

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»**

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)
(освітньо-професійний рівень)

на тему

Удосконалення технологічного процесу виготовлення
гільзи циліндра 655.52.59 шляхом застосування
високопродуктивних інструментів та оснастки

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-01
спеціальності:

131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми:

«Технології машинобудування»
(назва освітньої програми)

Даніїл КОБА
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Павло КУШНІРОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

Сергій БОНДАРЕВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2021 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет _____
Кафедра _____
технічних систем та енергоефективних технологій
технології машинобудування, верстатів та
інструментів

Освітньо-науковий рівень _____
другий (магістерський)
(назва)

Спеціальність _____
131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва)

Освітня програма _____
«Технології машинобудування»
(назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

_____ *Віталій ІВАНОВ*

« _____ » _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Коба Данііл Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) _____
Удосконалення технологічного процесу виготовлення
гільзи циліндра 655.52.59 шляхом застосування високопродуктивних
інструментів та оснастки

керівник проєкту _____
Кушніров Павло Васильович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.11.2021 року № 0911-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) _____ 10.12.2021 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

3.1 Робоче креслення деталі «гільза циліндра 655.52.59».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 1000 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «гільза циліндра 655.52.59».

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

4.1 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу виготовлення деталі

4.2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі

4.3 Наукове дослідження

4.4 Формулювання висновків та рекомендацій щодо запропонованого

технологічного процесу виготовлення деталі

4.5 Аналіз питань щодо охорони праці та безпеки у надзвичайній ситуації

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

6. Інша конструкторська та технологічна документація

Комплект документів на технологічний процес виготовлення деталі

«гільза циліндра 655.52.59»

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання « 01 » 09 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі		
2	Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі		
3	Наукове дослідження		
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
5	Оформлення пояснювальної записки		
	Оформлення комплекту технологічної документації		
	Оформлення креслень та презентації		

Студент

(підпис)

Данійл КОБА

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

Павло КУШНІРОВ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

« _____ » _____ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
гільзи циліндра 655.52.59 шляхом застосування
високопродуктивних інструментів та оснастки**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Даніїл КОБА

Керівник

Павло КУШНІРОВ

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі.....	8
1.1.Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис її конструктивних особливостей та умов експлуатації.....	9
1.2.Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі.....	9
1.2.1. Опис базових операцій технологічного процесу виготовлення гільзи циліндра двигуна.....	10
1.3. Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	15
1.3.1. Основні пошкодження гільзи, методи їх усунення.....	15
1.4.Класифікація гільз та місця їх застосування. Аналіз технологічності конструкції деталі	16
1.4.1. Основні пошкодження гільзи, методи їх усунення.....	16
1.5. Службове призначення гільзи циліндра і умови її експлуатації в двигуні.....	17
1.6. Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	18
2. Удосконалення технологічного процесу виготовлення гільзи циліндра двигуна	
2.1. Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального.....	20
2.1.1. Розробка та обґрунтування маршрутного листа для обробки деталі для великосерійного виробництва.....	22
2.2. Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.....	23
2.2.1. Вибір способу виготовлення та матеріалу для виробництва гільзи циліндра.....	24
2.2.2. Кількісний аналіз технологічності деталі.....	26
2.3. Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.....	28
2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу для ліній.....	31

2.4.1. Розмірний аналіз технологічного процесу. Розрахунок для гільзи циліндра двигуна.....	33
2.5. Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення...	33
2.5.1. Вибір методу закріплення для деталі «гільза циліндра».....	35
2.5.2. Класифікація баз. Вибір схеми базування для деталі.....	35
2.6. Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	37
2.7. Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	39
2.8. Визначення режимів різання.....	41
2.9. Технічне нормування операцій.....	50
2.10. Проектування верстатних пристроїв.....	58
3. Тема науково-дослідної частини (НДЧ) МР (вдосконалення технологій виробництва продукції з сірого та білого чавуну).....	60
3.1. Теплове оброблення як додатковий показник якості.....	71
3.1.1. Класи сірого чавуна та структурна складова залізовуглецевих сплавів.....	75
3.2. Проведення дослідів на готових деталях з сірого та білого чавуна....	78
Висновки	82
Список використаної літератури	83
ДОДАТОК А Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях на машинобудівних підприємствах	87
ДОДАТОК Б Матеріали публікації	95
ДОДАТОК В Розрахунок припусків	96
ДОДАТОК Г Креслення заготовки	97
ДОДАТОК Д Креслення маршруту обробки	98
ДОДАТОК Е Креслення наладки	99
ДОДАТОК Ж Креслення верстатного пристрою	100
ДОДАТОК З Креслення «Гільза циліндра 655.52.59»	101

ВСТУП

Гільза циліндру двигуна – це металева внутрішня втулка, у внутрішній частині якої знаходиться поршень та разом із головкою блока циліндру утворює порожнину, у якій відбувається робочий цикл. Дана деталь являється найбільш навантаженою запчастиною автомобіля, тому що на неї відбувається високий температурний тиск, а також зменшує вплив корозії.

Основні вимоги до гільз циліндрів:

1. Висока жорсткість стінок та посадочних поясків;
2. Повна герметичність стиків і сполучень;
3. Підвищений ступінь зносостійкості;
4. Мінімізація собівартості та якість технологічного процесу;
5. Точність діаметру під певний розмір.

Для того, щоб поршень прилягав більш герметично та зменшилась сила тертя використовують дзеркало циліндру (обробка поверхні з більшою частиною точності та шорсткості).

Гільзи циліндрів є самостійними конструкціями будови двигуна внутрішнього згорання, також являються складовими ремонтної технології, передбаченої підприємством-виробником.

За конструктивними особливостями гільзи сучасних двигунів ділять на групи:

1. Гільзи для двигунів з повітряним охолодженням;
2. Сухі гільзи циліндрів;
3. Мокрі гільзи циліндрів.

Актуальність проблеми. Гільза циліндру двигуна використовується в якості робочої поверхні для виготовлення блоку циліндрів. В сучасних конструкціях поверхня проходить цикл відбілювання лазером з утворенням плівки білого чугунка високої твердості. Така технологія дає можливість утримувати масло на запчастинах та зменшувати силу тертя, що підвищує термін експлуатації двигуна.

Дана деталь застосовується для автомобільного, сільськогосподарського, повітряного транспорту, будівельної техніки, компресорів, моторизованої техніки. Безпосередньо для поршневих двигунів та роторно-поршневих двигунів.

Тому дослідження в цій науково-дослідній роботі за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістра, надають можливість для вирішення завдань по підвищенню якості та продуктивності обробки гільз та є досить актуальними.

