

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

Підвищення точності і продуктивності обробки
отворів при свердлінні корпусу в залежності від
діаметру інструменту і твердості матеріалу

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Щербачук Назар Олександрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2024 р.

к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Щербачука Назара Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення точності і продуктивності обробки отворів при свердлінні корпусу в залежності від діаметру інструменту і твердості матеріалу», керівник кваліфікаційної роботи магістра Божко Тетяна Євгенівна к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» грудня 2023 р., № 452/01-02

2. Строк подання студентом роботи 1.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація корпусу 00.011, креслення деталі корпусу 00.011, нормативні дані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальна частина. 2. Технологічна частина. 3. Конструкторська частина. 4. Наукова частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення заготовки корпус 00.011 1л - ф.А1; Пристрій верстатний складальне креслення 1л - ф.А1; Пристрій для контролю складальне креслення 1л - ф.А2; Карта налагодження 2л - ф.А2.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.07.2024 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальна частина</i>	<i>22.10.2024</i>	
2.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>1.11.2024</i>	
3.	<i>Технологічна частина</i>	<i>12.11.2024</i>	
4.	<i>Наукова частина</i>	<i>22.11.2024</i>	
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>29.11.2024</i>	
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент

_____ (підпис)

Щербачук Н.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Божко Т.Є.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У машинобудуванні показники якості виробів тісно пов'язані з точністю обробки деталей машин. Особливо складною технологією є виготовлення глибоких отворів. Важливим являється оцінювання якості глибоких отворів, враховуючи існуюче обладнання, інструмент, матеріал та оснащення, адже технологічна підготовка виробництва потребує значних ресурсів та часу. Тому підвищення точності і продуктивності обробки отворів при свердлінні є актуальною науковою і практичною проблемою.

В роботі розглянуто питання закономірності зміни точності обробки від діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні отворів. Наведено математичну модель залежності полів розсіяння за розміром від бази та по позиційному відхиленню осі отвору.

Розроблено технологічний процес механічної обробки корпусу. Спроектовано пристрої для свердління. Спроектовано пристрій для контролю.

Ключові слова: технологічний процес, свердління, отвір.

ANNOTATION

In mechanical engineering, product quality indicators are closely related to the accuracy of machining machine parts. The manufacture of deep holes is a particularly complex technology. It is important to assess the quality of deep holes, taking into account the existing equipment, tools, materials and equipment, because technological preparation of production requires significant resources and time. Therefore, increasing the accuracy and productivity of hole machining during drilling is an urgent scientific and practical problem.

The paper considers the issue of the regularity of changes in machining accuracy from the tool diameter and material hardness during drilling holes. A mathematical model of the dependence of scattering fields on the size from the base and on the positional deviation of the hole axis is presented.

A technological process for machining the housing has been developed. Devices for drilling have been designed. A device for control has been designed.

Key words: technological process, drilling, hole.

ЗМІСТ

стр.

	Вступ.....	6
1	Загальна частина.....	8
1.1	Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	8
1.2	Аналіз об'єкта виробництва.....	13
1.3	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	14
1.4	Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	16
2	Технологічна частина.....	22
2.1	Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки	22
2.2	Вибір методу обробки поверхонь.....	23
2.3	Вибір та розрахункове обґрунтування баз.....	24
2.4	Вибір технологічного маршруту обробки деталі.....	27
2.5	Розрахунок припусків	30
2.6	Визначення режимів різання і технологічного обладнання....	35
2.7	Нормування технологічного процесу.....	39
3	Конструкторська частина.....	42
3.1	Пристрій для свердління.....	42
3.2	Пристрій для контролю	47
4	Наукова частина.....	49
4.1	Проведення експерименту.....	49
4.2	Математична модель розрахунку впливу діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні отворів.....	52
	Висновки.....	60
	Список використаних джерел.....	62
	Додаток.....	65

ВСТУП

Актуальність проблеми. У машинобудуванні показники якості виробів тісно пов'язані з точністю обробки деталей машин. Отримані при обробці розмір, форма і розташування елементарних поверхонь визначають фактичні зазори і натяги в з'єднаннях деталей машин, отже, технічні параметри продукції, що впливають на її якість, надійність і економічні показники виробництва і експлуатації. Для досягнення такого рівня якості комплектуючих і деталей необхідно застосування спеціального технологічного обладнання, високоточних засобів вимірювальної техніки, спеціального ріжучого інструменту, високотехнологічного та багатоопераційного технологічного процесу і висока кваліфікація робітників.

Особливо складною технологією є виготовлення глибоких отворів, так як крім технологічної системи (верстат, пристосування) впливають безліч інших факторів, адже для їх виготовлення застосовується складне багатопозиційне обладнання складне і багатоелементне оснащення. Складність технології затрудняє забезпечення повної взаємозамінності координат отворів, що являється важливим показником якості деталей. Адже взаємозамінність – головна умова складання деталей у вузли, забезпечення уніфікації та агрегативання.

Виготовлення глибоких отворів актуально в машинобудуванні, приладобудуванні, автомобілебудуванні, сільгоспмашинобудуванні, верстатобудуванні, авіаційної промисловості та ін. Основними деталями, в яких є зазначені отвори, є деталі паливної апаратури, корпусу, вали, осі, втулки приладів і двигунів. Згідно з існуючими статистичними даними, частка отворів діаметром від 1 мм до 6 мм, у яких відношення глибини до діаметру отворів більше трьох ($l > 3d$), складає в середньому 38%.

Важливим являється оцінювання якості глибоких отворів на етапі проектування, тобто на етапі прийняття рішення про можливість забезпечення їх повної взаємозамінності, враховуючи існуюче обладнання, інструмент, матеріал

та оснащення, адже технологічна підготовка виробництва потребує значних ресурсів та часу.

Тому підвищення точності і продуктивності обробки отворів при свердлінні є актуальною науковою і практичною проблемою.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення точності і продуктивності обробки глибоких отворів при свердлінні в залежності від діаметру інструменту і твердості матеріалу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- шляхом аналізу літературних джерел виявити проблеми впливу діаметру інструменту і твердості матеріалу на точність обробки при свердлінні деталей конструкційного призначення;

- провести експериментальні дослідження залежності точності обробки глибоких отворів від діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні.

Об'єктом дослідження - технологічний процес свердлінні корпусу
Предмет дослідження – закономірність зміни точності обробки від діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні корпусу.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі наукових положень технології машинобудування, теорії різання матеріалів, системного аналізу, методів оптимізації. Експериментальні дослідження проводилися з використанням фізичного моделювання, сучасних методик математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Експериментально досліджено залежність точність обробки глибоких отворів від діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні. Розроблено математичну модель залежності полів розсіяння за розміром від бази та по позиційному відхиленню осі отвору.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри “Прикладна механіка”, науково-технічній конференції молодих учених та студентів ЛНТУ.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи

Точність більшості виробів машинобудування і приладобудування є найважливішою характеристикою їх якості, оскільки сучасні машини не можуть функціонувати при недостатній точності їх виготовлення у зв'язку з виникненням додаткових динамічних навантажень і вібрацій, які порушують нормальну роботу машин і викликають їх руйнування, а сучасні прилади не дозволяють забезпечити необхідну точність вимірювань [8].

Способи глибокого свердління і чорнового розточування мають ряд загальних особливостей, з якими значною мірою пов'язані труднощі, що виникають в процесі обробки:

1) примусове відведення стружки з отвору потоком мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) або якогось іншого робочого середовища. Порушення безперервного відведення стружки призводить до порушення або припинення процесу обробки;

2) базування робочої частини інструменту під час роботи на поверхню обробленої частини отвору. При неправильному способі базування можливі виникнення дефектів отвору, посилення вібрацій, підвищений знос інструменту;

3) мала жорсткість технологічної системи «верстат, пристосування, інструмент, заготівля» (ВПЗ), що є перешкодою для підвищення продуктивності, оскільки при підвищенні режимів різання в системі виникають крутильні і поперечні коливання (останні є до того ж джерелом виникнення дефектів отвору). Тому в технології обробки глибоких отворів операціям першої групи приділяється більше уваги.

Зростання номенклатури деталей з глибокими отворами, розширення діапазону їх діаметрів і відношень l/d , а також збільшення обсягу випуску вимагали вдосконалення способів їх обробки, що забезпечують високу продуктивність, економічність і точність.

На операціях глибокого свердління і чорнового розточування утворюються характерні дефекти, що істотно проявляються лише при обробці глибоких отворів. До них відносяться відведення і непрямолінійність осі глибокого отвору, ограновування глибокого отвору і хвилястість профілю подовжного перерізу.

На рис. 1.1 графічно представлено відведення і непрямолінійність осі для випадку, коли дійсна вісь отвору є плоскою кривою, а заготівля має велику жорсткість. Вісь, що проходить через центри базових шийок А і Б, є теоретичною віссю заготівлі. Оскільки заготівля має велику жорсткість, то під час обробки вона обертається відносно своєї теоретичної осі. Тоді відведення осі в перерізі I - I буде рівний Δy_{I-I} , а в перерізі II - II на торці заготівлі - Δy_{II-II} .

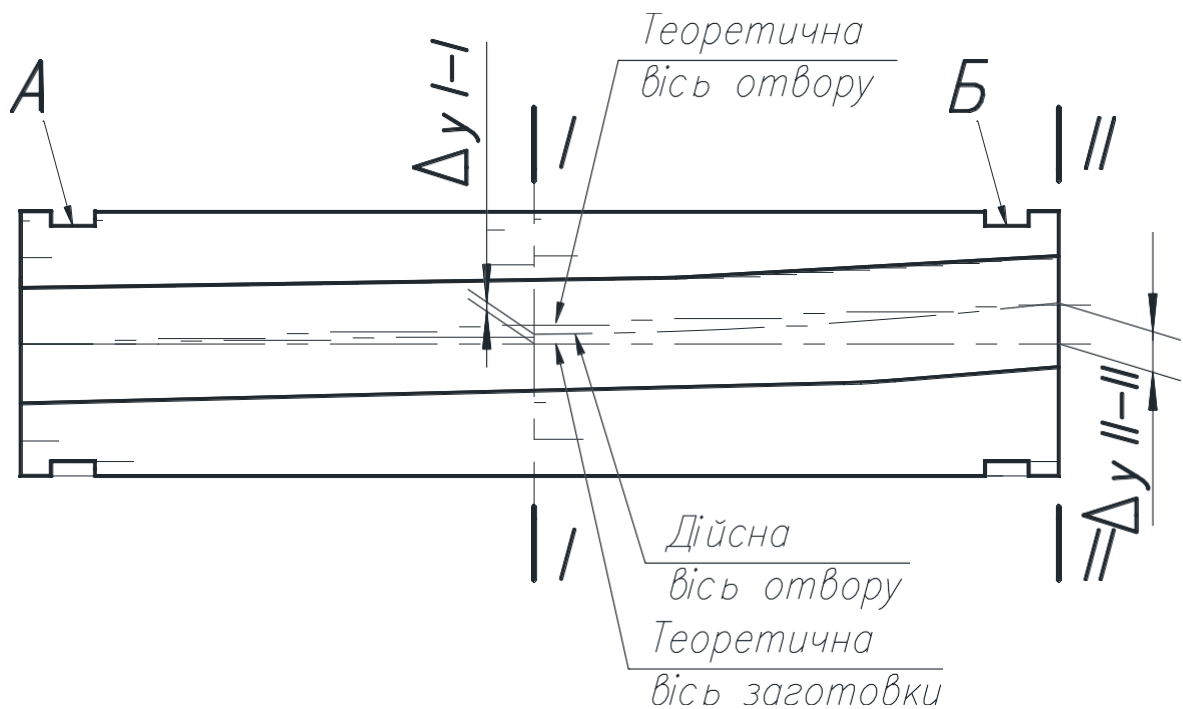


Рисунок 1.1 - Варіанти розташування відведення і непрямолінійності осі глибокого отвору

Непрямолінійність осі, що визначається максимальною відстанню на довжині отвору між дійсною і теоретичною осями отвору, в даному випадку буде Δn . Місцезнаходження цього перерізу по довжині заготівлі визначається місцезнаходженням максимального значення Δn . Процес утворення відведення і

непрямолінійності осі дуже складний, залежить від великого числа чинників, природа яких різноманітна.

Згідно з дослідженнями, найбільший вплив на утворення відведення і непрямолінійності осі робить биття поверхні обробленої частини отвору, а також биття кондукторної втулки маслоприймача, якщо вона обертається. Биття отвору у свою чергу може викликатися рядом причин, відведенням осі і викривленням заготівлі внаслідок перерозподілу залишкової напруги в процесі обробки отвору, деформацій заготівлі при закріпленні на верстаті та ін. Тому як на практиці, так і в подальшому викладі увага приділяється усуненню причин, що призводять до биття поверхні обробленого отвору.

«Ограновування глибокого отвору - відхилення від круглості, при якому реальний профіль є багатогранною фігурою з числом граней, що іноді змінюється по довжині отвору, а вершини багатогранника при цьому часто розташовуються по гвинтовій лінії. Процес утворення ограновування дуже складний і протікає при дії ряду чинників. Ограновування утворюється лише при поперечних коливаннях інструменту з частотою, близькою до частоти відносного обертання заготівлі і інструменту. При цьому на утворення ограновування впливають частота власних коливань інструменту, яка у свою чергу змінюється у міру обробки отвору, оскільки змінюється схема закріплення інструменту (змінюється взаємне розташування опор по довжині інструменту); конструктивні параметри інструменту; похибки налаштування технологічної системи на операцію; кінематична схема обробки (обертається або не обертається інструмент) та ін. Механізм утворення ограновування і міри по відвертанню її виникнення розглядаються в» [18].

Хвилястість профілю подовжнього перерізу - відхилення профілю подовжнього перерізу, при якому ті, що утворюють, мають регулярну хвилястість, що призводить до ступінчастості отвору з незначними перепадами діаметру. Цей дефект утворюється при неспівпаданні діаметру інструменту, що вступає в роботу, з діаметром отвору, на поверхню якого він спирається своїми направляючими елементами.

Для зменшення хвилястості необхідно домагатися рівності діаметрів інструменту і заправного отвору і отвору в кондукторній втулці, а також того, щоб усі інструменти, використовувані при зміні упродовж робочого ходу, мали однаковий діаметр. Окрім розглянутих вище дефектів форми отвору і розташування його осі, при обробці глибоких отворів виникають дефекти, що впливають на якість поверхні: задири, великі подряпини і підвищена шорсткість поверхні. Задири і подряпини часто виникають внаслідок попадання стружки під направляючі елементи, а також при розриві плівки МОР.

