричних розмірів деталі на відповідність з кресленням і технічними вимогами.

Головним вузлом в агрегатному верстаті є силова головка. Настроювання силової головки на різні режими різання проводиться заводом - виготовлювачем по заданому циклу залежно від вимог, обумовлених технічним завданням. Деталь, що підлягає обробці закріплюється в пристосуванні. Пристосування встановлюється на столі верстата, перевіряється точність його установки, після чого його кріплять до столу верстата з подальшою повторною перевіркою на точність установки. Після установки і закріплення пристосування необхідно провести пробну обробку однієї деталі, закріпленої у встановленому пристосуванні. Перед обробкою першої деталі наладчик, ретельно змащує верстат, заповнює всі ємкості мастилом, перевіряє циркуляцію змащувальної рідини при включенні агрегатного верстата в холостому ході, підводить ЗОР до деталі, що оброблюється, включає насос і лише при повній справності верстат може бути переданий для експлуатації.

В процесі експлуатації частини силових головок верстата, що труться, піддаються змащенню за допомогою плунжерного насоса. Резервуар для мастила розташований в нижній частині головки. Для забезпечення нормальної роботи всіх механізмів необхідно виконувати наступні умови:

- масло необхідно заливати через фільтрову сітку;
- зміну масла рекомендується робити через кожних 10 днів;
- поповнювати масло необхідно через кожних 3 дні;
- разі зупинки насоса необхідно зупинити роботу головки і верстата і лише після ремонту насоса включити головку і верстат;
- за наявності на силовій головці багатошпіндельної насадки необхідно застосовувати набивання густим мастилом змазки УС-2 (ГОСТ 1033-81);

- для головки необхідно застосовувати індустріальне масло (ГОСТ 1707-81);
- підшипники шпінделя необхідно змащувати через кожних 10 днів мастилом УС-2.

В процесі експлуатації силової головки і верстата може виникнути ряд проблем:

1. Піноль головки не повертається в початкове положення; причиною може бути вихід з ладу перемикача; для усунення цієї проблеми необхідно відвернути кришку перемикача і перевірити контакти на спрацьовування, якщо перемикач не працює, його слід замінити;

2. Шпіндель обертається, а піноль нерухома. Це означає порушено регулювання запобіжної муфти. Необхідно відрегулювати і закріпити регулювальними гайками муфту;

3. Рясно тече масло по шпінделю або пінолі. Це означає, що головка має погане ущільнення, яке підлягає заміні;

4. На автоматичному циклі не відбувся поворот столу верстата. Причина неполадки - одна з пінолей силових головок не повернулася в початкове положення або мікровимикач однієї з головок не виправлений. Для усунення цієї причини необхідно визначити характер несправності шляхом перевірки роботи вузла на налагоджувальному циклі або вручну.

5. Не вимикається подача пінолі силової головки. Це означає, що планшайба ділильного столу не зафіксована. Для усунення проблеми необхідно піджати пружину фіксатора столу або відрегулювати блок контактів кінцевого вимикача

ВИСНОВКИ

В роботі виконано розробку проєкту різцевої головки спеціального розточувального верстата.

Для досягнення мети виконано наступні завдання:

- виконано аналітичний огляд і вибір напрямку роботи;
- розроблено технологію обробки картера на проєктованому верстаті;
- розроблено конструкції спеціального розточувального верстата та основних його характеристик;
- проведено розрахунки відповідних силових вузлів;
- розроблено відповідну конструкторську документацію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Модульно-параметричний принцип розробки проектів шестеренних гідравлічних машин. / Апаракін А.Р. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). – С. 51-58.
2. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
3. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164
4. Щербина К.К. Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона / К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 31-38.
5. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
6. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
7. Кириченко А. М. Аналіз кінематики верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури "біпод" / А. М. Кириченко, Л. В. Ленченко,

- С. М. Заїка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - Тернопіль : ТДТУ, 2008. - № 2. - С. 74-81
8. Кириченко А. М. Дослідження кінематики трьохкоординатного верстата з комбінованою структурою / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, Л. В. Ленченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград : КНТУ, 2008. - Вип. 20. - С. 97-103.
9. Кириченко А. М. Визначення силових характеристик приводів обладнання з механізмами паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДПУ, 2008. - Вип. 5 (52), ч. 2. - С. 50-53.
10. Заїка С. М. Точність верстатів із плоскими механізмами паралельної структури / С. М. Заїка, А. М. Кириченко // Вісник Сумського державного університету. Серія "Технічні науки". - Суми : СумДУ, 2010. - № 4. - С. 19-23.
11. Кириченко А. М. Особливі положення плоских механізмів паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, А. М. Федотьєв // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДУ, 2010. - Вип. 5 (64), ч. 1. - С. 94-99.
12. Щербина К. Динамічний аналіз кульково-клинового хону в зоні малих переміщень / Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка С., Масляніков В. // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2024. - №3 (337). - С.250-254.
13. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.
14. Щербина К., Заїка А., Заїка С., Мажара В., Скібінський Я. Управління точністю нарізання черв'ячних коліс збірними черв'ячними фрезами з поділенням

на дві частини профілем інструментальної рейки // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.364-370.

15. Заїка, С., Заїка, А., Лисенко, О., & Скібінський, Я. (2025). Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну деформуючим протягуванням. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 357(5.1), 167-174.