Зв'язок магістерської роботи з науковою програмою, темою, планами. Тема магістерської роботи пов'язана з одним з наукових напрямів досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ, яка містить розроблення та вдосконалення технологічних процесів, номер державної реєстрації №0116U000933.

Об'єкт дослідження - це технологічний процес виготовлення «Гільзи циліндра 655.52.59».

Предметом дослідження є деталь «Гільза циліндра 655.52.59».

Мета дослідження — це удосконалення технологічного процесу виготовлення «Гільзи циліндра 655.52.59».

Завдання досліджень:

- аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення різних гільз і удосконалення технологічного процесу;
- обґрунтування методів підвищення ефективності та продуктивності розробляемого технологічного процесу;
- розробка конструкції нового верстатного пристрою, що забезпечить високу продуктивність та якість оброблення «Гільзи циліндра 655.52.59».

Методи дослідження:

– проведення аналізу технологій, що існують, подальше узагальнення та систематизація отриманої в результаті аналізу інформації;

– синтез операцій удосконаленого технологічного процесу на основі проведеного теоретичного аналізу;

– якісний і кількісний аналіз результатів, що отримані при дослідженнях.

Наукова новизна:

– було визначено, що удосконалення техпроцесу виготовлення «Гільза циліндра 655.52.59» реалізується розробкою спеціального верстатного пристрою для токарної операції;

– було визначено, що вдосконалення амортизаційної стійкості чавуну на 30% отримується при додаванні до сплаву 0,38% титану і подальшою 6-ти годинною аустенітизацією з 1050°C. Зростання амортизаційної стійкості на 30% при використанні твердого абразиву дає позитивний результат, оскільки Al_2O_3 оптимізує різницю в амортизаційній стійкості виливків;

– було визначено, що для якісного і надійного вдосконалення чавунних виробів, гільз циліндрів включно, оптимальним варіантом є використання мідних перегородок у ливарних формах.

Практичне значення отриманих результатів досліджень. Отримані результати досліджень рекомендуються до використання на машинобудівних підприємствах.

Власний внесок здобувача у дослідження. Результати досліджень в роботі було отримано здобувачем спільно з його науковим керівником.

Апробація результатів дослідження: Матеріали магістерської роботи апробовані на VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції (м. Суми, СумДУ, 20–23квітня 2021р.) «Сучасні технології у промисловому виробництві».

Публікація: тези конференції [45] (див. додаток Б):

Коба, Д.Р. Застосування евристичних прийомів при проектуванні верстатних пристроїв [Текст] / Д.Р. Коба, П.В. Кушніров // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 20–23квітня 2021р.) / редкол.: О.Г. Гусак, І.В. Павленко. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – С. 39.

Структура магістерської роботи: вступ, 2 розділи, перелік літератури з 45 найменувань, 6 додатків. Обсяг роботи 101 сторінок.



1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1. Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис її конструктивних особливостей та умов експлуатації

Головною особливістю при експлуатації гільзи, на яку слід звернути увагу, являється дзеркало циліндра, це наявність слідів обробки у вигляді невеличких канавок. У випадку допуску до роботи дзеркала циліндра в такому вигляді, після декількох місяців експлуатації вершинки канавок зітруться, після чого утворяться зазори, що призведе до втрати компресії двигуна. Тому для того, щоб досягти гладкої поверхні, необхідно притирати гільзу чавунним розжимним притиром. По мірі необхідності притир розжимають, закручуючи гвинт. Після закінчення притирки, гільзу циліндра необхідно ретельно промити в бензині.

Гільза циліндра 655.52.59 входить в блок циліндрів, які є базовою деталлю двигунів, що складаються з чотирьох вертикально розміщених циліндрів, які встановлюються на тракторі «ЧТЗ».

Технічна характеристика:

Кузов закритий, несучий чотири дверний

Задній привід оснащений карбюраторним, чотирьохциліндровим, верхньоклапанним

Робочий об'єм двигуна – 2,45

Діаметр циліндра - 94 мм

Хід поршню - 90мм

Порядок роботи циліндрів 1-2-4-3

Потужність - 195 к.с.

Максимальний крутний момент - 2450 об/хв

Двигун перетворює теплову енергію, отриману при згоранні палива в циліндрах, в механічну роботу. Якщо в циліндр ввести заряд горючої суміші,

необхідної для підтримки горіння, а потім його запалити електричною іскрою, виділиться велика кількість тепла і тиск в циліндрі підвищиться. Тиск від газів, що розширилися передається в усі сторони, в тому числі і на поршень, примушуючи його рухатись. Так як поршень шарнірно з'єднаний з головкою шатуна за допомогою пальця, а нижче головка шатуна рухомо закріплена на шийці колінчастого валу, то при переміщенні поршня разом з шатуном обертається колінчастий вал і закріплений на його кінці маховик. При цьому прямолінійний рух поршня за допомогою шатуна і колінчастого вала перетворюється в обертальний рух маховика. Після розширення газів в циліндрі поршень, переміщуючись вниз, поновлює запас енергії маховика за рахунок якої поршень переміщується вгору, клапан впускного отвору відкривається і відпрацьовані гази виходять з циліндру в атмосферу.

1.2. Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі

Блоки циліндрів двигуна поділяються на 2 види: лінійні та V-форми, в яких використовуються як сухі, так і мокрі гільзи. Також блоки циліндрів поділяються на 1 та 2-рядні з нижнім та верхнім положенням клапанів. Переважне число циліндрів у двигунах від 6 до 12.

Матеріал, що переважно застосовується для виготовлення гільз, сірий чавун з додатковими елементами: нікель, мідь, титан у невеликому відсотковому співвідношенні. Тому що використання нікелю у великій кількості зробить виробництво гільз нерентабельним, а також термовставки можна використовувати лише зверху гільзи. Чавун обов'язково має бути легованим, що мінімізує силу тертя на зовнішню стінку циліндра.

Товщина стінок чавунних гільз дорівнює 5–8 мм. Товщина стінок алюмінієвих гільз на 1,6-1,9 мм товщі, ніж у чавунних гільз циліндрів.

Знос поверхні гільзи можна визначити збільшенням діаметру, зміною геометричних розмірів на овал або конус.

При виявленні деформації більше, ніж на 0,35 мм, гільзу необхідно вилучити з двигуна та відправити в сервісний центр для шліфовки під необхідний розмір.

Заміна гільзи – це також процес, що потребує серйозної уваги, існує 2 методи заміни гільзи: перший – заміна комплекту циліндричних блоків, другий – ремонт поверхні циліндра, шляхом відновлення гільзи.