«Найбільш характерним і таким, що часто зустрічається, а також найбільш важливим дефектів при обробці глибоких отворів є його відведення. Серед головних причин відведення слід назвати наступні:

- копіювання свердлувальним (розточувальним) інструментом похибки розташування осі отвору, наявної в місці контакту що направляють з поверхнею просвердленого(розточеного) отвору;

- вигин стержня інструменту із-за поперечних коливань інструменту з частотою обертання заготівлі (для обробки необертальним інструментом). Ці коливання виникають (при свердлінні і розточуванні) внаслідок базування інструменту на поверхню отвору, що має радіальне биття (кінематичне обурення інструменту) і із-за різнооброблюваності матеріалу по перерізу заготовки, а також нерівномірності припуску, що знімається, при розточуванні (силове обурення інструменту);

- поперечні коливання заготівлі із-за її деформації при установці і обробці;

- вигин стержня інструменту під дією сили його ваги, нерівномірності припуску, що знімається, і різотвердості матеріалу заготівлі при обробці інструментом, що обертається, в необертальній заготівлі» [15].

Відведення осі інструменту, що викликається цими причинами може ослаблятися або посилюватися під впливом значного числа чинників, пов'язаних з конкретними умовами обробки. До них відносяться:

- 1) побудова технологічного процесу, наявність термообробки і її місце в технологічному процесі виготовлення деталі, наявність обертання інструменту,

довжина обробки, похибки в первинному напрямі інструменту і взаємною розташування опор стержня інструменту;

2) зміщення направляючої втулки передньої стойки (задній частині маслоприймача), слабка жорсткість стержня інструменту, взаємне розташування опор заготівлі, матеріал заготівлі, режими різання, похибки заточування різальних лез або їх установки в осьовому напрямі, зносостійкість і жорсткість направляючих при обробці інструментом без визначеності базування, конструктивні параметри інструменту (кут розташування в поперечному перерізі калібруючої вершини різця по відношенню до направляючих і кут між направляючими), відстань від калібруючої вершини різця в осьовому напрямі до передніх кінців направляючих, довжина направляючих, головний кут в плані різця.

У перерахованих роботах при побудові різних моделей утворення відведення стружки враховувався вплив обмеженого числа чинників. Проста модель відведення осі інструменту ґрунтована на розгляді відведення за 1 оборот заготівлі, який називатимемо елементарним відведенням. Моделі елементарних відведень - це образотворчі моделі і моделі у вигляді формул і рівнянь.

Моделі елементарних відведень застосовують в основному для вивчення впливу одного чинника в умовах дії якої-небудь однієї причини відведення. Такими чинниками є: кут розташування калібруючої вершини різця що відносно направляючих в однолезових розточувальних голівках за наявності биття поверхні отвору, на якій базується інструмент; кут між різцями, а також кут між різцями і направляючими в дволезових голівках за наявності биття поверхні отвору, на якій базується інструмент, пружність інструменту і пружність оброблюваного матеріалу за наявності поперечної різнооброблюваності або нерівномірності припуску, що знімається, пружна деформація і зношування пружних і твердосплавних направляючих одно- і дволезових розточувальних голівок, працюючих по методу ділення товщини зрізу, за наявності нерівномірності припуску, що знімається, за 1 оборот заготівлі, знос різця одно- і дволезових голівок з пружними і твердосплавними направляючими за наявності нерівномірності припуску, що знімається, за 1 оборот заготовки.

Як інструмент досліджень моделі елементарних відведень осі отвору, незважаючи на їх простоту, мають наступні недоліки:

- відображають одну сторону складного і багатогранного процесу утворення відведення осі отвору, в якому усі чинники взаємозалежні і діють одночасно;

- дозволяють лише якісно досліджувати вплив того або іншого чинника в умовах дії іншого, дати кількісну оцінку впливу досліджуваних чинників вони не дозволяють;

- не дозволяють передбачити поведінку інструменту в процесі обробки;

- з розгляду виключається пружна система ВПД, що відіграє важливу роль в процесі утворення відведення осі отвору; розглядається плоска система в площині, перпендикулярній до осі інструменту.

Виробничі дослідження точності обробки деталей на багатопозиційних верстатах показали, що точність розмірів між оброблюваними отворами, з урахуванням позиційного відхилення їх осей забезпечується не завжди. З іншого боку, встановлено, що, як правило, точність обробки деталей, що забезпечується спеціальним оснащенням, а саме, багатошпіндельними насадками, кондукторами, пристосуваннями, не пов'язана з їх параметрами точності. В зв'язку з цим відзначається, що незважаючи на великий досвід, накопичений в результаті досліджень технологічних процесів автоматизованого виробництва, питання забезпечення якості вивчені недостатньо.

1.2 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, ТУ

Деталь – корпус 00.011 – виготовляється із Сталі 40Х

Хімічний склад марки сталі 40Х включає наступні складові:

Вуглець (С): 0,36-0,44%;

Кремній (Si): 0,17-0,37 %;

Марганець (Mn): 0,50-0,80 %;

Фосфор (P): не більше 0,035 %;

Сірка (S): не більше 0,035 %;

Хром (Cr): 0,80-1,10 %;

Нікель (Ni): не більше 0,30 %;

Мідь (Cu): не більше 0,30 %;

Залізо (Fe): близько 97 %.

Технічні вимоги на деталь повністю відповідають її службовому призначенню. Найбільш важливими задачами, які необхідно вирішувати в процесі виготовлення корпусу є:

а) Забезпечення відповідних кутів нахилу отворів, відносно базових площин.

б) Забезпечення необхідної точності виливка.

в) Забезпечення необхідної шорсткості поверхонь №4; №10; №2; №7; №5.

Решта технічних вимог та норм точності не є значними.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісна оцінка технологічності

Деталь – корпус – виготовляється із Сталі 40Х литтям у кокіль, тому конфігурація зовнішнього контуру і внутрішніх поверхонь значних труднощів при отриманні заготовки не викликає. Але навіть при вище названих умовах формовка повинна проводитися з використанням стержнів, за допомогою яких формуються отвори.

В даній конструкції нетехнологічними є поверхні 7 і 8 ($\text{Ø}45\text{H}7 \text{ Ra}=0,63$). Вона повинна бути виконана до точності 9 квалітету, а суміжні з нею поверхні обробляються до 10 квалітету, що призводить до певних незручностей у наладці інструменту.

З іншого боку, деталь достатньо технологічна, має хороші базові поверхні для першочергових операцій.

Кількісна оцінка технологічності

Проведемо кількісну оцінку технологічності по коефіцієнтах уніфікації, стандартизації, точності обробки поверхні, якості обробки (шорсткості поверхонь) та по коефіцієнту використання матеріалу.

Коефіцієнт уніфікації циліндричних елементів:

$$K_{ун.цил.ел.} = \frac{Q_{ун.цил.ел.}}{Q_{заг.ел.}} > 0,6,$$

де $Q_{ун.цил.ел.}$ - кількість уніфікованих циліндричних елементів;

$Q_{заг.ел.}$ - загальна кількість елементів.

$$K_{ун.цил.ел.} = \frac{10}{12} = 0.83 > 0,6 \text{ отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт уніфікації плоских елементів:

$$K_{ун.пл.ел.} = \frac{Q_{ун.пл.ел.}}{Q_{заг.ел.}} > 0,6,$$

де $Q_{ун.пл.ел.}$ - кількість уніфікованих плоских елементів;

$Q_{заг.ел.}$ - загальна кількість елементів.

$$K_{ун.пл.ел.} = \frac{5}{7} = 0.71 > 0,6, \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт точності обробки поверхонь:

$$K_{тч.} = \left(1 - \frac{1}{A_{сер.}}\right) > 0,8,$$

де $A_{сер.}$ - середня точність обробки.

$$A_{сер.} = \frac{4 \cdot 10 + 5 \cdot 3 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 4 + 11 \cdot 5 + 12 \cdot 6}{27} = 9.3$$

$$K_{тч.} = \left(1 - \frac{1}{9.3}\right) = 0.89 > 0,8, \text{ отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{m_{д.}}{m_{заг.}}$$

де, $m_{д.}$ - маса деталі;

$m_{заг.}$ - маса заготовки.

$$K_{в.м.} = \frac{0.8}{1.2} = 0.66,$$

Деталь є технологічною, оскільки вона задовольняє всі умови пред'явлені до неї.

1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Для визначення організаційної форми виробництва необхідно зіставити середню норму часу $T_{шт.-к.сер.}$ з розрахунковим тактом випуску T_B :

$$K_{в.} = \frac{T_{шт.-к.сер.}}{T_B}$$

Укрупнено за наближеними формулами визначаємо T_o - основний час на кожний технологічний перехід. Для кожної технологічної операції визначаємо T_o як суму основного часу за всіма технологічними переходами, які входять в дану операцію.

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = T_o \varphi_k, \text{ де}$$

φ_k – поправочний коефіцієнт, який залежить від типу виробництва і методу обробки поверхні [1].

005 Фрезерна операція

1. Фрезерувати поверхню 1 начорно.

$$T_{o1} = 7 \cdot L = 7 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 0.63 \text{ хв}$$

2. Фрезерувати поверхню 1 начисто.

$$T_{o2} = 4 \cdot L = 4 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 0.36 \text{ хв}$$

Основний і штучно-калькуляційний час:

$$T_o = 0.63 + 0.36 = 0.99 \text{ хв}$$

$$T_{шт-к} = 0.99 \cdot 1.51 = 1.495 \text{ хв}$$

010 Фрезерна операція

1. Фрезерувати поверхню 2 начорно.

$$T_{o1} = 7 \cdot L = 7 \cdot 74 \cdot 10^{-3} = 0.518 \text{ хв}$$

2. Фрезерувати поверхню 6 начорно.

$$T_{o2} = 7 \cdot L = 7 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0.35 \text{ хв}$$

Основний і штучно-калькуляційний час:

$$T_o = 0,548 + 0,35 = 0.868 \text{ хв}$$

$$T_{u-k} = 0,868 \cdot 1.51 = 1.311 \text{ хв}$$

015 Свердлильна

1. Послідовно свердлити 2 отвори 3

$$T_o = 0.52 \cdot d \cdot l \cdot 2 = 0.52 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.094 \text{ хв}$$

$$T_{u-k} = 0,094 \cdot 1.3 = 0.122 \text{ хв}$$

020 Фрезерна операція

1. Фрезерувати поверхню 4 начорно.

$$T_{o1} = 7 \cdot L = 7 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.56 \text{ хв}$$

2. Фрезерувати поверхню 4 начисто.

$$T_{o2} = 4 \cdot L = 4 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.32 \text{ хв}$$

3. Фрезерувати поверхню 5 начорно.

$$T_{o3} = 7 \cdot L = 7 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.56 \text{ хв}$$

4. Фрезерувати поверхню 5 начисто.

$$T_{o4} = 4 \cdot L = 4 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.32 \text{ хв}$$

Основний і штучно-калькуляційний час:

$$T_o = (0,56 + 0,32) \cdot 2 = 1.76 \text{ хв}$$

$$T_{u-k} = 1.76 \cdot 1.51 = 2.658 \text{ хв}$$

025 Розточувальна операція

1. Розточити начорно поверхні 7, 8

$$T_{o1} = 0.3 \cdot d \cdot l = 0.3 \cdot 45 \cdot 135 \cdot 10^{-3} = 1.822 \text{ хв}$$

2. Розточити начисто поверхні 7, 8

$$T_{o2} = 0.43 \cdot d \cdot l = 0.43 \cdot 45 \cdot 135 \cdot 10^{-3} = 2.612 \text{ хв}$$

3. Розточити тонко поверхню 8

$$T_{o3} = 0.21 \cdot d \cdot l = 0.21 \cdot 48 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0.081 \text{ хв}$$

Основний і штучно-калькуляційний час:

$$T_o = 1.822 + 2.612 + 0.081 = 4.515 \text{ хв}$$

$$T_{u-k} = 4.515 \cdot 1.5 = 6.772 \text{ хв}$$

030 Агрегатна

1. Послідовно свердлили 2-а отвори 10

$$T_{o1} = 0.52 \cdot d \cdot l \cdot 2 = 0.52 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.114 \text{ хв}$$

2. Послідовно розсвердлили 2-а отвори 11

$$T_{o2} = 0.31 \cdot d \cdot l \cdot 2 = 0.31 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.02 \text{ хв}$$

3. Послідовно свердлили 6-ть отворів 9

$$T_{o3} = 0.52 \cdot d \cdot l \cdot 6 = 0.52 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0.156 \text{ хв}$$

4. Послідовно свердлили 6-ть отворів 14

$$T_{o4} = 0.52 \cdot d \cdot l \cdot 6 = 0.52 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0.156 \text{ хв}$$

5. Послідовно нарізати різьбу в 6-ти отворах 9

$$T_{o5} = 0.4 \cdot d \cdot l \cdot 6 = 0.4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0.144 \text{ хв}$$

6. Послідовно нарізати різьбу в 6-ти отворах 14

$$T_{o6} = 0.4 \cdot d \cdot l \cdot 6 = 0.4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0.144 \text{ хв}$$

7. Послідовно свердлили 2-а отвори 12

$$T_{o7} = 0.52 \cdot d \cdot l \cdot 2 = 0.52 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.052 \text{ хв}$$

8. Послідовно нарізати різьбу в 2-х отворах 12

$$T_{o8} = 0.4 \cdot d \cdot l \cdot 2 = 0.4 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.048 \text{ хв}$$

9. Свердлили отвір 13

$$T_{o9} = 0.52 \cdot d \cdot l = 0.52 \cdot 17.5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0.027 \text{ хв}$$

10. Розгорнути отвір 13

$$T_{o10} = 0.43 \cdot d \cdot l = 0.43 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0.019 \text{ хв}$$

11. Нарізати різьбу в отворі 13

$$T_{o11} = 0.4 \cdot d \cdot l = 0.4 \cdot 5 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0.018 \text{ хв}$$

Основний і штучно-калькуляційний час:

$$T_o = 0.114 + 0.02 + 0.156 + 0.156 + 0.144 \cdot 2 + 0.052 + 0.048 + 0.027 + 0.019 + 0.018 = 0.898 \text{ хв}$$

$$T_{u-k} = 0.898 \cdot 1.3 = 1.167 \text{ хв}$$

Знайдемо середній штучно – калькуляційний час

$$T_{шт.к} = \frac{\sum T_{шт.к}}{n};$$

$$T_{шт.к} = \frac{13.525}{6} = 2.25;$$

Вибираємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання $\eta_{з.н.}$. Для серійного виробництва 0,75-0,85. Вибираємо $\eta_{з.н.} = 0,8$.

Визначаємо розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}},$$

де N-річна програма випуску, шт.;

$T_{шт-к}$ - штучно-калькуляційний час;

F_{δ} - дійсний річний фонд роботи обладнання ($F_{\delta} = 4059$ год.);

$\eta_{з.н.}$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

$$m_{p1} = \frac{35000 \cdot 1.495}{60 \cdot 4059 \cdot 0.8} = 0.269$$

Заокруглюємо m_p в більшу сторону до цілого числа і отримуємо кількість робочих місць $P = 1$

Розраховуємо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.д} = \frac{m_p}{P} < \eta_{з.н.}$$

$$\eta_{з.д1} = \frac{0.269}{1} = 0.269 < \eta_{з.н.} - \text{умова виконується}$$

Розрахуємо кількість операцій, які виконуються на цьому обладнанні:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.д}};$$

$$O = \frac{0.8}{0.269} = 2.97; \text{приймаємо } O = 3;$$

На інші операції проводимо аналогічні розрахунки і результати заносимо в таблицю 1.1

Таблиця 1.1 – Визначення типу виробництва

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	P	$\eta_{з.о}$	O
005	1,495	0,269	1	0,269	2,97
010	1,311	0,236	1	0,236	3,39
015	0,122	0,022	1	0,022	36,36
020	2,658	0,477	1	0,477	1,67
025	6,772	1,217	2	0,6	1,33
030	1,167	0,21	1	0,21	3,8
	13,525		7	1,814	49,52

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{49.52}{9} = 7.07.$$

Оскільки $1 \leq K_{з.о.} = 7.07 \leq 10$, то приймаємо крупносерійний тип виробництва.