Більш ефективним є відновлення гільзи, тому що даний процес є менш затратним та відповідно не порушується герметичність поршневих кілець.

1.2.1. Опис базових операцій технологічного процесу виготовлення гільзи циліндра двигуна

1. Токарна операція

Токарська обробка - це вид технологічного оброблення деталі шляхом різання зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, особливо важливою є операція для деталей циліндричної форми, торцювання, відрізання, зняття фасок, нарізання внутрішніх і зовнішніх різьб на токарному обладнанні. Згідно оцінювання технологічного процесу виготовлення деталі важливість токарної обробки заключається в отриманні деталі потрібної форми, при недотриманні стандартів виготовлення деталі виникають деформаційні дефекти. Базовим способом виготовлення деталі безумовно є точіння, що відбувається на токарних верстатах.

За формою та розташуванням леза різці класифікуються наступним чином: інструменти з відтягнутою робочою частиною, ширина якої менша за ширину їх кріпильної частини; прямі; відігнуті.

Розрізняються різці та за метою застосування:

підрізні (обробка поверхонь, перпендикулярних до осі обертання);

прохідні (точіння плоских торцевих поверхонь);

канавальні (формування канавок);

фасонні (отримання деталі з певним профілем);

розточувальні (розточування отворів у заготівлі);

різьбові (нарізання різьблення будь-яких видів);
 відрізні (відрізання деталі заданої довжини).

Якість, точність та продуктивність обробки, що виконується на токарному верстаті, залежать не тільки від правильного вибору інструменту, а й від його геометричних параметрів. Саме тому на уроках у спеціальних навчальних закладах, де навчаються майбутні фахівці токарної справи, дуже багато уваги приділяється саме питанням геометрії різального інструменту.

Токарна обробка металів буває:

1. Обточування циліндричної поверхні – використовується для отримання потрібної форми для деталі.
2. Обточування конічної поверхні – різець розташовується під кутом до деталі, тому при знятті матеріалу створюється конічний вид;.
3. Створення різьблення – обробляється за участю ріжучого різця.
4. Точіння уступів і торців.
5. Уривок торця – укорочення торцевої поверхні виробу. В даній обробці необхідним є коректне направлення заготовки для отримання якісного виробу.
6. Накочення рифлень.
7. Розточування – відбувається за використанням розточувальних різців. Здебільшого використовується для розширення діаметра деталі.
8. Відрізання і точіння канавок – при використування відрізного різця відбувається розточування канавок необхідної глибини.
9. Розточування спіральних канавок - даний спосіб є ефективним для нарізання спіральних канавок з торця матеріалу.
10. Обробка фасонної поверхні – відбувається за участю поступальних рухів різця (фасонного типу) в направленню проти годинникової стрілки.

Особливості технологічного процесу токарної обробки:

В першу чергу для використання операції точіння необхідно звернути увагу на технологічні показники обладнання, для того, щоб пристрої обладнання відповідали сучасним технологічним вимогам при заміні чи проходженні капремонта. Токарська обробка – це процес, що суворо вимагає дотримання правил техніки безпеки, тому для введення процесу в дію необхідно дотриматись правил:

1. Розроблення документації, та підготування додаткових креслень.
2. Формулювання конструктивних параметрів майбутнього виробу.
3. Створення послідовності технологічного процесу виготовлення деталі.
4. Підбір оптимального обладнання згідно техніко-економічних розрахунків.
5. Вибір координат для креслення.

Згідно ДСТУ на підприємствах, що виготовляють продукцію великими партіями необхідно дотримуватися контролю якості, тому використовують такі контрольно-вимірювальні пристрої, – граничні калібри; При дрібносерійному виробництві – штангенциркулі, мікрометри, нутрометри.

Базовими геометричними елементами всіх різців є кути між його ріжучими кромками та напрямком, де відбувається подача. Дані кути різального пристрою називають кутами у плані. Вони поділяються:

- головний кут – ϕ , що вимірюється між головною ріжучою кромкою інструменту та напрямом подачі;
- допоміжний – ϕ_1 , розташований, відповідно, між допоміжною кромкою та напрямом подачі;
- кут при вершині різця – ϵ .

Кут при вершині залежить від гостроти інструмента, при цьому допоміжні кути можна регулювати перед запуском обладнання. При збільшенні головного кута зменшується кут при вершині, при цьому зменшується частина ріжучої кромки, що бере участь в обробці, відповідно, стійкість інструменту теж стає менше.

Для покращення технологічного процесу, для заготовок невеликого діаметра з мінімальною шорсткістю поверхні, варто використовувати головний кут $60-90^\circ$

. При обробленні поверхні великого діаметра головний кут має складати 30-45°. Допоміжний кут надає міцність та гостроту вершині різця, тому він має складати не менше 10°. Для гільзи циліндри двигуна необхідним є кут приблизно 55-60°, тому що деталь відноситься до класу середніх з діаметром обробки 120 мм.

– Операція свердління

Основними засобами при свердлінні виступають свердла. Свердла виробляють переважно з інструментальної сталі (нелегованої, легованої або швидкорізальної) окрім того, для точності операції їх вдосконалюють вставками з відрізними кромками із жорстких сталей. Під час виконання операції свердлувального верстату свердло встановлюється до шпинделя і здійснює одночасно оберт для початку різання і надходжувальних оберт подачі. Заготовка залишається нерухомою. При виконуванні операції свердління з натисканням відбувається виділення зворотних відходів у вигляді стружки.

Режим різання (найважливіший режим) при свердлінні — обертальний рух, рух подачі — поступальний. Найбільш використовуваними свердла це спіральні, що застосовуються для свердління і розсвердлення отворів, Максимальна глибина яких становить 10 діаметрів свердла. Шорсткість поверхні при завершенні операції складає 12,5...6,3 мкм. Для висвердлювання максимально точних отворів (8...9 квалітет) із шорсткістю поверхні 6,3...3,2 мкм використовують зенкери.

Точність отвору, що відбувається при свердлінні залежить від коректного підбору режиму різання, способів свердління, відповідності вимогам руху свердла паралельно поверхні заготовки та виставлення режиму так, щоб утворилась симетричність осі свердла з центром майбутнього виробу.

До режимів різання відносяться наступні параметри: швидкість різання, величина подачі і глибина різання.

– Швидкістю різання – це кругові оберти свердла, що розраховуються на його зовнішній поверхні.

– Величина швидкості різання – залежить від форми оброблюваної заготовки, діаметра поверхні та матеріалу свердла і закругленості заточки, подачі, глибини різання й охолодження.

Подача – величина пересування свердла по осі за одиницю оберта.

Коректний розрахунок подачі є важливим значенням для того, щоб не відбулося зміщення свердла при технологічному процесі. Найоптимальніший варіант це використання максимальної подачі та мінімальної швидкості різання, тоді свердло буде робити максимально точні отвори. Проте якщо свердлими отвори невеликих діаметрів, величина подачі лімітується товщиною свердла. Наїть якщо збільшити діаметр для свердління, не слід забувати про технічні характеристики верстата та їхні верхні можливості.

Глибина різання – дистанція між поверхнею обробки та віссю свердла.

Розрахунок наступності обробки отворів заготовки, допустимих похибок та матеріалу заготовки (сталь, високолегований чавун) береться з табличних показників, з яких обираються найбільш точні для даної операції.

Мінімізація тертя свердла об стінки стінки робочої площини отвором зумовлена наявністю зворотного конуса, тобто діаметр свердла у ріжучої поверхні більше, ніж на іншій частині пристрою. Дельта цих діаметрів складає приблизно 0,07-0,12 мм на 100 мм свердла. У свердел, обладнаних пластинками з твердих сплавів, протилежна конусність складає 0,12-0,15 мм на довжині пластинки.

Зуб – це виступаюча з нижнього кінця частина свердла, що має ріжучі кромки.

Зуб свердла має спинку, що є поглибленою складовою зовнішньої площини зуба, і задню площину, що є торцевою площиною ріжучої поверхні.

Площина канавки, що контролює натискання стружки, є передньою. Лінія перерізу передньої і задньої частин формує ріжучу кромку. Лінія, сформована

перерізом задніх поверхонь, представляє поперечну кромку. Її величина переважно складає 0,13 діаметра свердла.

Ріжучі кромки стиковуються між собою на серцевинами (центрами робочих поверхонь між канавками) короткою поперечною кромкою. Для покращення зносостійкості свердла серцевина потовщується при наступному свердлінні заготовки від поперечної кромки і до кінця канавок.

Свердла з конічним хвостовиком закріплюють прямо до отвору шпинделя верстата (або через перехідні втулки) і безперебійну їхню роботу забезпечує тертя між хвостовиком і стінками конічного отвору шпинделя. Свердла з циліндричним хвостовиком встановлюють до шпинделя верстата використовуючи спеціальні патрони. На кінці конічного хвостовика є лапка, що забезпечує недопущення свердла до небажаних поворотів.

1.3. Характеристика типу та організаційної форми виробництва

В технологічних процесах виготовлення деталей машин після попередньої технологічної обробки гільзи, працюють над її технічною обробкою. Найбільш типовим по технічній суті та досяжному технічному результату, являється спосіб виготовлення гільзи циліндра заключається в тому, що на стадії підготовки виконують попередню механічну і термічну обробку заготовки гільзи, проте даний спосіб в процесі проробки утворює крихкі місця на деталі, що не дає можливості досягти високої прохідності при виготовленні гільзи в процесі термообробки протягом 4-х годин. Тож, для отримання необхідного технічного результату термічну обробку створюють шляхом нагріву до закалки ділянки її зовнішньої поверхні на довжині її контакту з сорочкою охолодження та ділянки на внутрішній поверхні на довжині її контакту з поршнем. Після термічної обробки з внутрішньої та зовнішньої частини видаляють поглинаюче покриття та завершують обробку гільзи. Таким чином для запобігання утворення «іпсилон-слою» слугує лазерна обробка, що забезпечує високий ступінь приробітку та зносостійкості. Також на лазерну обробку потрібно не

більше 5 хв., завдяки чому зменшується деформація гільзи у зв'язку з невеликою кількістю підводимого тепла та незначного часу взаємодії з ним.

Задана річна програма випуску деталей «Гільза циліндра 655.52.59» - 1000 штук на рік.

1.4. Класифікація гільз та місця їх застосування. Аналіз технологічності конструкції деталі

– Мокрі гільзи – встановлюються переважно на двигунах вантажних автомобілях та на крупних промислових двигунах. Вони встановлюються в блок циліндрів двигуна з застосуванням ущільнюючих кілець, мають товщину стінок 7-15 мм та омиваються безпосередньо охолоджувальною рідиною двигуна.

– Сухі гільзи циліндрів – використовуються у випадку нетипових матеріалів блока циліндру для задоволення трибологічним вимогам. Використовуються для двигунів легкових автомобілів, мікроавтобусів та фургонів.

Сухі гільзи мають товщину декілька міліметрів.

– Циліндри з ребрами повітряного охолодження – використовуються в двигунах внутрішнього охолодження, в яких відсутній контур циркуляції охолоджувальної рідини. Циліндр з ребрами монтується на блок двигуна і охолоджується потоком повітря, що утворюється при русі.

1.4.1. Основні пошкодження гільзи, методи їх усунення

Для виявлення внутрішніх пошкоджень в корпусі гільзи застосовують метод пресування, котрий забезпечує щільний отвір гільзи.

Порожнину агрегату заповнюють гарячою водою під тиском 0,3-0,4 МПа. Присутність тріщин, сколів оцінюють по потічкам води.

Основними пошкодженнями гільзи є: амортизація дзеркала циліндра, що впливає на його герметичну щільність (дане пошкодження проявляється у

вигляді розширення його герметичної форми у вигляді бочкообразності); зміна форми і взаємного розташування верхнього та нижнього установлюваного пристосування відносно осі гільзи і циліндра; задири; подряпини.

Гільзи циліндрів, що мають значну деформацію внутрішнього діаметру, розраховують під установку додаткових ремонтних матеріалів у вигляді сталевих пластин, ставлять звернуті вставки і далі відбувається процес хонінгування внутрішнього діаметра до необхідного розміру.

Корозійні пошкодження видаляють проточним хромуванням з послідуоючій механічній обробці.

1.5. Службове призначення гільзи циліндра і умови її експлуатації в двигуні

В практиці авторемонтних підприємств переважно використовується процес відновлення пошкодженої внутрішньої поверхні гільзи циліндрів із використанням сталевих пластин.

Головними вимогами при відновленні гільзи являються забезпечення розмірів і шорсткостей відновлюваних поверхонь, їх жорсткості, міцності та симетрії відносно загальної осі, відсутність мікротріщин. Також обов'язковою вимогою є проектування маршрутного технологічного процесу збору виробу.

Основними операціями технологічного процесу виготовлення гільз являються:

1. Підготовка гільз під облицювання пластинами;
2. Виготовлення пластин;
3. Облицювання внутрішньої поверхні гільз циліндрів пластинами;
4. Обробка гільз циліндрів після облицювання.