Визначаємо організаційну форму виробництва.

Визначаємо добовий випуск виробів:

$$N_c = \frac{N}{254}, \text{ де}$$

N – програма випуску;

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_c = \frac{35000}{254} = 13$$

Визначаємо добову продуктивність поточної лінії:

$$Q_c = \frac{F_c}{T_{шк-ср}} \cdot \eta_{з.ф.ср.}, \text{ де}$$

F_c - добовий фонд роботи обладнання (при 2-х змінній роботі $F_c=952$ хв.);

$T_{шк-ср}$ - середній штучно-калькуляційний час всіх операцій;

$$Q_c = \frac{952}{2.25} \cdot 0.302 = 127$$

Оскільки добовий випуск виробів більший добової продуктивності поточної

лінії, то застосовується поточна форма організації виробництва.

$$N_c > Q_c \cdot 0,6;$$

$$137 > 127 \cdot 0,6 = 76,2.$$

Якщо приймаємо поточну форму організації виробництва, то розраховуємо такт випуску виробів:

$$t_g = \frac{60 \cdot F_d}{N}, \text{ де}$$

$$F_d = 4029 \text{ год.};$$

N - програма випуску.

$$t_g = \frac{60 \cdot 4029}{35000} = 6,96$$

Висновки. На сьогоднішній день згідно з дослідженнями, найбільший вплив на утворення відведення і непрямолінійності осі робить биття поверхні обробленої частини отвору, а також биття кондукторної втулки. Биття отвору у свою чергу може викликатися рядом причин, відведенням осі і викривленням заготовки внаслідок перерозподілу залишкової напруги в процесі обробки отвору, деформацій заготовки при закріпленні на верстаті та ін. Тому як на практиці, так і в подальшому викладі увага приділяється усуненню причин, що призводять до биття поверхні обробленого отвору.

Розглянутий у випускній магістерській роботі корпус належить до класу корпусних деталей. Проведено якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі. Визначено тип та організаційну форми виробництва.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки

Для виготовлення деталі використана сталь Сталь 40Х. Виходячи з цього найбільш вигідно використати литво.

Розрахуємо вартість двох методів отримання заготовки литвом: литво в пісчано-глиняні форми і литво в кокіль.

Вартість заготовки, отриманої литвом, визначається по формулі:

$$S_{заг.} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.}}{1000}, \text{ де}$$

C_i - базова вартість 1 т. заготовки, грн.;

$k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_m \cdot k_n$ - коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, марки матеріалу і обсягу виробництва заготовок [1];

Q і q - відповідно вага заготовки і вага деталі.

Для визначення маси деталі і маси заготовки, деталей розбивається на елементарні фігури і підраховуємо об'єм деталі:

$$M_{дет.} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho, \text{ де}$$

V_i - елементарний об'єм, $см^3$;

ρ - питома вага.

$$V_{дет.} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 - V_5;$$

$$V_1 = 68 \cdot 90 \cdot 10 = 61200$$

$$V_2 = 30 \cdot 8 \cdot 90 = 21600$$

$$V_3 = 20 \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{2} = 20 \cdot \frac{3.14 \cdot 40^2}{2} \cdot 2 = 100480$$

$$V_4 = 95 \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{2} = 95 \cdot \frac{3.14 \cdot 30^2}{2} = 134235$$

$$V_5 = 135 \cdot \frac{\pi \cdot R^2}{2} = 135 \cdot \frac{3.14 \cdot 45^2}{4} = 214599.4$$

$$V_{дет.} = 102915.6;$$

$$M_{дет.} = 102.915 \cdot 7.8 = 802.524 \text{ г} = 0.8 \text{ кг.}$$

Для визначення маси заготовки необхідно орієнтовно назначити припуск.

При цьому враховують, що при різних способах отримання заготовки припуски будуть різні.

Маса заготовки при литті у пісчано-глинисті форми:

$$M_{з.} = 0.8 \cdot 1,15 = 1.22 \text{ кг.}$$

Маса заготовки при литті в кокіль:

$$M_{з.} = 0.8 \cdot 1,1 = 1.14 \text{ кг.}$$

$$C_i = 150 \text{ грн/т.}$$

$$C_{відх.} = 25 \text{ грн/т.}$$

$$k_c = 1; k_g = 1;$$

$$k_n = 1; k_m = 1,93;$$

$$k_M = 1,2.$$

При литті у пісчано-глинисті форми:

$$S_{заг.} = \left(\frac{150}{1000} \cdot 1.22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.93 \cdot 1.2 \right) - (1.22 - 0.8) \cdot \frac{25}{1000} = 0.413$$

При литті в кокіль:

$$S_{заг.} = \left(\frac{150}{1000} \cdot 1.14 \cdot 1.26 \right) - (1.14 - 0.8) \cdot \frac{25}{1000} = 0.207$$

Економічний ефект для співставлення способів отримання заготовки визначають за формулою:

$$E_{з.} = (S_{заг.1} - S_{заг.2}) \cdot N = (0.413 - 0.207) \cdot 35000 = 7210 \text{ грн.}$$

2.2 Вибір методу обробки поверхонь

На вірний вибір методу обробки поверхонь заготовки впливають такі фактори, як службове призначення деталі, функціональне призначення поверхонь, вимоги до точності, шорсткості, геометричної форми тощо. Обробку поверхонь необхідно виконувати за декілька переходів, на кожному з яких використовуємо свій вид обробки (від чорнової до чистової).

В корпусі є поверхні, до яких не висуваються високі вимоги, тому для них достатня лише чорнова стадія обробки. Для отворів характерний восьмий квалітет точності Н8, який потребує чорнову, чистову і тонку обробку.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_z}{T_d},$$

де T_z і T_d - допуски параметрів, що розглядаються відповідно для заготовки і деталі.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів використовуємо формулу:

$$n = \frac{\lg \varepsilon}{0,46}.$$

Всі розрахункові дані зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибір методу обробки поверхонь

№ поверхні	Розмір поверхні, квалітет точності	Допуск заготовки, T_z , мкм	Допуск деталі, T_d , мкм	Уточнення	Кількість переходів n	Метод обробки поверхні
1	90 Н12	870	350	2,8	2	Фрезерування
2	90 Н11	870	220	2,48	1	Фрезерування
3	6 Н12	360	150	2,4	1	Свердління
4	80 Н11	740	190	3,89	2	Фрезерування
5	80 Н11	740	190	3,89	2	Фрезерування
6	50 Н12	620	250	2,48	1	Фрезерування
7	45 Н7	620	25	24,8	3	Розточування
8	48 Н8	620	39	15,89	1	Розточування

2.3 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз

На першій операції обробляються поверхні, які в подальшому використовуються як базові.

Після першої операції базування здійснюється по обробленій поверхні.

Всі поверхні, що обробляються, показуються товстішою лінією.

Сумарна похибка обробки повинна бути меншою допуску на розмір. Це стосується всіх розмірів, які отримуються на кожній технологічній операції:

$$W_{\Sigma} < T_{обр.}$$

В загальному випадку очікувана похибка обробки:

$$W_{\Sigma} = W_{н.р.} + W_{т.с.} + W_{уст.}, \text{ де}$$

$W_{н.р.}$ – похибка настроюваного розміру;

$W_{т.с.}$ - похибка технологічної системи;

$W_{уст.}$ - похибка установки.

Похибка настроюваного розміру і похибка технологічної системи в сумі дорівнюють середній статичній точності і визначаються за таблицею [1] (дод б).

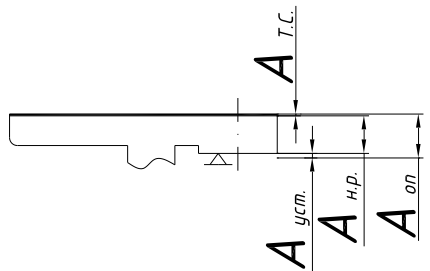
$W_{уст.}$ - залежить від способу встановлення деталі на верстаті і від способу її закріплення. В загальному випадку похибка установки вираховується за формулою:

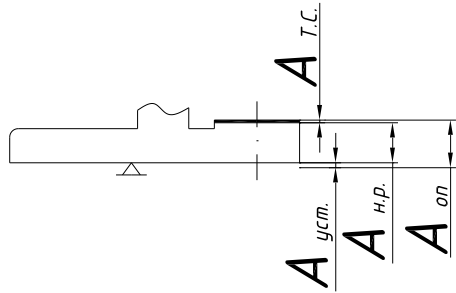
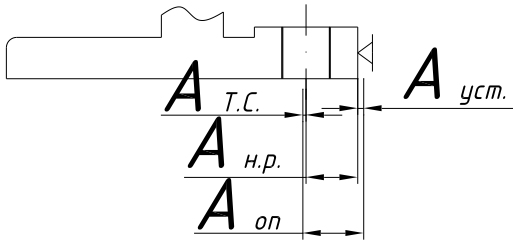
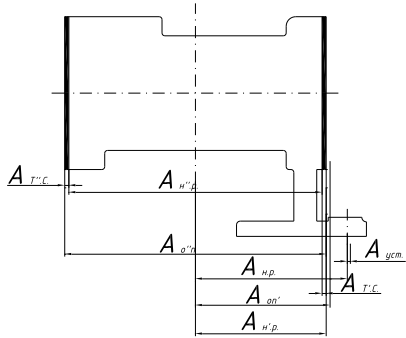
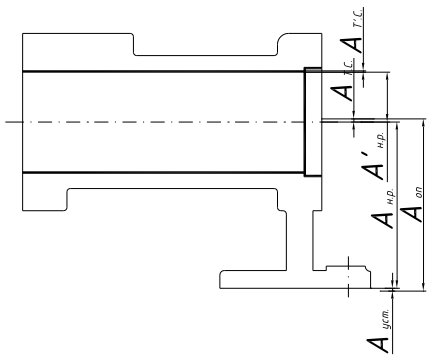
$$W_{уст.} = \sqrt{W_{б.}^2 + W_{закр.}^2}.$$

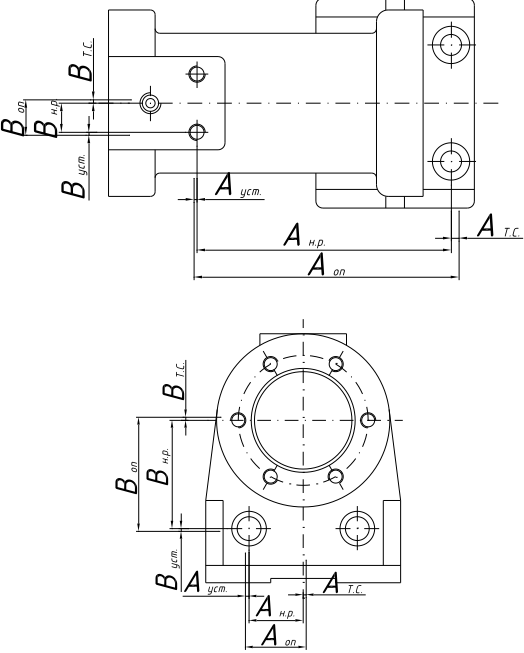
Її можна порахувати за формулами чи взяти із таблиць [1] .

Розрахунки заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок похибки обробки

№ операції	Ескіз операції та розмірний ланцюг	Розрахунок похибки обробки
005		$W_{A_{он}} = W_{н.р.} + W_{т.с.} + W_{уст.}$ $W_c = W_{н.р.} + W_{т.с.} = 0,17$ $W_{уст.} = 0,08 \text{ мм.}$ $W_{A_{он}} = 0,17 + 0,08 = 0,25$ $A_{он} = 10 + 0,2; T = 0,15$

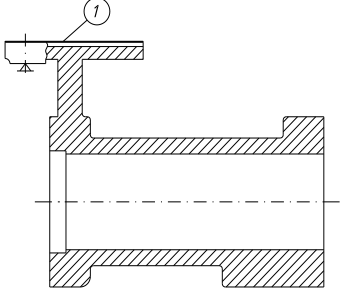
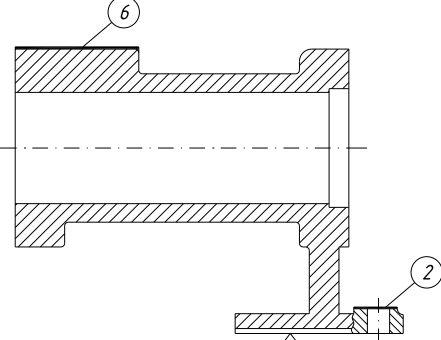
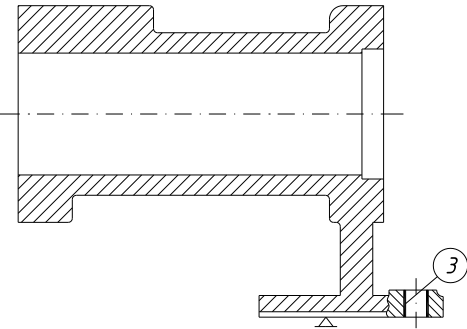
<p>010</p>		$W_{A_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{ycm}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,12$ $W_{ycm} = 0 \text{ мм.}$ $A_{on} = 0,12; T = 0,18$
<p>015</p>		$W_{A_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{ycm}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,1$ $W_{ycm} = 0,08 \text{ мм.}$ $A_{on} = 0,18; T = 0,18$
<p>020</p>		$1. W'_{A_{on}} = W'_{н.р} + W'_{m.c} + W'_{ycm} + W_{н.р} + W_{ycm}$ $W_c = W'_{н.р} + W'_{m.c} = 0,12 \text{ мм}$ $W_{н.р} = 0,62; W_{ycm} = 0,08 \text{ мм.}$ $W'_{con} = 0,1 + 0,62 + 0,08 = 0,8;$ $T'_{con} = 0,62$ <p>2.</p> $W''_{A_{on}} = W''_{н.р} + W''_{m.c} + W'_{m.c} = 1,2 \dots 1,5 \cdot W''_c$ $W''_c = W''_{н.р} + W''_{m.c} = 0,1$ $W'_{con} = 1,5 \cdot 0,10 = 0,15;$ $T'_{con} = 0,19$
<p>025</p>		$W_{A_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{ycm}$ $W_c = 0,1 \text{ мм } W_{ycm} = 0,08 \text{ мм.}$ $W_{A_{on}} = 0,1 + 0,08 = 0,18$ $T'_{A_{on}} = 0,2$ <p>Решта:</p> $W_{A_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{ycm}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,1$ $W_{ycm} = 0 \text{ мм.}$