Підготовка гільз циліндрів під облицювання пластинами закінчується в їх розточуванні під запресування звернутих пластин.

Суть виготовлення пластин складається в підборі сталеві стрічки для різання її на мідні пластини, виборі товщини пластини, визначення натягу при

запресуванні й зусиль запресування, визначення довжини пластини, розчленування сталеві стрічки на дрібні частини, різці стрічки та шліфування кромки пластини.

Для виготовлення пластин застосовують холоднокатану стрічку з вуглеводистої сталі. Для відновлення гільз циліндрів бажано застосовувати пластину, товщиною 0,6 мм.

Облицювання внутрішньої поверхні гільз циліндрів пластини до циліндр в прес-формі у гільзу циліндрів під дією гідравлічного преса. В кожену гільзу послідовно запресовують у дві частини, завдяки пружним властивості і невеликій товщині пластини щільно прилягають до внутрішнього діаметра гільзи циліндру.

Пластини повинні бути прижаті до торця з зусиллям в 10-12 разів більше, ніж зусилля запресування в циліндр.

В отворі запресованої пластини проводять хонінгування отвору. Доводку гільзи виконують на вертикальних верстатах з хонінгувальними голівками з подачі охолоджуючої рідини в область тертя.

Основним параметром режиму різання при хонінгуванні являється швидкість оберту хонінгувальної голівки, при якій конусність внутрішньої поверхні не повинна перевищувати 0,025 мм.

1.6 . Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Для відновлення гільзи циліндру необхідним є дотримання наступних операцій:

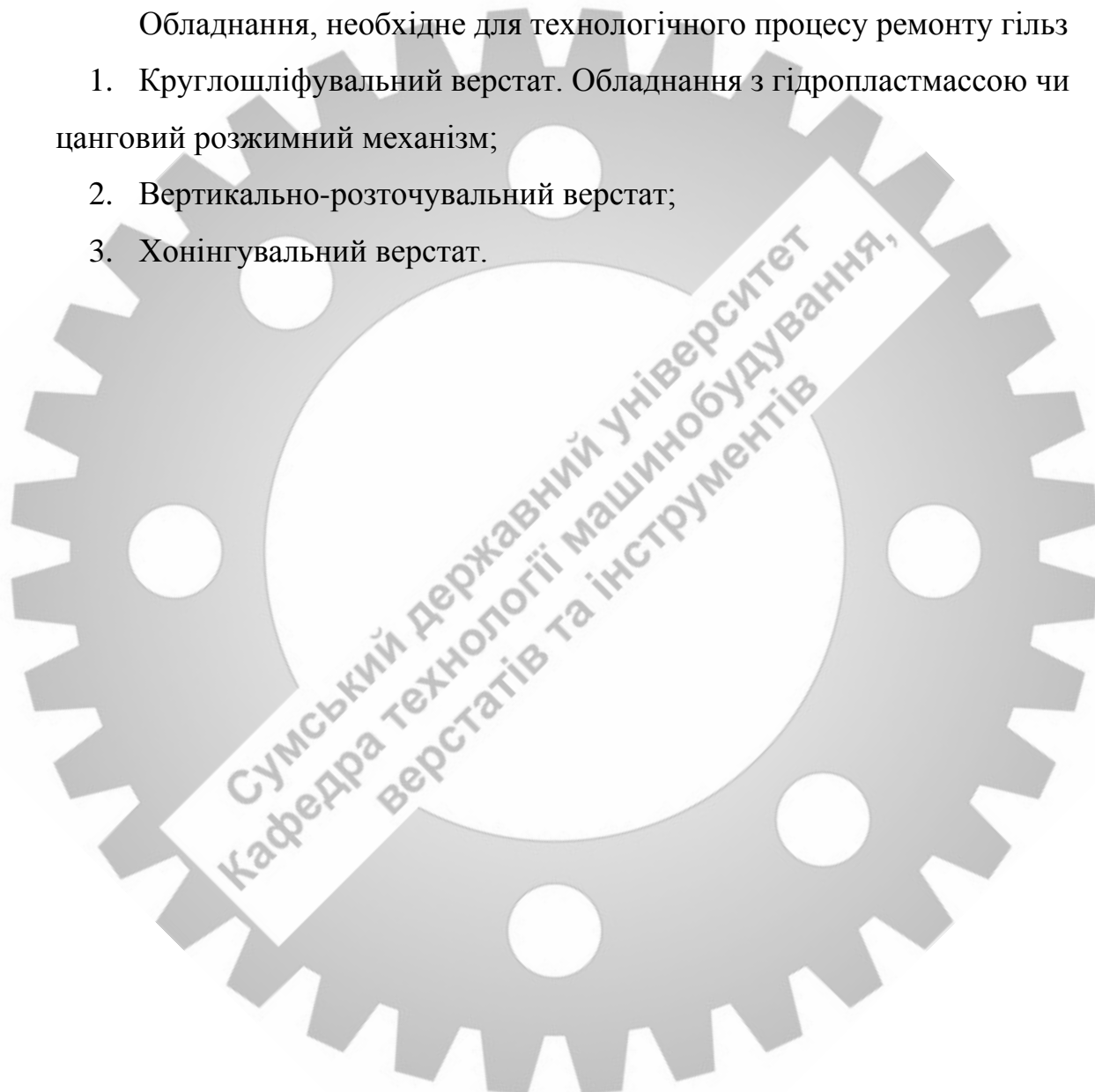
- Очищення відновлюваних частин деталі та додаткове очищення відновлюваної поверхні;
- Поділ на маршрути ремонту;
- Обробка, механічна доводка дзеркала гільзи циліндра
- Обробка внутрішньої поверхні гільзи під поставку додаткової запчастини.

Маршрутний план відновлення гільз циліндрів:

1. Шліфування посадних поясків перед нанесенням металопокриття;
2. Нанесення металопокриття;
3. Шліфівка робочої поверхні гільзи під ремонтний розмір;
4. Попереднє хонінгування робочої поверхні;
5. Фінальне хонінгування робочої поверхні.

Обладнання, необхідне для технологічного процесу ремонту гільз

1. Круглошліфувальний верстат. Обладнання з гідропластмасою чи цанговий розжимний механізм;
2. Вертикально-розточувальний верстат;
3. Хонінгувальний верстат.



2. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ДВИГУНА

2.1. Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Складання маршруту створює можливість розробити узагальнення плану обробки матеріалу для заготовки, розробити процедуру операцій технологічного процесу, визначити оптимальний тип устаткування, шліфувальний, вимірювальний, свердлильний, ріжучий інструмент. Розробляючи маршрутний лист виготовлення деталі, важливо виконати наступні умови:

- бажано користуватися стандартними інструментами для виготовлення деталі;
- обробити максимально можливу кількість площин деталі протягом однієї установки;
- першочергово обробити поверхні, що будуть основними для обробки наступних;
- першими обробляти поверхні з найбільшим припуском;
 - не бажано комбінувати чорнову й чистову обробку немірним інструментом на одному верстаті.

З дотриманням вищезазначених умов найбільш оптимальною технологічною обробкою деталі :

- першочергова обробка основних поверхонь деталі;
- створення маршрутного листа, починаючи з найскладнішої технологічної операції, завершуючи найпростішою;
- для процесу обробки деталі першочергово необхідно правильно визначити розміри;
- чистова обробка базових площин деталі (при обробленні на одному верстаті декількох поверхонь допускається комбінувати чорнову і чистову обробку);

- чорнова й чистова обробка допоміжних площин (свердління й зенкерування малих отворів, підрізання торців, виправлення центрів, нарізання різьб, розточення канавок);
- термічна обробка площин деталей, за наявності необхідного креслення;
- виконання допоміжних операцій на основних поверхнях (чорнове та чистове шліфування, тонке розточування, чистове розгортання чи протягування, шевінгування);
- виконання завершальних операцій технологічного процесу (у випадку гільзи циліндра це хонінгування);
- перевірка якості.

Вищеописаний спосіб обробки є стандартним, проте при розробці маршрутного листа важливо також враховувати нюанси виробництва деталі при відповідному технологічному процесі.

Розрахувавши число переходів для технологічного процесу в цілому, розраховують загальне допустиме число переходів, для виробництва одиниці виробу з відповідним припуском для конкретної операції.

Гільза циліндра двигуна є продукцією великосерійного виробництва, тому в даному випадку ефективним є застосовувати декілька одиниць обладнання для кожної операції окремо.

Для оформлення технологічного процесу розроблюють документи, затверджені єдиною системою технологічної документації (ЕСКД). Головними документами для технологічного процесу є:

1. Маршрутна карта. Документ, засвідчує послідовність операцій та необхідне технологічне обладнання для забезпечення якісного технологічного процесу;
2. Операційна карта. Документ, що містить економічну характеристику та обґрунтування трудового нормування та оптимальності використання обладнання при технологічних операціях.
3. Карта креслень і схем. Документ, має безпосередньо креслення з детальним визначенням розмірів майбутнього виробу.

2.1.1. Розробка та обґрунтування маршрутного листа для обробки деталі для великосерійного виробництва.

Матеріал – чавун з аустенітною структурою СЧ28-48. (креслення: див. додаток 1,2)

Таблиця 1 Розробка маршрутного листа для обробки гільзи циліндра

№ операції	№ переходу	Назва та опис операції	Марка верстата	Вид інструмента
005		Заготівельна операція Заготовка із круглого металопрокату \varnothing 100 мм, розрізаємо матеріал на заготовки для одиниці виробу, довжиною 156 мм		
010	1 2 3 4 5	Токарно-гвинторізна операція Встановлюємо заготовку до трьохкулачкового патрону, закріпити і зняти. Підрізаємо торець. Заточуємо заготовку до розміру 160 мм $I=45$ мм Заточуємо заготовку до 156 мм $I=42$ мм	Токарний верстат JET GHB-1340 A DRO	Чорновий різець, прохідний різець
015	6 7	Операція свердління Висвердлюємо отвір, глибиною 156 мм, \varnothing 97	Свердлильний верстат Bosch PBD 40	Кільцева фреза по металу
020	8 9 10	Токарно-розточувальна операція Розточити канавку $I=3,9$ мм $R=1,8$ мм Нарізуємо різьбу М7 на діаметр 97 мм Відрізаємо заготовку з вказуванням розмір $I=45$ мм	Розточувальний верстат BO 110	Різець відрізний, плашка м7
025	11 12	Токарно-гвинторізна операція Встановлюємо заготовку до трьохкулачкового патрону, закріпити і зняти. Підрізаємо торець $h = 2,5$ мм, $I = 1,7$ мм	Токарний верстат JET GHB-1340 A DRO	Підрізний
030	13 14	Шліфувальна операція Закріплюємо заготовку до поворотних лещат і знімаємо Оброблюємо поверхню	Шліфувальний верстат 3Д711	Шліфувальний круг АЧК-150*20X32

Таблиця 1 (продовження)

		заготовки h=1,6 мм		
035	15	Хонінгувальна операція Закріплюємо заготовку до кулачка патрону, робимо подачу інструмента (хонінгувального бруска)	Хонінгувальний верстат SUNNEN SV-25	Хонінгувальна головка, діаметром 100 мм

Дана послідовність виконання операцій є найбільш коректною, оскільки першочергово виконується найскладніша операція (токарна та свердлильна) наступною є допоміжна операція (шліфувальна) останньою є завершальна операція (хонінгувальна) дана послідовність мінімізує знос обладнання, знижує собівартість виготовлення одиниці виробу та відповідно зменшує похибки при обробці деталі.

2.2. Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Заготівка деталі — це матеріал відповідного розміру, який проходить стадії обробки технологічного процесу, кінцевим продуктом якого є готовий виріб.

Підготовка заготовок — найбільш відповідальний початковий етап технологічного процесу, оскільки від нього в першу чергу залежить коректний розрахунок собівартості деталі.

Виробництво деталей в першу чергу починається із нарізання заготовок із матеріалу у вигляді прутка, круга або болванки.

В наш час для попередньої мінімізації витрат від браку є першочергове використання чорнових заготовок, що надають можливість із невеликим запасом безпосередньо підготувати заготовку до виготовлення деталі. Також це знизить затрати на зворотні відходи. Для даного варіанту суворо необхідно дотримуватися мінімізації похибок для заготовок та максимально наблизити їх

до форм необхідних для повноцінного виробу, що дозволяє мінімізує відповідно використання різальних інструментів для обробки деталі.

Серйозну залежність на визначення способу підготовки заготовки мають:

1. час необхідний на підготовку технологічного процесу (підготовка креслень, підготовка форм та моделей з відповідними розмірами для виробу)
2. наявність необхідних верстатів зі ступенем автоматизації.

Технологічність конструкції вибору – це сукупність характеристик вибору матеріалу для виготовлення деталі з урахуванням економічної доцільності та мінімізації зносу при експлуатації в виробничих умовах.

Забезпечення технологічності заготовок зводиться до виконання таких правил:

- Не варто ускладнювати форми контурів деталі;
- Деталі варто виробляти зі стандартного металопрокату;

Базові поверхні мають створити умови точності обробки безпосередньо для подальшої обробки наступних поверхонь.

- Точність виготовлення деталі не повинна перевищувати допустиму собівартість;
- Мінімізувати відходи у вигляді стружки.

За можливістю мінімізувати механічну обробку на оброблюваних поверхнях з метою забезпечення цілісності виробу зі складними конструктивними особливостями.

2.2.1. Вибір способу виготовлення та матеріалу для виробництва гільзи циліндра

Для виготовлення гільзи циліндра необхідним є вибір заготовки із сірого чавуна СЧ.28.48. Даний вид матеріалу є сплавом заліза із вуглецем.

Даний матеріал має високу стійкість до корозійного покриття та відповідно мінімізує надлишкове тертя, а отже підвищить термін служби двигуна.

Матеріал обов'язково має бути легованим, тому що це може спричинити швидку амортизацію двигуна при підвищених умовах експлуатації, особливий негативний вплив становитиме на сідло клапана.

Для зниження степеню амортизації до гільзу циліндру з чавуну посилюють додатковими нірезистивними термовставками. Нірезистивні термовставки виготовляють з високо нікельованого сильно легованого чавуну. Високонікельоване покриття надає додатковий захист гільзі циліндра при підвищених умовах експлуатації, однак даний варіант обмежує ряд обставин: 1) термовставки можуть використовуватись лише на верхній площині гільзи циліндра двигуна; 2) він нетехнологічний багатьох операціях технологічного процесу; 3) високо нікельоване покриття є нерентабельним у масовому виробництві гільз.

Тому альтернативою слугує високолегований фосфоритний чавун. Даний матеріал не вступає в хімічні реакції окислення, що є економічно вигідним для масового виробництва.

Відсотковість фосфору в гільзі циліндра становить від 1 до 1,5%.

Тому, згідно результатів можна зробити висновки:

- при застосуванні високолегованого чавуна, матриця гільзи циліндра стає міцнішою, а пошкодження при підвищених умовах експлуатації мінімізується;
- Еластичність і стійкість залежить від додаткового покриття з такими елементами як: Cr, Cu, P, Ni, C, Si, Mn, S, Ti, V, що утворюють додаткові захисні шари в результаті тертя;
- Виробництво не має бути збитковим;

Усередині втулка має дзеркало циліндра. Переважно основу дзеркала покривають окремим мікрорельєфом, у багатьох випадках висота такого рельєфу перевищує декілька десятків мкм. Поверхня максимально утримує масляну рідину та мінімізує амортизацію при терті торцевого клапана та кільця об дзеркало циліндра.

Для потужних двигунів використовують гільзи зі сталі. Тверdotільний азотований шар не допускає стирання, а також значно підвищує стійкість до корозії. Термін експлуатації суттєво зростає, так як коефіцієнт тертя кілець азотованої поверхні доволі низький.

Необхідно відмітити, сталеві та чавунні гільзи обов'язково мають пройти стадію обробки хонінгуванням, що в подальшому слугує для достатнього змащування кілець. Сучасні технології застосовують виробництво гільз циліндрів із біметалічних матеріалів, переважно до основи таких матеріалів додають алюмінієві реберця. Такі матеріали переважно використовують для двигунів сільськогосподарської та будівельної техніки.

2.2.2. Кількісний аналіз технологічності деталі

Для проведення кількісної оцінки першим етапом необхідно:

1. Розрахувати коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{ун} = \frac{Q_{ye}}{Q_e}$$

Де Q_e – кількість складових елементів деталі;

Q_{ye} – кількість елементів стандартизації

Конфігурація деталі відповідає токарно-свердлильній операції, всі площини є доступними для роботи верстата

$$K_{ун} = \frac{5}{7} = 0,71$$

Гільза циліндра: вага – 0,9 кг; матеріал – чавун з аустенітною структурою; річна програма випуску одиниці обладнання: 50000 шт.

При обробці деталі необхідно є створити можливість виходу інструмента.

Першим показником для кількісної оцінки деталі є розрахунок коефіцієнта точності обробки:

$$K_{т.ч} = 1 - \frac{1}{A_{ср}}$$

$A_{ср}$ – середній квалітет точності

$$A_{ср} = \frac{\sum A_i Q_i}{Q}$$

A_i – квалітет точності i – ого розміру

Q_i – число конструктивних елементів із квалітетом точності T_i

Таблиця 2.1 – Точність розмірів

Квалітет точності	7	9	12
Кількість розмірів	1	1	5

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum A_i Q_i}{Q} = \frac{(7 * 1 + 10 * 1 + 12 * 5)}{7} = 10,86$$

$$K_{\text{т.ч}} = 1 - \frac{1}{5,92} = 0,91$$

Коефіцієнт точності є більшим, ніж 0,83, то деталь є технологічною

Наступним показником є розрахунок коефіцієнта шорсткості:

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum B_i Q_i}{Q}$$

B_i – шорсткість поверхні i – ого конструктивного елемента, обумовлена в значеннях параметра R_a , мкм.

Шорсткість поверхні деталі

Таблиця 2.2 – Шорсткість

Шорсткість R_a , мкм	0,8	1,6	3,2	6,4
Кількість поверхонь	1	2	3	1

$$B_{\text{ср}} = \frac{0,8 * 1 + 1,6 * 2 + 3,2 * 3 + 6,4 * 1}{7} = 2,86 \text{ мкм}$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{2,86} = 0,35$$

Оскільки коефіцієнт шорсткості менше 0,63, то деталь є технологічною

Наступним показником є розрахунок уніфікації конструктивних елементів

$$K_{y.e} = \frac{Q_{ye}}{Q_e}$$

Q_{ye} – кількість уніфікованих конструктивних елементів деталі;

Q_e – кількість конструктивних елементів деталі.

$$K_{y.e} = \frac{5}{7} = 0,71$$

Наступним показником є коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{BM} = \frac{M_D}{M_3}$$

Маса заготовки сірого чавуна СЧ28-48 складає 1,53 кг

$$K_{BM} = \frac{0,9}{1,53} = 0,59$$

Наступним показником є визначення рівня технологічності конструкції використання матеріалу:

2.1.3 Обґрунтування вибору матеріалу та його графічне зображення з розмірами

Максимальний діаметр даного виробу 100 мм, поверхня $\varnothing 100$ не буде оброблятися, тому, стосовно послідовності дій обираємо чавунну заготовку у формі болванки діаметром 100 мм, довжина болванки складає 3500 мм.