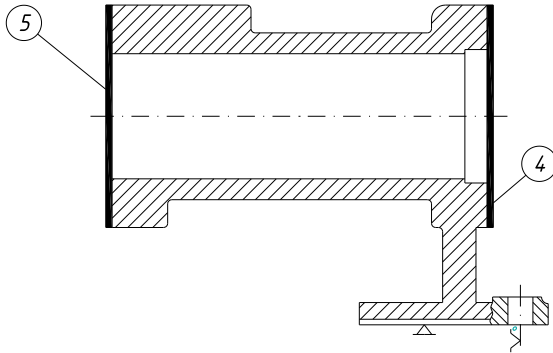
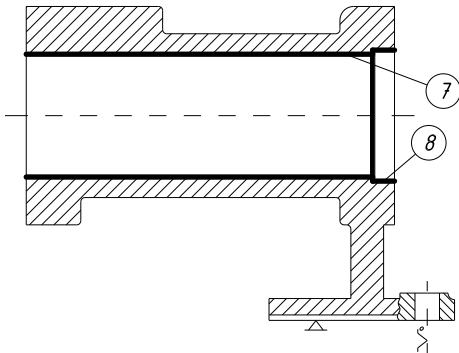
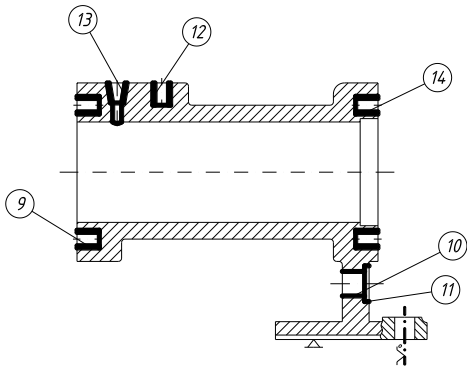
		$A_{on} = 0,1; T'_{con} = 0,046,$ $W'_{A_{on}} = W'_{н.р} + W'_{m.c} + W_{m.c} = 0,5$ $W_c = W'_{н.р} + W'_{m.c} = 0,15 \text{ мм}$ $A'_{AOO} = 0,075 \text{ мм}$
030		$1. W_{A_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{у.с.м}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,1$ $W_{у.с.м} = 0,149 \text{ мм.}$ $W_{A_{on}} = 0,1 + 0,149 = 0,249$ $A_{оп} = 135 \pm 0,15; T'_{A_{on}} = 0,3 \text{ мм}$ $2. W_{B_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{у.с.м}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,1$ $W_{у.с.м} = 0,149 \text{ мм.}$ $W_{A_{on}} = 0,1 + 0,149 = 0,249$ $A_{оп} = 135 \pm 0,15; T'_{A_{on}} = 0,3 \text{ мм}$ $3. W_{C_{on}} = W_{н.р} + W_{m.c} + W_{у.с.м}$ $W_c = W_{н.р} + W_{m.c} = 0,1$ $W_{у.с.м} = 0,149 \text{ мм.}$ $W_{A_{on}} = 0,1 + 0,149 = 0,249$ $A_{оп} = 135 \pm 0,15; T'_{A_{on}} = 0,3 \text{ мм}$

2.4 Вибір технологічного маршруту обробки деталі

Технологічний процес обробки корпусу 00.011 зведено в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічний процес обробки корпусу 00.011

№ та назва операції	Оброблювана поверхня	Послідовність обробки
1	2	3
005 фрезерна		<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерувати поверхню 1 начорно. 2. Фрезерувати поверхню 1 начисто.
010 фрезерна		<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерувати поверхню 2 начорно. 2. Фрезерувати поверхню 6 начорно.
015 Свердлиль на		<ol style="list-style-type: none"> 1. Послідовно свердлити 2 отвори 3

<p>020 фрезерна</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерувати поверхню 4 начорно. 2. Фрезерувати поверхню 4 начисто. 3. Фрезерувати поверхню 5 начорно. 4. Фрезерувати поверхню 5 начисто.
<p>025 Розточувальна</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Розточити начорно поверхні 7, 8 2. Розточити начисто поверхні 7, 8 3. Розточити тонко поверхню 8
<p>030 Агрегатна</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Послідовно свердлити 2-а отвори 10 2. Послідовно розсвердлити 2-а отвори 11 3. Послідовно свердлити 6-ть отворів 9 4. Послідовно свердлити 6-ть отворів 14 5. Послідовно нарізати різьбу в 6-ти отворах 9 6. Послідовно нарізати різьбу в 6-ти отворах 14 7. Послідовно свердлити 2-а отвори 12

		8. Послідовно нарізати різьбу в 2-х отворах 12 9. Свердлити отвір 13 10. Розгорнути отвір 13 11. Нарізати різьбу в отворі 13
--	--	---

2.5 Розрахунок припусків

Розрахунок припусків на механічну обробку проводиться розрахунково-аналітичним методом і за таблицями.

Розрахунок припуску розрахунково-аналітичним методом зручно звести в таблицю 2.4.

Технологічні переходи обробки Поверхонь 110 Н8	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск 27 min мкм	Розрахунк розмір d_p мм	Допуск δ мкм	Граничний розмір мм		Граничні значення припусків мкм	
	Rz	T	ζ	ε				dmin	dmax	$2Z_{min}^{zp}$	$2Z_{max}^{zp}$
Заготовка фрезерування	200	200	53	-	-	107,701	160	106,1	107,7	-	-
Чорнове	50	50	27	187	2·1069	109,839	140	109,7	109,84	2140	3600
чистове	25	25	-	9	2·78	109,995	54	109,94	109,99	150	240
разом										2330	3900

Значення Rz і T, які характеризують якість поверхні литих заготовок, складає

$$Rz=200\text{мкм}, T=300\text{мкм} [1]$$

Після першого технологічного переходу T для деталей зі сталі виключається із розрахунків, тому для чорного і чистового фрезерування знаходимо по табл. 4.5 [1] лише значення Rz (відповідно 50, 20 і 5мкм) і записуєм їх в розрахункову таблицю.

Сумарне значення просторових відхилень для заготовки даного типу визначається по формулі

$$\zeta_z = \sqrt{\zeta_{кор}^2 + \zeta_{зм}^2}$$

Короблення отвору необхідно враховувати як в діаметральному, так і в основному його перерізі

$$\zeta_{кор} = \sqrt{(\Delta_k d)^2 + (\Delta_k l)^2} = \sqrt{(0.7 \cdot 110)^2 + (0.7 \cdot 410)^2} = 297 \text{ мкм}$$

Короблення виливке знаходимо по таблиці 4.8 [1] (d і l – діаметр і довжина оброблюваного отвору).

При визначені S_{zm} в даному випадку потрібно приймати до уваги точність розміщення базових поверхонь, які використовуються при даній схемі встановлення і отриманих на попередніх операціях, відносно оброблюваної в даній операції поверхні.

Допуск на розмір 75 для виливка 1 класу (т. 2.4 [1]) – 1600 мкм. При двократному фрезеруванні можна отримати 11 квалітет з допуском 0,19мм, значить

$$b_b = (1,6 + 0,19) / 2 = 0,895 \text{ мм}$$

$$\zeta_{зм} = \sqrt{\left(\frac{\delta_b}{2}\right)^2} = \frac{895}{2} = 447$$

Таким чином, сумарні значення просторового відхилення заготовки.

$$\zeta_z = \sqrt{297^2 + 447^2} = 537 \text{ мкм}$$

Кінцеве просторове відхилення після чорнового фрезерування

$$\zeta_z = 0,05 \zeta_z = 0,05 \cdot 537 = 27 \text{ мкм}$$

Похибка установки при чорновому фрезерування

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_z^2}$$

Похибка базування в даному випадку виникає за рахунок переносу заготовки в горизонтальній площині при встановленні її на опори приспособлення. Перекос при цьому виникає із за наявності зазорів між найбільшим діаметром установочних отворів і найменшим діаметром пальців.

Найбільший зазор між отворами і пальцями

$$\zeta_{\max} = \delta_A + \delta_B + \delta_{\min}$$

де δ_A - допуск на отвір

$$\delta_A = 110 \text{ мкм} = 0,11 \text{ мм}$$

δ_B - допуск на діаметр пальця

$$\delta_B = 15 \text{ мкм} = 0,015 \text{ мм}$$

δ_{\min} - мінімальний зазор між діаметрами пальця і отвору

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

Тоді найбільший кут повороту заготовки на пальцях може бути знайдений із відношення найбільшого зазору при повороті в одну сторону від середнього положення до відстані між базовими отворами:

$$\text{tga} = \frac{0.11 + 0.015 + 0.013}{390} = 0.00035$$

Похибка її базування на довжині оброблюваного поверхні 10 мм.

$$\varepsilon_\delta = \text{tga} = 10 \cdot 0.00035 = 0.144 \text{ мм} = 144 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення заготовки (т. 4. 13 [1]) $\varepsilon_3 = 120$ мкм. Тоді похибка установки при чорновому фрезеруванні

$$\varepsilon_1 = \sqrt{144^2 + 120^2} = 187 \text{ мкм}$$

Кінцева похибка установки при чорновому фрезеруванні

$$\varepsilon_2 = 0,05 \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_i \approx 9 \text{ мкм}$$

Так як чорнове чистове і тонке фрезерування проводяться з одної установки, то $\varepsilon_i = 0$

$$\varepsilon_3 = 0,02 \cdot \varepsilon_2 = 0,02 \cdot 9 = 0,18 \text{ мкм}$$

На онові записаних в таблиці даних проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків, користуючись основною формулою

$$2Z_{\min} = 2 \left(R_{zi+1} + T_{i-1} + \sqrt{\zeta_{i+1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

Мінімальний припуск під фрезерування:

чорнове

$$2Z_{\min} = 2 \left(200 + 300 + \sqrt{537^2 + 187^2} \right) = 2 \cdot 1069 \text{ мкм}$$

чистове

$$2Z_{\min} = 2\left(50 + \sqrt{27^2 + 9^2}\right) = 2 \cdot 78 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір:

після чистового

$$d_{p2} = 10,035 + 0,040 = 10,995 \text{ мм}$$

Після чорнового –

$$d_{p1} = 10,995 + 0,156 = 11,839 \text{ мм}$$

Для заготовки –

$$d_{pзаг} = 11,839 + 2,138 = 13,701 \text{ мм}$$

Значення допусків кожного переходу приймаєм по таблицях в відповідності до квалітету того виду обробки.

Так, для тонкого розточування значення допуску складає 35 мкм; для чистового - $\delta = 54$ мкм; для чорнового - $\delta = 140$ мкм; допуск на отвір в виливку 1 класу точності по ГОСТ 1855-85 складає $\delta = 1600$ мкм.

Найбільше значення (d_{\max}) отримується по розрахункових розмірах, заокруглених до точності допуску відповідного переходу. Найменші граничні розміри (d_{\min}) визначаються із найбільших граничних розмірів віднімання допусків відповідних переходів

$$d_{\max 3} = 10,035 \text{ мм}$$

$$d_{\min 3} = 10,035 + 0,035 = 10,07 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 10,995 \text{ мм}$$

$$d_{\min 2} = 10,695 + 0,054 = 10,841 \text{ мм}$$

$$d_{\max 1} = 10,839 \text{ мм}$$

$$d_{\min 1} = 10,839 + 0,140 = 10,699 \text{ мм}$$

$$d_{\max заг} = 11,701 \text{ мм}$$

$$d_{\min заг} = 11,701 + 1,6 = 12,101 \text{ мм}$$

Мінімальний граничні значення Z_{\min}^{zp} рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальні значення Z_{\max}^{zp} - відповідно різниці найменших граничних розмірів

$$2Z_{\min 3}^{zp} = 110,03 - 109,99 = 0,04 \text{ мм} = 40 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 3}^{zp} = 110 - 109,94 = 0,06 \text{ мм} = 60 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 2}^{zp} = 109,99 - 109,84 = 0,15 \text{ мм} = 150 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 2}^{zp} = 109,94 - 109,7 = 0,24 \text{ мм} = 240 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\min 1}^{zp} = 109,84 - 107,7 = 2,14 \text{ мм} = 2140 \text{ мкм}$$

$$Z_{\max 1}^{zp} = 109,7 - 106,1 = 3,6 \text{ мм} = 3600 \text{ мкм}$$

Мінімальні граничні значення припусків Z_{\min}^{np} рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальні значення Z_{\max}^{np} - відповідно різниці найменших граничних розмірів. Загальні припуски $Z_{0\min}$ і $Z_{0\max}$ визначаємо, додаванням проміжних припусків.

$$2Z_{0\min} = 2140 + 150 + 40 = 2330 \text{ мкм}$$

$$2Z_{0\max} = 3600 + 240 + 60 = 3900 \text{ мкм}$$

Загальний номінальний припуск

$$Z_{0ном} = Z_{0\min} + B_3 - B_1 = 2330 + 800 - 35 = 3095 \text{ мкм}$$

$$d_{3ном} = d_{гном} - Z_{0ном} = 110 - 3,1 = 106,9 \text{ мм}$$

Загальні припуски $Z_{0\min}$ і $Z_{0\max}$ визначаємо, додаючи проміжні допуски, і записуємо їх значення в низу відповідних стовпців:

На решту оброблюваних поверхонь корпуса припуски і допуски вибираємо по таблицям (ГОСТ 1855-85) і записуємо їх значення в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5.

Поверхня деталі	Клас точності розмірів	Степінь точності поверхні	Ряд припуску	Допуск розміру, мм	Спосіб кінцевої обробки	Значення припуску
1,2	7Т-11	9-16	3-6	2,2	чистова	2,7
3,4	7Т-11	9-16	3-6	2,2	чистова	2,7
5	7Т-11	9-16	4-7	4,0	чорнова	2,7
6,7	7Т-11	9-16	4-7	3,6	чорнова	2,5

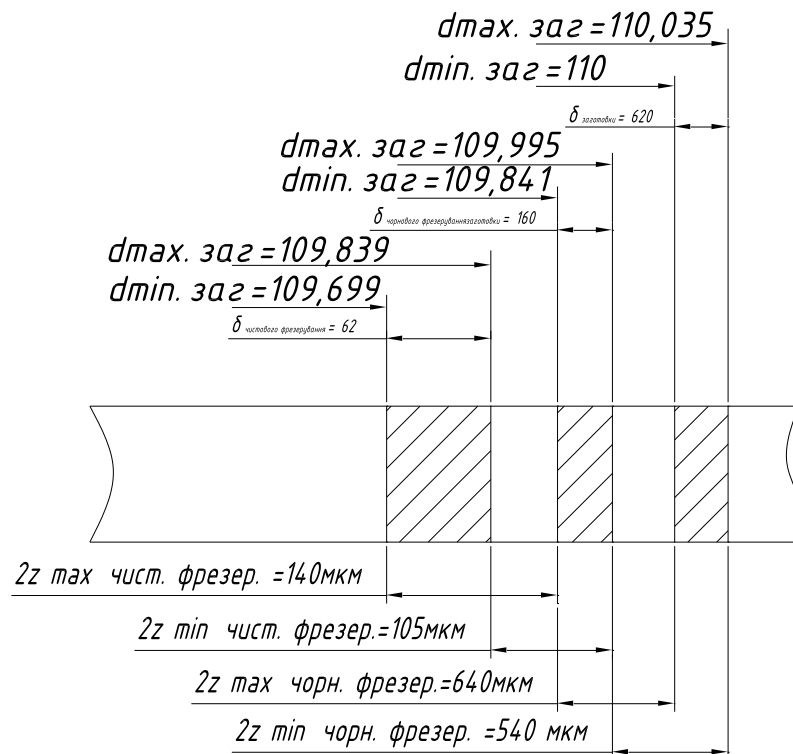


Рисунок 2.1- Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку поверхні 110H8

2.6 Визначення режимів різання та технологічного обладнання

Розрахунок режимів різання аналітичним методом.

Операція 005 фрезерна.

Фрезерувати площину 1.

1. Характер обробки – двократна.

2. Згідно з табл. 41 ст. 291 [1] металорізальний інструмент: торцева фреза 22 14 – 0161BK8 ГОСТ9473-80

$$(\delta = 20^{\circ}, \alpha = 15^{\circ}, \varphi = 30^{\circ}, \varphi = 10^{\circ}, \lambda = 5^{\circ}, z = 24^{\circ}, D = 250)$$

3. Глибина різання.

Згідно з ТП передбачено отримання відразу поверхні з $Ra = 5$ мкм глибина різання дорівнює припуску, $t = 5$ мм.

4. Подача

$$S_z = 0,20 - 0,38 \text{ мм/зуб (т.33 ст. 283 [1])}$$

Приймаємо

$$S_z = 0,3 \text{ мм/зуб}$$

5. Середнє значення стійкості фрези

$$T=240 \text{ хв (т. 40 ст.290 [1])}$$

6. Швидкість різання

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v,$$

де C_v , q , m x u p – коефіцієнти і показники степені

$$C_v = 445, q = 0,2, x = 0,15, y = 0,35, u = 0,2, p = 0,1, T = 0,32 \text{ (т. 35 ст.288 [1])}$$

K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_v = K_m \cdot K_n \cdot K_i$$

де K_m – коефіцієнт, який враховує деталь реклами

$$K_m = \left(\frac{190}{Hb} \right)^{1,25} = \left(\frac{190}{190} \right)^{1,25} = 1 \quad \text{(т. 1 ст.261[1])}$$

K_n – коефіцієнт, який враховує стан оброблюваної поверхні,

$$K_n = 0,85 \text{ (т. 5 ст. 263 [4])}$$

K_i – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменти, $K_i = 0,83$ [1]

$$K_v = 1 \cdot 0,85 \cdot 0,83 = 0,706$$

$$V' = \frac{445 \cdot 250^{0,2} \cdot 0,706}{240^{0,32} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,3^{0,35} \cdot 190^{0,2} \cdot 24^{0,1}} = 50,3 \text{ м/хв.}$$

Так як $\varphi = 30^\circ$,

$$V = V' \cdot 1,25 = 50,3 \cdot 1,25 \approx 63 \text{ м/хв}$$

7. Частота обертання фрези

$$n_\phi \frac{1000V}{\Pi Д} = \frac{1000 \cdot 63}{3,14 \cdot 250} = 80,3 \text{ об/хв.}$$

8. Сила різання

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} K_{mp},$$

$$C_p = 445, x = 0,9, y = 0,74, u = 1, q = 1, w = 0,1 \text{ [1]}$$

$$K_{mp} = 1 \text{ [1]}$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 445 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,3^{0,74} \cdot 190 \cdot 24}{250 \cdot 80,3^{0,1}} \cdot 1 = 11065 \text{ Н}$$

9. Ефективна потужність різання

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{11065 \cdot 63}{1020 \cdot 60} = 11.4 \text{ кВт}$$

10. Потужність приводу верстату

$$N_{gs} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{11.4}{0.75} \approx 15 \text{ кВт}$$

11. Вибір верстату здійснюємо по виду обробки, розмірах стола, потужності. Згідно [1] вибираємо повздовжньо-фрезерний верстат мод. 6 Г608 (розміри столу 630x2500, - подача стола 10-2500 мм/хв.; частота обертання шпинделя 16-1250 об/хв.; потужність 15 х 3 кВт).

Коректуємо режими різання по верстату.

Згідно розрахунку

$$S_m = S_z \cdot Z \cdot n_{\text{шп}} = 0,3 \cdot 24 \cdot 80,3 = 578,16 \text{ мм/хв}$$

Верстат дозволяє здійснити подачу

$$S_{mg} = 500 \text{ мм/хв.}$$

Найближча частота обертання шпинделя верстата

$$n_{\text{шп}} = 80 \text{ об/хв.}$$

12. Дійсна швидкість різання

$$V_g = \frac{P D n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 250 \cdot 80}{1000} = 62.8 \text{ м/хв.}$$

13. Дійсна подача на зуб фрези

$$S_{zg} = \frac{S_{mg}}{Z \cdot n_g} = \frac{500}{24 \cdot 80} = 0.26 \text{ мм/зуб}$$

14. Дійсна сила різання

$$P_{zg} = \frac{10 \cdot 54.5 \cdot 5^{0.9} \cdot 0.26^{0.74} \cdot 190' \cdot 24}{250' \cdot 80^{0.1}} = 9945 \text{ Н}$$

15. дійсна ефективна потужність

$$N_{eg} = \frac{P_z \cdot g \cdot V_g}{1020 \cdot 60} = \frac{9945 \cdot 62.8}{1020 \cdot 60} = 10.21 \text{ кВт}$$

Таким чином, скоректовані по верстату режими різання:

$$S_m = 500 \text{ мм/хв.}, n_{\text{шп}} = 80 \text{ об/хв.},$$

Задовольняють умови обробки.

Розрахунок режимів різання табличним методом.

Результати аналітичного розрахунку та табличного методу зводимо в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 - Режим різання

№ Операції	Перехід	Глибина різання t, мм	Подача S, мм/об	Швидкість V, м/хв	Частота обертів n, хв	Потужність N _p , кВт	Основний час T _o
005	1.	0,5	0,1	500	850	1,4	0,53
	2.	1	0,2	320	850	1,4	0,2
010	1.	0,5	0,1	500	850	1,4	0,53
	2.	0,5	0,1	500	850	1,4	0,53
015	1.	5,0	0,2	18	560	1,4	0,18
020	1.	0,5	0,1	500	850	1,4	0,53
	2.	1	0,2	320	850	1,4	0,2
	3.	0,5	0,1	500	850	1,4	0,53
	4.	1	0,2	320	850	1,4	0,2
025	1.	2,5	0,6	110	630	1,6	0,026
	2.	0,6	0,6	125	800	1,6	0,001
	3.	0,3	0,6	125	800	1,6	0,047
030	1.	3,0	0,1	21	1120	0,29	0,07
	2.	0,2	0,4	23	1120	0,29	0,07
	3.	3,0	0,1	21	1120	0,29	0,07
	4.	3,0	0,1	21	1120	0,29	0,07
	5.	0,1	0,4	8	400	0,29	0,12
	6.	0,1	0,4	8	400	0,29	0,12
	7.	3,0	0,1	21	1120	0,29	0,07
	8.	0,1	0,4	8	400	0,29	0,12

2.7 Нормування технологічного процесу

Технічні норми часу в умовах масового і серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним способом.

В багатосерійному виробництві визначається норма штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт} = T_o + T_{\delta} + T_{об} + T_{от}$$

де, T_o – основний час, хв.;

T_{δ} – допоміжний час, хв.;

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

$T_{от}$ – час перерв на відпочинок і особисті потреби, хв.

$$T_o = L / n \times S_0$$

де, L – довжина робочого ходу інструменту, мм;

n – частота обертання шпінделя, об/хв.;

S_0 – подача, мм/об

$$L = l + l_1 + l_2$$

де, L – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання інструменту, мм;

l_2 – величина перебігу інструменту, мм

$$l_1 + l_2 = 7 \text{ мм [1]},$$

$$l = 10 \text{ мм}$$

$$L = 10 + 7 = 17 \text{ мм}$$

$$n = 1600 \text{ об/хв.}$$

$$S_0 = 0,3 \text{ мм/об.}$$

Тоді:

$$T_o = 17 / 1600 \times 0,3 = 0,03 \text{ хв.}$$

Допоміжний час складається із затрат часу на окремі переходи:

$$T'_{\delta} = T_{y.c} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{н.з}$$

де, $T_{y.c}$ – час на встановлення і зняття деталі, хв.;

$T_{з.о.}$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв.;

$T_{уп}$ – час на управління, хв.;

$T_{н.з}$ – час на вимірювання деталі, хв.

$$T_{y.c} = 0,154 \text{ хв. [1]},$$

$$T_{з.о.} = 0,024 \text{ хв. [1]},$$

$$T_{уп} = 0,05+0,01 = 0,06 \text{ хв. [1]},$$

$$T_{н.з} = 0,06 \text{ хв. [1]},$$

$$T'_{\delta} = 0,154+0,024+0,06+0,06 = 0,298 \text{ хв.}$$

При розрахунку допоміжного часу, в велико-серійному виробництві, необхідно врахувати коефіцієнт R:

$$R = 1,5 \text{ [1]},$$

$$T_{\delta} = T'_{\delta} \times R$$

$$T_{\delta} = 0,298 \times 1,5 = 0,447 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця, $T_{об}$:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг}$$

де, $T_{тех}$ – час на технічне обслуговування робочого місця, хв.

$T_{орг}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.

$$T_{тех} = T_o \times t_{CM} / T$$

де, T_o – основний час, хв.

t_{CM} – час на зміну інструменту, хв.

T – стійкість інструменту, хв.

$$T = 35 \text{ хв. [1]}$$

$$t_{CM} = 0,3 \text{ хв. [1]},$$

$$T_{тех} = 0,03 \times 0,3 / 35 = 0,000257 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування робочого місця $T_{орг}$ визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{орг} = T_{оп} \times \Pi / 100$$

де, $T_{оп}$ – оперативний час, хв.

$$T_{оп} = T_o + T_{доп}$$

$$T_{оп} = 0,03 + 0,447 = 0,477 \text{ хв.}$$

$$\Pi = 0,8\% \text{ [1]},$$

$$T_{орг} = 0,477 \times 0,8 / 100 = 0,0038 \text{ хв.}$$

$$T_{об} = 0,000257 + 0,0038 = 0,004057 \text{ хв.}$$

Час на перерви та відпочинок, $T_{от}$:

$$T_{от} = T_o \times \Pi_{от} / 100$$

де, $\Pi_{от}$ – витрати часу на відпочинок в відсотковому відношенні до оперативного

$$\Pi_{от} = 6\% [1],$$

$$T_{от} = 0,03 \times 6 / 100 = 0,0018 \text{ хв.}$$

Тоді,

$$T_{шт} = 0,03 + 0,447 + 0,004057 + 0,0018 = 0,48 \text{ хв.}$$

Решта результатів зведена до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок норм часу

№ Операції	$T_o, \text{ хв}$	$T_o, \text{ хв}$			$T_{оп}, \text{ хв}$	$T_{об}, \text{ хв}$	$T_{від}, \text{ хв}$	$T_{шт}, \text{ хв}$
		$T_{ус}, \text{ хв}$	$T_{ун}, \text{ хв}$	$T_{вим}, \text{ хв}$				
005	0,4	1,564	0,38	0,18	2,524	0,011	0,053	0,126
010	1	1,564	0,52	0,30	3,384	0,04	0,071	0,17
015	3,6	1,342	1,68	0,51	7,13	0,44	0,057	0,357
020	0,39	1,567	0,83	0,27	3,054	0,009	0,064	0,153
025	1,43	1,564	0,01	0,5	3,504	0,043	0,035	0,175
030	0,924	1,564	0,01	0,26	3,76	0,037	0,079	0,188

Висновки. Проведено економічне обґрунтування методу отримання заготовки, методу обробки поверхонь. Вибрано та розрахунково обґрунтовано бази. Вибрано технологічний маршрут обробки деталі. Проведено розрахунок припусків на поверхні, розмірно - точносний аналіз технологічного процесу. Визначено режими різання і вибрано технологічного обладнання. Визначено норми часу технологічного процесу.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Верстатний пристрій для свердління

3.1.1 Вибір принципу дії структурної схеми силового пристрою.

Вибір пристосувань проводиться в залежності від виду обробки, типу верстата і типу виробництва. Вибрані пристрої повинні забезпечувати: правильну установку деталі, збільшення продуктивності праці за рахунок зменшення допоміжного часу, надійність і безпеку роботи; розширення технологічних можливостей верстата, автоматичне одержання точності і економічність обробки.

В даному ТП розглянемо пристосування для свердління. Фіксування положення деталі здійснюється за рахунок сили затиску W . Деталь базується за допомогою опорних штирів. Вони призначені для правильної установки заготовки і орієнтації її відносно ріжучого інструмента. Конструкція і розміри установочних деталей пристроїв у більшості випадків вибираються із стандартів. Направляючим елементом являється кондукторна прижим, що призначений для пов'язування положення оброблюваної деталі і ріжучого інструменту.

Для нашого ТП в якості затискного механізму використовуємо пневмопривод, в складі якого є поршень і шток. До переваг такого механізму відносять : велику швидкість дії, простоту конструкції, незалежність роботи пневмоприводу від коливань температури навколишнього середовища.

3.1.2 Структурний аналіз і синтез компоновок, вибір оптимальної.

Розглянемо пристосування, яке використовується для обробки циліндричних поверхонь на свердлильному верстаті. В даному випадку можливі два види компоновочних схем: з горизонтальним і вертикальним розташуванням оброблюваної поверхні. При вертикальному розташуванні для закріплення деталі можна використати патрон клиновий з пневмоприводом. Але розміщення заготовки при такій схемі обробки буде мати деякі похибки базування, які разом з похибками пристосування дадуть значні похибки обробки. Крім того, для

розміщення заготовки в патроні клиновому потрібно буде розробляти опорні пластини складної форми.

При горизонтальному розташуванні оброблюваної поверхні використовуємо затискне пристосування з пневмоприводом. Таке розміщення заготовки не дає похибки базування, а даний пристрій може використовуватись на інших верстатах. У зв'язку з вище перерахованим, використовуємо затискне пристосування з пневмоприводом.

3.1.3 Розрахунок пристроїв на точність

Розраховуємо похибку установки $\varepsilon_{уст.}$, що виникає в процесі установки деталей у пристрій і має наступний склад:

$$\varepsilon_{уст.} = \sqrt{\varepsilon_{б.}^2 + \varepsilon_{з.}^2 + \varepsilon_{пр.}^2}, \text{ де}$$

$\varepsilon_{б.}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{з.}$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{пр.}$ – похибка пристрою.

Оскільки, для даного випадку спостерігається принцип єдності баз, то $\varepsilon_{б.} = 0$.

$\varepsilon_{з.}$ виникає через зміщення конструктивної бази під дією сил затиску ($\varepsilon_{з.} = 0,11$ мм).

$$\varepsilon_{уст.} = \sqrt{0 + 0,11^2} = 0,11 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибку пристосування визначаємо по формулі:

$$\varepsilon_{пр.} = T_{\delta.} - (K_{\varepsilon_{б.}} + \Delta_{\varepsilon_{уст.}} + \Delta_{\varepsilon_{обр.}}), \text{ де}$$

$$K_{\varepsilon_{б.}} = 0;$$

$$\Delta_{\varepsilon_{уст.}} = 0,11 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{\varepsilon_{обр.}} = K' \cdot \Delta_{\varepsilon_{обр.}} = K' \cdot W_{т.с.},$$

$$W_{т.с.} = 0,25 \text{ мм;}$$

$K' = 0,6 \dots 0,8$ – коефіцієнт зменшення похибки.

$$\varepsilon_{пр.} = 0,46 - (0 + 0,11 + 0,2) = 0,15 \text{ мм.}$$

Тоді сумарна похибка:

$$\sum \Delta_{\varepsilon} = K \cdot \Delta_{\varepsilon_{\delta}} + \Delta_{\varepsilon_{уст.}} + \Delta_{\varepsilon_{обр.}} + \varepsilon_{пр.};$$

$$\sum \Delta_{\varepsilon} = 0 + 0,11 + 0,2 + 0,15 = 0,45 \text{ мм.}$$

Оскільки, $\sum \Delta_{\varepsilon} < T_{\delta}$, то даний пристрій витримує необхідну точність при обробці деталі.

3.1.4 Розрахунок сил затиску, параметрів приводу

В даному випадку заготовка встановлюється на опорні штирі на бокову базову поверхню і закріплюється затискним механізмом. Проектуємо одномісний пристрій, принципова схема якого зображена на рис.3.1.

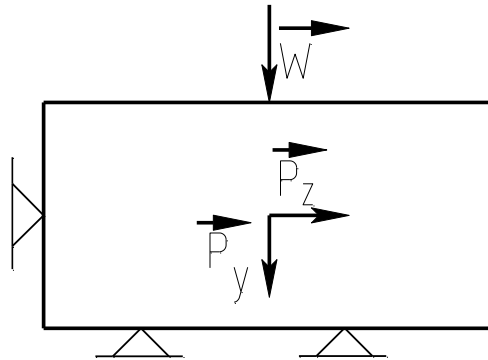


Рисунок 3.1. - Принципова схема одномісного пристрою

Складова P_0 сили різання направлена до опор, а складова M намагається зсунути заготовку в боковому напрямі. Таким чином, сила затиску [1]:

$$W = \frac{K \cdot P_0 + 0,5 \cdot M \cdot (f_1 - f_2)}{f_1 + f_2}, \text{ де}$$

f_1, f_2 - коефіцієнти тертя;

K - коефіцієнт запасу.

Визначаємо коефіцієнт запасу K [1]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \text{ де}$$

$K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях;

$K_2=1,0$ – коефіцієнт, який враховує зростання сили різання при затупленні інструменту;

$K_3=1,2$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

$K_4=1,3$ – коефіцієнт, який враховує непостійність сил затиску;

$K_5=1$ – коефіцієнт, який враховує непостійність сил, що розвиваються приводами;

$K_6=1,5$ – коефіцієнт, який враховує невизначеність положення місць контакту заготовки з установочними елементами і зміну, в зв'язку з цим, моментів тертя, які протидіють повороту заготовки на базовій площині.

Тоді,

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,51.$$

Приймаємо $K=3,51$.

Визначаємо осьову силу при свердлінні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot D^q \cdot K_p,$$

$$C_p = 67; x=1,2; y=0,65.$$

$t=1,5$ мм-глибина різання;

$S=1,1$ мм/об - подача;

$V=54,95$ м/хв - швидкість різання;

$K_p = 0,87$ - поправочний коефіцієнт;

$$P_z = 10 \cdot 67 \cdot 1,5^{1,2} \cdot 1,1^{0,65} \cdot 35^0 \cdot 0,87 = 1008,8 \text{ Н.}$$

Крутний момент:

$$M_{кр.} = 10 \cdot C_m \cdot t^x \cdot S^y \cdot D^q \cdot K_p,$$

$$C_m = 0,09; x=0,9; y=0,8; q=1,0;$$

$$M_{кр.} = 10 \cdot 0,09 \cdot 1,5^{0,9} \cdot 1,1^{0,8} \cdot 35^{1,0} \cdot 0,87 = 42,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Коефіцієнт тертя вибираємо з табл. 10 [4]:

$$f_1 = f_2 = 0,25.$$

Сила затиску, з врахуванням того, що в пристрої зусилля затиску забезпечується пневмоциліндром буде:

$$W = \frac{3,51 \cdot 1008,8 + 0,5 \cdot 42,6 \cdot (0,25 - 0,25)}{2 \cdot (0,25 + 0,25)} = 3540,9 \text{ Н.}$$

Діаметр поршня пневмоциліндра визначається згідно [1]:

$$W = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot P \cdot \eta}{4}.$$

Звідси:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot P \cdot \eta}},$$

де $P=(0,4...0,6)$ МПа – тиск повітря в пневмосистемі;

$\eta=0,85$ – коефіцієнт корисної дії.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3540,9}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,85}} = 103,02 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D=125$ мм.

Діаметр штока пневмоциліндра за [1] $d=30$ мм.

3.1.5 Загальний опис конструкції, економічне обґрунтування

Кондуктор призначений для закріплення деталі при свердлінні і для направлення свердла.

Деталь встановлюють на опорні штифти так, щоб вона впиралась в регульований упор. До отвору в корпусі подають стиснуте повітря під тиском $39 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (4 кг/см^2). Поршень з штоком під тиском повітря опускається вниз. На штоці закріплена планка, з якою з'єднана притискна планка. Планка притискає деталь до призми і закріплює її.

Для того, щоб планка не оберталася навколо осі штока, в корпусі встановлена направляюча, що вставлена верхнім кінцем в отвір втулки, яка запресована в планку.

Для звільнення деталі повітря подають до отвору Е в плиті. Поршень піднімається вгору і притискна планка звільняє деталь.

Для напрямлення свердла при свердлінні отвору в деталі використовується кондукторна втулка, яка встановлена в кутнику і закріплена гвинтом.

Поршень ущільнений в гільзі двома гумовими кільцями круглого січення. Шток ущільнений в корпусі гумовим манжетом.

Для перевірки правильності спроектованого пристрою та раціональності його застосування, розрахуємо собівартість пристосування:

$$C_{np.} = C_{y.d.} \cdot D_{np.} \cdot K_{скл.}, \text{ де}$$

$$C_{y.d.} \leq 4 \text{ грн. – вартість однієї умовної деталі пристосування ;}$$

$$D_{np.} \text{ – кількість деталей пристосування ;}$$

$$K_{скл.} = 1 \text{ – коефіцієнт складності;}$$

$$C_{np.} = 4 \cdot 22 \cdot 1 = 88 \text{ грн.}$$

Річні затрати на використання пристосування :

$$C_{np.p.} = C_{np.} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100} \right),$$

$$A = 1 \text{ – строк амортизації, год;}$$

$$q \text{ – річні витрати, пов'язані з експлуатацією пристосування } (q = 20\% \cdot C_{np.}).$$

$$C_{np.p.} = 88 \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{20}{100} \right) = 105,6 \text{ грн.}$$

Ми бачимо, що затрати на використання даного пристосування невеликі, тому його застосування економічно вигідно.

3.2 Пристрій для контролю

При встановленні деталі в пристрій, в отвір, що потрібно проконтролювати встановлюємо вимірний циліндр. Повернувши деталь до упора, вимірний конус впреться в шпалу. Стрілка на кінці конуса показує відхилення від співвісності.

Висновки. Спроековано пристрій для свердління. Деталь встановлюють на опорні штифти так, щоб вона впиралась в регульований упор. До отвору в корпусі подають стиснуте повітря. Поршень з штоком під тиском повітря опускається вниз. На штоці закріплена планка, з якою з'єднана притискна планка. Планка притискує деталь до призми і закріплює її.

Для напрямлення свердла при свердлінні отвору в деталі використовується кондукторна втулка, яка встановлена в кутнику і закріплена гвинтом.

Спроектовано пристрій для контролю. При встановленні деталі в пристрій, в отвір, що потрібно проконтролювати встановлюємо вимірний циліндр. Повернувши деталь до упора, вимірний конус впреться в шпалу. Стрілка на кінці конуса показує відхилення від співвісності.

4. НАУКОВА ЧАСТИНА

4.1. Проведення експерименту

Матеріал для експериментальних зразків вибирали з міркувань найпоширеніших матеріалів в машинобудуванні, це конструкційна вуглецева якісна сталь – Сталь 45, сірий чавун - СЧ15 і алюмінієвий сплав – Ал 9. Хімічний склад і їх механічні властивості вказані в таблицях 4.1 - 4.5.

Таблиця 4.1 - Хімічний склад сталі 45, %

C %	Mn %	Si %	Cr %	S %	P %	Ni %	Cu %	AS%
			не більше					
0,42 – 0,5	0,5-0,80	0,17-0,37	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Таблиця 4.2 - Механічних властивостей поковок сталі 45

Режим термообробки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_y	δ_5	Ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ не більше
		МПа		%			
		не менше					
Нормалізація	100-300			19	42	39	143-179
	300-500	245	470	17	35	34	
	500-800			15	30	34	
	До 100			20	40	44	156-197
	100-300	275	530	17	38	34	
Загартування.	300-500	275	530	13	30	29	156-197
Відпустка.	До 100			17	38	39	167-207
	100-300	315	570	14	35	34	
	300-500			12	30	29	
Нормалізація.	До 100	345	590	18	45	59	174-217
Загартування.	100-300	345	590	17	40	54	174-217
Відпустка.	До 100	395	620	17	45	59	187-229

Технологічні властивості: температура кування 1250⁰ - з початку, 800 - 850⁰ з кінця, низька корозійна стійкість, модуль пружності 21350 МПа.

Таблиця 4.3 - Хімічний склад матеріалу СЧ15, %

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

Характеристика - сірий чавун СЧ15, широко застосовується в машинобудуванні і не є суцільним металом, а пористою металевую структурою - сплав заліза з графітом, пори якої заповнені рихлою неметалічною речовиною - графітом.

Таблиця 4.4 - Хімічний склад в % матеріалу Ал 9

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Pb	Be	Mg	Zn	Sn
до 1.5	6 - 8	до 0.5	89.6 - 93.8	до 0.2	до 0.05	до 0.1	0.2 - 0.4	до 0.3	до 0.01

Таблиця 4.5 - Механічні властивості матеріалу Ал 9

Матеріал	Межа міцності при розтягуванні, кгс/мм ²	Відносне подовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідкотекучість (мм)
Ал 9	16-19	2-4	50	1,0	770

З Ал 9 виготовляють тонкостінні складні деталі (корпуси насосів, блоки двигунів, деталі приладів та ін.), що працюють при температурах не вище 200⁰ С.

Для проведення експериментів застосовувалися свердла діаметрами: Ø 1, Ø 2, Ø 3, Ø 4, Ø 5 мм середньої серії довжин і довгій серії. Для експериментів відбиралися свердла з матеріалу Р6М5 з діаметральним розміром в межах допуску, з різницею передніх кутів γ , що не перевищує 30' і довгої перемички, рекомендованою довідковою літературою.

У таблиці 4.6. представлені стандартні свердла нормальної точності довгої серії зі швидкорізальної сталі Р6М5 найбільш поширені при свердлінні глибоких отворів діаметром 1÷5мм (рис. 4.1).

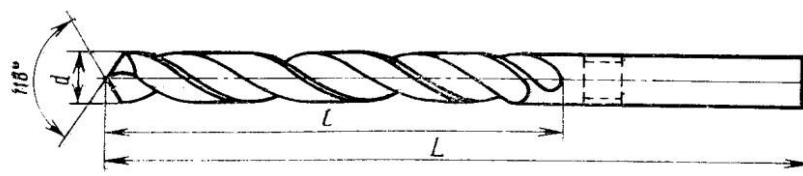


Рисунок 4.1 - Стандартне свердло P6M5

Таблиця 4.6 - Геометричні параметри стандартних спіральних свердел з циліндричним хвостовиком діаметром 1÷5 мм

Позначення	d, мм	L, мм	l, мм
2300-5231	1	56	33
2300-0001	2	85	56
2300-0015	3	100	66
2300-0027	4	119	78
2300-0034	5	132	87

Сталь P6M5 - інструментальна швидкорізальна сталь, вживана для усіх видів різального інструменту при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей; переважно для виготовлення різьбонарізного інструменту, а також інструменту, працюючого з ударними навантаженнями. Хімічний склад матеріалу свердла представлено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Хімічний склад в % матеріалу P6M5

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
0.82 - 0.9	до 0.5	до 0.5	до 0.4	до 0.025	до 0.03	3.8 - 4.4	4.8 - 5.3	5.5 - 6.5	1.7 - 2.1	до 0.5

Враховуючи вимоги, що пред'являються до процесу свердління отворів діаметром до 5мм, якнайповніше використання різальних властивостей інструменту, його стійкості, а також забезпечення технологічних вимог потрібно прагнути вести обробку з максимально допустимою подачею, яка прямо пропорційна осьовій силі P_0 .

4.2 Математична модель розрахунку впливу діаметру інструменту і твердості матеріалу при свердлінні отворів

В процесі експериментальних досліджень за чинники, що змінюються (змінні), були прийняті:

d_i - діаметр різального інструменту;

$HВ$ - твердість оброблюваного матеріалу;

l_i - виліт інструменту за торець шпинделя.

Проведення повного факторного експерименту типу 2^3 для свердління отворів з використанням силової головки здійснювалося на експериментальному стенді. Для випадку обробки отворів при задаванні розміру від отвору до бази свердлом, закріпленим в шпинделі головки точність обробки оцінювалася полями розсіяння ω_B і ω_o . В загальному вигляді запропонована наступна функціональна залежність для визначення практичного поля розсіяння розміру від бази (ω_B) або позиційного відхилення (ω_o):

$$\omega_{\text{вiо}}=f(d_i, HВ, l_i)$$

де d_i - діаметр оброблюваного отвору, мм; $HВ$ – твердість оброблюваного матеріалу, МПа; l_i - виліт інструменту за торець шпинделя, мм.

Таблиця 4.8 - Статистичні характеристики розподілу розмірів від базової поверхні до осі отвору

Статистичні характеристики	Точки плану експерименту										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
\bar{X} , мкм	0,3833	0,323	0,558	0,426	0,484	0,533	0,599	0,538	0,451	0,401	0,545
σ , мкм	0,0958	0,0952	0,158	0,107	0,129	0,135	0,177	0,161	0,117	0,110	0,118
W , мкм	0,4	0,35	0,6	0,4	0,52	0,55	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Поле розсіяння розмірів від бази ω_B , мкм	0,735	0,730	1,214	0,822	0,975	1,037	1,359	1,236	0,898	0,848	0,806
λ	0,479	0,544	0,526	0,535	0,496	0,49	0,59	0,536	0,39	0,366	0,393

α	0,665	0,56	0,693	0,88	0,68	0,738	0,83	0,776	0,336	0,17	0,346
----------	-------	------	-------	------	------	-------	------	-------	-------	------	-------

Таблиця 4.9 - Статистичні характеристики розподілу відхилень

розташування осей отворів

Статистичні характеристики	Точки плану експерименту										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
\bar{X} , мкм	0,991	0,901	0,903	0,994	0,998	1,309	1,365	1,449	0,924	0,948	0,933
σ , мкм	0,306	0,252	0,401	0,333	0,366	0,375	0,415	0,408	0,308	0,316	0,311
W , мкм	1,6	1,5	2,4	2,0	2,2	2,25	2,5	2,45	1,95	1,9	1,9
Поле розсіяння розмірів від осі ω_B , мкм	2,065	1,701	5,281	2,447	3,203	4,54	6,632	6,181	2,079	2,133	2,099
λ	0,341	0,336	0,334	0,333	0,332	0,333	0,332	0,333	0,316	0,333	0,327
α	-0,2	0,035	-0,39	-0,26	0,184	0,05	0,11	0,025	-0,31	-0,48	-0,4

У кожній точці плану експерименту об'єм випробувань дорівнює великим вибіркам ($N=50$ шт.). Статистичні характеристики розподілів представлені в табл. 4.8 і табл. 4.9:

Без направлення різального інструменту прийняті логарифми d_i , H_B і l_i . Рівні і інтервали зміни змінних чинників приведені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 - Робоча матриця плану експерименту типу 2^3

Точки плану ПФЕ	Рівні поєднання чинників								Y_{II}			
	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Y_B		Y_O	
	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	ω_B	$\lg \omega_B$	ω_O	$\lg \omega_O$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	735	2,8663	2,065	3,3149
2	+	+	-	-	-	-	+	+	730	2,8633	1701	3,2310
3	+	-	+	-	-	+	-	+	1214	3,0842	5,281	3,7227
4	+	+	+	-	+	-	-	-	822	2,9149	2247	3,3516
5	+	-	-	-	+	-	-	+	975	2,989	3203	3,506
6	+	+	-	+	-	+	-	-	1037	3,0157	4541	3,6572
7	+	-	+	+	-	-	+	-	1359	3,1332	6532	3,8216

8	+	+	+	+	+	+	+	+	1236	3,092	6181	3,7911
9	+	0	0	0	0	0	0	0	898	3,953	2079	3,3179
10	+	0	0	0	0	0	0	0	848	2,928	2133	3,3290
11	+	0	0	0	0	0	0	0	906	2,9557	2099	3,322

Таблиця 4.11 - Область зміни незалежних чинників при свердлінні отворів силовою голівкою без направлення різального інструменту

Рівень варіювання	Незалежні чинники і їх логарифми					
	діаметр інструменту		твердість оброблюваного матеріалу		виліт різального інструменту	
	\bar{X}_1	X_1	\bar{X}_2	X_2	\bar{X}_3	X_3
	d_i , мм	$\log d_i$	НВ, МПа	$\log \text{НВ}$	l_i , мм	$\log l_i$
Верхній(+1)	3,0	0,4771	1930	3,2856	30	1,4771
Нульовий(0)	2,0	0,301	1240	3,0934	23	1,3617
Нижній(- 1)	1,0	0	550	2,7404	16	1,2041
Інтервал варіювання	-	0,2386	-	0,2726	-	0,1365

Таблиця 4.12 - Кодоване значення чинників при свердлінні отворів силовою голівкою без направлення різального інструменту

Найменування чинника	Код	Кодоване значення чинників
Діаметр інструменту	Z_1	$(\log d_i - 0,301)/0,2386$
Твердість оброблюваного матеріалу	Z_2	$(\log \text{НВ} - 3,0934)/0,2726$
Виліт інструменту	Z_3	$(\log l_i - 1,3617)/0,1365$

За результатами експериментів (табл. 4.10) розраховані коефіцієнти регресії і отримані шукані математичні моделі полів розсіяння розмірів від бази і позиційних відхилень. Математична модель розсіювання розмірів від бази можна записати:

$$Y_B = 2,995 - 0,0240 Z_1 + 0,0612 Z_2 + 0,0626 Z_3 - 0,0292 Z_4 + 0,0197 Z_5 - 0,00613 Z_6 + 0,01299 Z_7$$

– для поля розсіяння позиційного відхилення:

$$Y_O = 3,54951 - 0,0418 Z_1 + 0,1222 Z_2 + 0,1444 Z_3 - 0,059 Z_4 + 0,0319 Z_5 - 0,00989 Z_6 + 0,013 Z_7$$

Параметри статистичного аналізу моделей по моделях при свердлінні отворів силовими головками (без направлення різального інструменту) зведені в табл.4.13.

Таблиця 4.13 - Параметри статистичного аналізу моделей при свердлінні отворів силовими голівками (без направлення різального інструменту)

Параметри статистичного аналізу	Значення параметрів	
	Y _B	Y _O
Критерій Фішера (F _{таб} = 99,0), F	4,11	26
Критерій Стьюдента (t _{таб} = 9,925), t	9,499	6,626

В результаті статистичного аналізу можна записати:

$$\hat{Y}_B = 2,999 - 0,0240Z_1 + 0,0612Z_2 + 0,0626Z_3 - 0,0292Z_4$$

$$\hat{Y}_O = 3,54951 - 0,0418Z_1 + 0,1222Z_2 + 0,1444Z_3 - 0,059Z_4$$

Гіпотезу про адекватність представлення результатів дослідження точності обробки без направлення різального інструменту можна вважати правильною, тобто перевірки як за критерієм Фішера (F), так і за критерієм Стьюдента (t) показали, що розрахункові значення цих критеріїв менші за табличні.

Перетворимо кодові значення залежностей в логарифмічні:

$$\lg \omega_B = 1,2907 + 1,289 \lg d_i + 0,3598 \lg HB + 0,4591 \lg l_i - 0,499 \lg d_i \lg HB$$

$$\lg \omega_O = - 0,689 + 2,6308 \lg d_i + 0,721 \lg HB + 1,058 \lg l_i - 0,9071 \lg d_i \lg HB$$

Потенціюючи рівняння, отримуємо залежності експериментальних полів розсіяння за розміром від бази:

$$\omega_B = 19,6 \frac{HB^{0,36} \cdot l_i^{0,46}}{d_i^{0,91} \cdot \lg HB - 2,6308}$$

– по позиційному відхиленню осі отвору:

$$\omega_0 = 0,863 \frac{l_i^{1,058} \cdot HB^{0,72}}{d_i^{0,91} \cdot \lg HB^{-2,6308}}$$

Рівняння і можна використати при наступних межах досліджуваних чинників : - HB 500-2500 МПа; $d_i = 0,8 - 3,5$ мм; $l_i = 8 - 40$ мм

Із залежностей видно, що поля розсіяння ω_B і ω_0 при збільшенні діаметру інструменту d_i зменшуються. Збільшення вильоту інструменту, а також підвищення твердості оброблюваного матеріалу деталі збільшує поля розсіювання вказаних параметрів. Питома вага впливу чинників на точність обробки координованих отворів при нульовому рівні варіювання представлена в табл. 4.14.

Таблиця 4.14 - Питома вага чинників при свердлінні

Чинники	Питома вага чинників, в %	
	ω_B	ω_0
d_i	13,5	11,0
HB	34,5	33,0
l_i	35,0	39,0
Спільний вплив d_i і HB	17,0	17,0

З табл. 4.14 видно, що найбільший вплив робить виліт різального інструменту l_i - 35-39%. Питомий вплив діаметру інструменту позначається у меншій мірі і складає від 11% до 13%. Механічні властивості оброблюваного матеріалу деталі роблять також істотний вплив (близько 33-34,5%). Спільний вплив діаметру і твердості матеріалу - чинник, що визначає навантаження на інструмент, впливає менш істотно, приблизно 17%. Графіки зміни полів розсіяння представлені на рис. 4.2 -4.5.

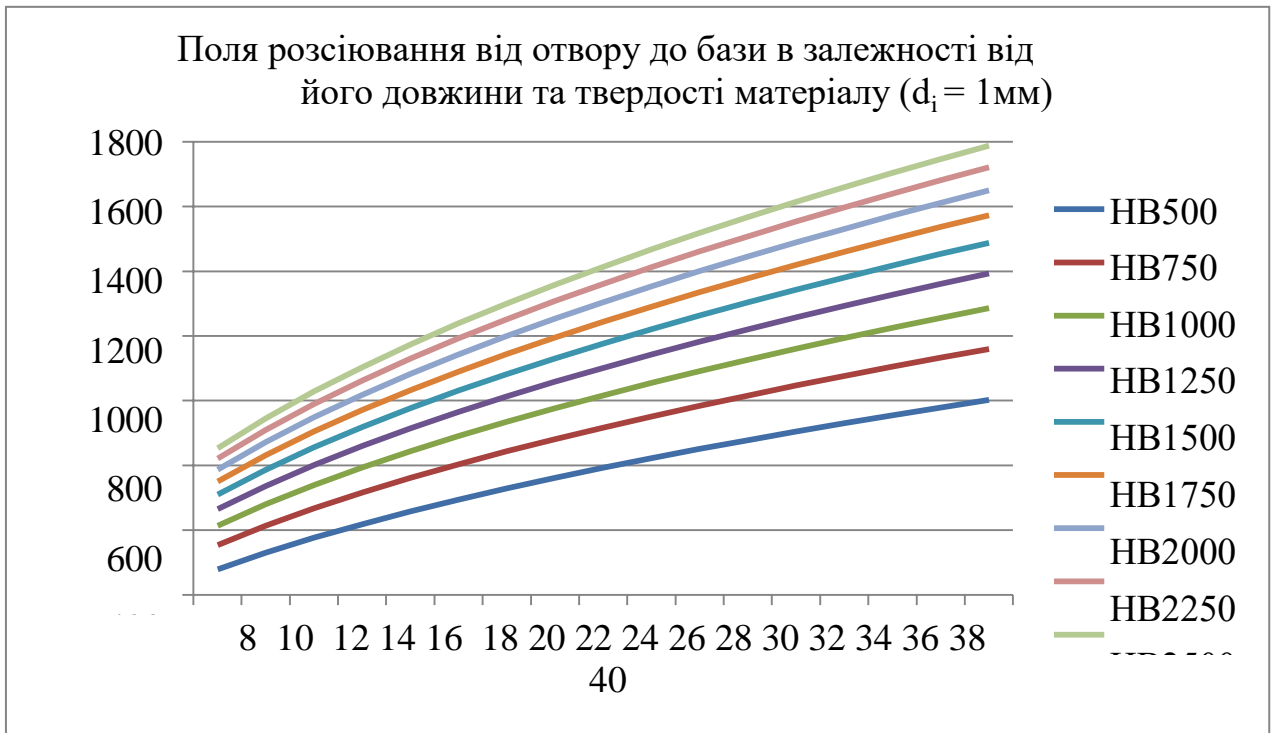


Рисунок 4.2 - Залежності поля розсіювання ω_b від довжини свердла та твердості матеріалу при обробці без направлення ріжучого інструменту

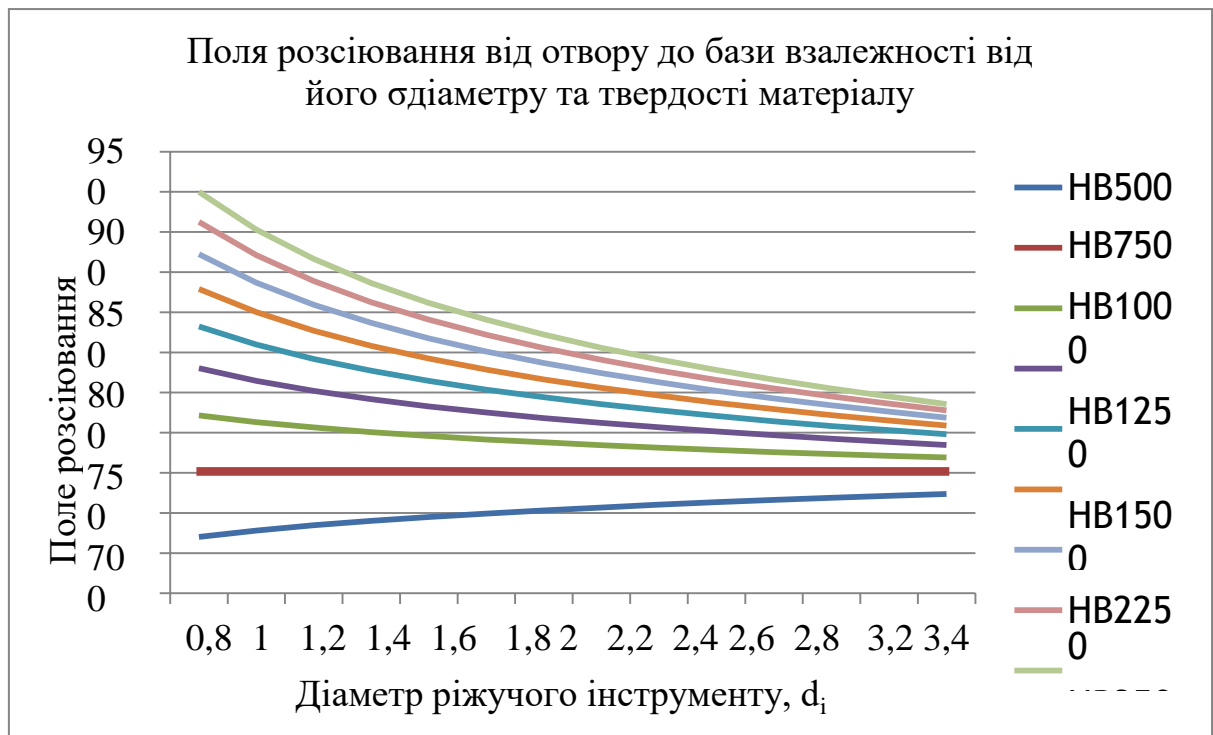


Рисунок 4.3 - Залежності поля розсіювання ω_b від діаметру свердла та твердості матеріалу при обробці без направлення ріжучого інструменту

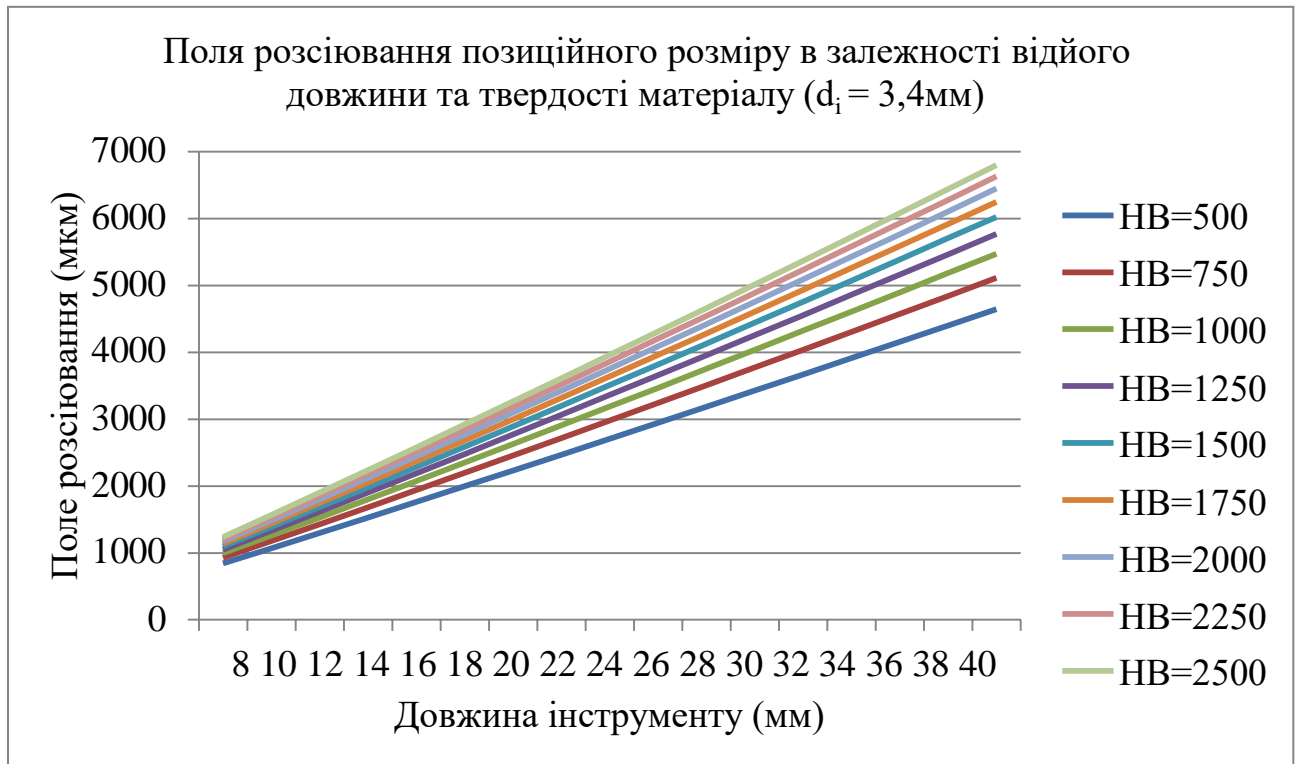


Рисунок 4.4 - Залежності поля розсіювання ω_0 від довжини свердла та твердості матеріалу при обробці без направлення ріжучого інструменту

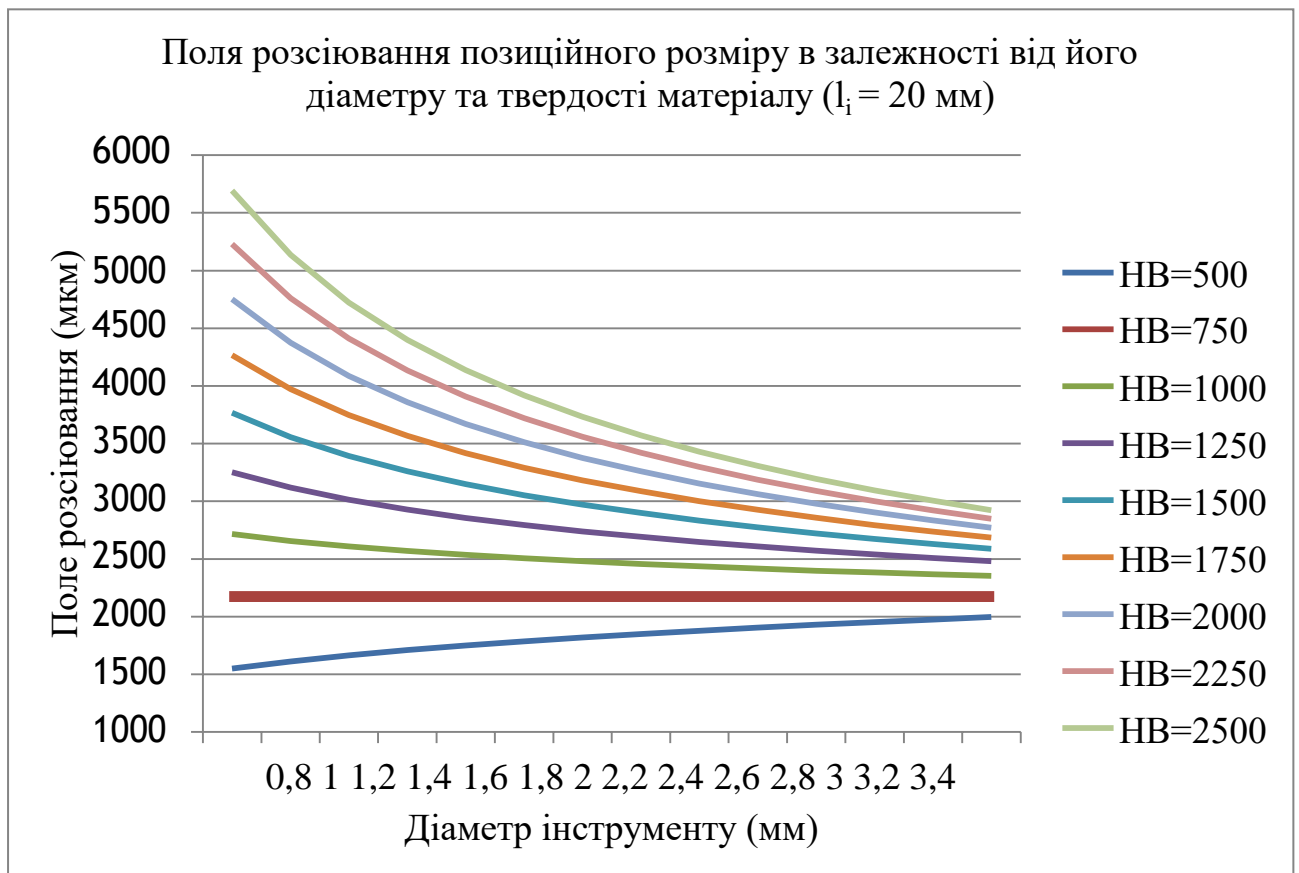


Рисунок 4.5 - Залежності поля розсіювання ω_0 від діаметру свердла та твердості матеріалу при обробці без направлення ріжучого інструменту

З рисунків 4.2 - 4.5 видно, що із збільшенням довжини інструменту, тобто глибини отвору, поле розсіювання збільшується. Також поле розсіювання збільшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність має майже лінійний характер.

З аналізу рисунків 4.2 - 4.5 також можна зробити висновок, що із збільшенням діаметру інструменту, тобто діаметру отвору, поле розсіювання зменшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність значно більша при малих діаметрах, а при діаметрах, більших 2 мм., має майже лінійний характер.

Висновки. За результатами експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. При свердлінні отворів без направлення ріжучого інструменту з обмеженнями: - НВ 500-2500 МПа; $d_i = 0,8 - 3,5$ мм; $l_i = 8 - 40$ мм. найбільший вплив робить виліт різального інструменту l_i - 35-39%. Питомий вплив діаметру інструменту позначається у меншій мірі і складає від 11% до 13%. Механічні властивості оброблюваного матеріалу деталі роблять також істотний вплив (близько 33-34,5%). Спільний вплив діаметру і твердості матеріалу - чинник, що визначає навантаження на інструмент, впливає менш істотно, приблизно 17%.

2. Графіки зміни полів розсіювання показали, що із збільшенням вильоту різального інструменту, поле розсіювання збільшується. Також поле розсіювання збільшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність має майже лінійний характер. Також можна зробити висновок, що із збільшенням діаметру інструменту, тобто діаметру отвору, поле розсіювання зменшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність значно більша при малих діаметрах, а при діаметрах, більших 2 мм., має майже лінійний характер.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень вирішено наукову задачу підвищення ефективності свердління глибоких отворів в деталях конструкційного призначення на основі встановлення зв'язку між точністю обробки та діаметром інструменту і твердістю матеріалу.

1. В цілому огляд опублікованих робіт дозволяє зробити висновок про важливість наукового і прикладного значення методів оцінювання якості та забезпечення взаємозамінності отворів в машинобудуванні, особливо це стосується глибоких отворів.

Таким чином, на сьогоднішній день згідно з дослідженнями, найбільший вплив на утворення відведення і непрямої осі робить биття поверхні обробленої частини отвору, а також биття кондукторної втулки. Биття отвору у свою чергу може викликатися рядом причин, відведенням осі і викривленням заготовки внаслідок перерозподілу залишкової напруги в процесі обробки отвору, деформацій заготовки при закріпленні на верстаті та ін. Тому як на практиці, так і в подальшому викладі увага приділяється усуненню причин, що призводять до биття поверхні обробленого отвору.

2. Розглянутий у випускній магістерській роботі корпус 00.011 належить до класу корпусних деталей. Проведено якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі. Визначено тип та організаційну форми виробництва.

Проведено економічне обґрунтування методу отримання заготовки, методу обробки поверхонь. Вибрано та розрахунково обґрунтовано бази. Вибрано технологічний маршрут обробки деталі. Проведено розрахунок припусків на поверхні, розмірно - точносний аналіз технологічного процесу. Визначено режими різання і вибрано технологічного обладнання. Визначено норми часу технологічного процесу.

3. При свердлінні отворів без направлення ріжучого інструменту з обмеженнями: - НВ 500-2500 МПа; $d_i = 0,8 - 3,5$ мм; $l_i = 8 - 40$ мм. найбільший вплив робить виліт різального інструменту l_i - 35-39%. Питомий вплив діаметру

інструменту позначається у меншій мірі і складає від 11% до 13%. Механічні властивості оброблюваного матеріалу деталі роблять також істотний вплив (близько 33-34,5%). Спільний вплив діаметру і твердості матеріалу - чинник, що визначає навантаження на інструмент, впливає менш істотно, приблизно 17%.

4. Графіки зміни полів розсіювання показали, що із збільшенням вильоту різального інструменту, поле розсіювання збільшується. Також поле розсіювання збільшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність має майже лінійний характер. Також можна зробити висновок, що із збільшенням діаметру інструменту, тобто діаметру отвору, поле розсіювання зменшується при усіх варіантах твердості матеріалу. Така залежність значно більша при малих діаметрах, а при діаметрах, більших 2 мм., має майже лінійний характер.

5. Спроековано пристрій для свердління отвору в деталі на радіально-свердлильному верстаті моделі 2М55. Вибрано і обґрунтовано принципу дії, структурні схеми. Проведено силовий розрахунок параметрів приводу. Проведено розрахунок на точність. Дано загальний опис конструкції, принцип дії. Спроековано пристрій для контролю. Дано загальний опис конструкції та принцип дії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
2. Якімов О.В. Технологія машино- та приладобудування: навчальне видання / О.В. Якімов, В.І. Марчук. - Луцьк, 2005. – 710с.
3. Божидарнік В., Григорєва Н., Шабайкович В. Технологія виготовлення виробів: навчальний посібник / В. Божидарнік, Н. Григорєва, В. Шабайкович. – Л.: Надстиря, 2006. – 592с.
4. Гарнець В. М. Механічна обробка заготовок різанням: навч. посібник / В. М. Гарнець [та ін.]. – К. : КНУБА, 2008. – 164 с.
5. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування : підручник / Мельничук П.П., А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005.
6. Паньків М.Р., Бугайчук В.Я. Аналіз технологій глибокого свердління отворів /М.Р. Паньків, В.Я. Бугайчук// Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.
7. Пестунов, В. М. Решение проблем глубокого сверления в металлообработке / В. М. Пестунов, В. В. Свяцкий, Л. П. Свяцкая // Вестник НТУУ „КПИ”. Машиностроение. – К.: НТУУ „КПИ”, 2006. – № 49. – С. 173-178.
8. Свяцький В. В. Шляхи підвищення ефективності обробки глибоких отворів. Оцінка можливості розв’язку завдання найпростішими засобами / В. В. Свяцький, О. В. Скрипник // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: матеріали XVIII міжнар. наук.-техн. конф., 29 чер. – 1 лип. 2017 р., Київ, Україна. – К.: Політехніка. – С. 259-261.
9. Пестунов В. М. Оптимізація процесу обробки глибоких отворів / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, С. В. Придворова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування,

автоматизація: зб. наук. пр. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 200-210.

10. Пестунов В. М. Підвищення ефективності процесу обробки глибоких отворів спіральними свердлами / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, Л. П. Свяцька // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – Вип. 22. – С. 335-340.

11. Пестунов В. М. Збільшення продуктивності процесу глибокого свердління підвищенням жорсткості встановлення свердла / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, Л. П. Свяцька // Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008: materiały IV międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 07 – 15 listopada 2008 roku, Przemysł, Rzeczpospolita Polska. – Przemysł: Nauka i studia, 2008. – Тум 13. Techniczne nauki. – S. 89-91. ВІСНИК ХНТУ №2(61), 2017 р. ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ 113

12. Пестунов В. М. Підвищення продуктивності процесу глибокого свердління при накладанні на інструмент осьових коливань / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, Л. П. Свяцька // Naukowa myśl informacyjnego wieku – 2009: materiały V międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, 07 – 15 marca 2009 roku, Przemysł, Rzeczpospolita Polska. – Przemysł: Nauka i studia, 2009. – Vol. 15. Techniczne nauki. Budownictwo i architektura. – S. 33-35.

13. Пестунов В. М. Розвантаження свердла при комбінованій обробці глибоких отворів / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, Л. П. Свяцька // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – Вип. 20. – С. 166-168.

14. Пестунов В. М. Механізми розвантаження інструменту при свердленні глибоких отворів / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, С. В. Придворова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування,

автоматизація: зб. наук. пр. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 219-223.

15. Dreus, A. Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes [Text] / A. Dreus, A. Kozhevnikov, K. Lysenko, A. Sudakov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2016. – № 3/7 (81). – P. 41–46. doi: 10.15587/1729-4061.2016.71995

16. Ertunc, H. A decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in drilling [Text] / H. Ertunc, K. Loparo // *International Journal of Machine Tools and Manufacture.* – 2001. – № 41 (9). – P. 1347 – 1362. doi: 10.1016/s0890-6955(00)00111-5

17. Li, H. Research on deep drilling [Text] / H. Li // *Applied Mechanics and Materials.* – 2012. – № 101–102. – P. 1101–1104.

18. Васильєв А. В. Підвищення ефективності глибокого свердління сталевих заготовок [Текст] / А. В. Васильєв, С. В. Попов, І. В. Тимошенко // *Галузеве машинобудування, будівництво.* – 2014. – № 2 (41). – С. 206 –212.

19. Підвищення ефективності глибокого свердління спіральними свердлами при обробці деталей з матеріалу сталь 40/ Є. А. Васильєв, С. В. Попов, А. В. Васильєв// *Вісник НТУ «ХПІ».* Серія: *Механікотехнологічні системи та комплекси.* – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.75–79. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

20.Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Machado, J., Yarmoliuk, S., Zaleta, O. (2021). Influence of the Cutting Temperature on the Surface Layer Quality When Grinding Sintered Porous Materials. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Springer, Cham / URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_45.

21.Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Halchuk, T., Zaleta, O., Cagaňová, D. (2022). Investigation of the Surface Layer Hardness When Grinding Sintered Porous Workpieces. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture*

Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_35