Розрахуємо максимальну кількість деталей, що можна виготовити з матеріалу довжиною, що вказана в умові:

$$n = \frac{L}{l}$$

L – довжина заготовки;

l – довжина для одиниці виробу

$$n = \frac{3500}{156} = 22 \text{ (шт.)}$$

Графічне зображення (див. додаток

2.3. Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Припуск – шар матеріалу, що усувається з поверхні заготовки для отримання потрібних характеристик оброблюваної партії деталей. Припуск на обробку деталі визначається за допомогою табличних показників та властивостей верстату. Параметром розрахунку припуску є гранично допустимий припуск на обробку, необхідний для усунення деформацій деталі через неточності, що виникли при переході між операціями.

Розрахунок величини проміжного припуску для плоских поверхонь заготовки (гільза циліндра) при фрезерній операції для односторонніх площин:

$$Z_{min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + p_{i-1} + E_y$$

$i=1, n$ – кількість переходів при обробці поверхонь;

Rz – шорсткість поверхні, мкм;

T_{i-1} – допуск на спосіб обробки, мкм;

E_y – похибка установки;

p_{i-1} – сумарне відхилення заготовки.

Величина відхилення розраховуються за формулою:

$$p = 2\Delta_y L_k$$

Δ_y – величина максимального відхилення, мкм;

L_k – відстань відперетину для визначення величини відхилення, мм.

$$p_{ост} = 2 * 5 * 3 = 30 \text{ мм}$$

Наступним показником є розрахунок величини заготовки при зацентруванні:

$$p_ч = 0,25 \sqrt{\delta_3^2 + 1}$$

δ_3 – допуск на діаметр основної поверхні заготовки, мм.

$$p_{\text{ч}} = 0,25\sqrt{0,37 + 1} = 0,25 * 1,17 = 0,3 \text{ мм}$$

Наступним показником є величина сумарного відхилення заготовки

$$p = \sqrt{p_{\text{ост}}^2 + p_{\text{ч}}^2} = 300 \text{ мкм}$$

Обробка відбувається зовнішніх та внутрішніх поверхонь, тому для розрахунку використовуємо формулу:

Мінімальний припуск при чорновому точінні

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + E_i^2} \right)$$

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(95 + 105 + \sqrt{300^2 + 243,75^2} \right) = 1173,08 \text{ мкм}$$

Допуск на заготовку деталі: 975 мкм;

Допуск на чорнове точіння: 590 мкм.

$$p_{i-1}^2 = 0,25 * 975 = 243,75 \text{ мкм}$$

Розраховуємо мінімальний припуск при чистовому точінні

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_1 + \varepsilon_2} \right)$$

Δ_1 – кривизна, залишкова після чорнового точіння;

ε_2 – похибка установки при напівчистовій обробці.

Допуск на чистове точіння: 325 мкм.

$$\Delta_1 = 0,06 * p_{i-1}^2 = 0,06 * 195 = 11,7 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(75 + 80 + \sqrt{11,7^2} \right) = 333,4 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальний припуск при чорновому шліфуванні

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + p_{i-1}^2 \right)$$

$T_{i-1} = 0$, оскільки шліфування пройшла стадія термообробки

$$p_{i-1}^2 = 0,05 * 11,7 = 0,585$$

$$2Z_{\text{min}} = 2 * \left(20 + 15,62 + 0,585 \right) = 72,41 \text{ мкм}$$

Допуск на чорнове шліфування: 45 мкм.

Розрахуємо мінімальний припуск при чистовому шліфуванні

$$p_{i-1}^2 = 0,04 * 11,7 = 0,468 \text{ мкм}$$

$$2Z_{min} = 2 * (3 + 9,7 + 0,468) = 26,34 \text{ мкм}$$

Допуск на чистове шліфування: 20мкм.

Наступним параметром є розрахунок максимального припуску:

$$2Z_{max} = 2 * \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + E_i^2} \right) + T_{i-1} - T_i$$

Максимальний припуск при чорновому точінні

$$2Z_{min} = 2 * \left(95 + 105 + \sqrt{300^2 + 243,75^2} \right) + 975 - 590 = 1558,08 \text{ мкм}$$

Максимальний припуск при чистовому точінні

$$\begin{aligned} 2Z_{max \text{ чорн.шл}} &= 2Z_{min \text{ чорн.шл}} + 590 - 325 = 333,4 + 590 - 325 \\ &= 573,4 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Максимальний припуск при чорновому шліфуванні

$$2Z_{max \text{ чорн.шл}} = 2Z_{min \text{ чорн.шл}} + 325 - 45 = 72,41 + 325 - 45 = 352,41 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при чистовому шліфуванні

$$2Z_{max \text{ чист.шл}} = 2Z_{min \text{ чист.шл}} + 45 - 20 = 26,34 + 45 - 20 = 51,34 \text{ мкм.}$$

Результати розрахунків припусків на ЕОМ – див. додаток.

2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу для ліній

Розмірний аналіз як система запуску конструктивних параметрів, розмірів та допусків на них є важливою деталлю масового та великосерійного виробництва.

Роблячи акцент на системі розмірних ланцюгів, розмірний аналіз при розробці креслень дає можливість заздалегідь визначити необхідні допуски для майбутніх виробів, визначити найбільш точний метод для замикаючої ланки виробничого процесу.

При моделюванні технологічного процесу розмірний аналіз є взаємозамінним при розрахунку технологічних розмірів і допусків.

Також розмірний аналіз застосовується як для лінійних, так і для діаметральних технологічних розмірів.

Розробляючи розмірний аналіз для виготовлення деталей, інженеру бажано спроектувати для кожної операції різних схем базування, проставити технологічні розміри, з'ясувати шляхи отримання максимально технологічних параметрів.

Заключним етапом розмірного аналізу при розробці технологічних процесів є техніко-економічні показники та розраховані розміри та допуски на них, що скорочує надлишкові витрати при впровадженні нових технологічних процесів.

При запровадженні розмірного аналізу технологічного процесу доречно використовувати наступні способи:

- аналіз технологічного процесу, який моделюється, коли завершальними даними є креслення виробу, алгоритм нарізання вихідної заготовки, маршрути технологічних операцій;
- аналіз технологічного процесу, який застосовують з метою покращення технологій виробництва, в тому числі мінімізації браку.

Кожен із вищеописаних методів розмірного аналізу застосовують у спосіб розв'язання розмірних ланцюгів. При цьому допускається застосовувати як метод максимуму-мінімуму, так і ймовірнісний метод.

Розмірний ланцюг – це суміжність розмірів, завдяки яким утворюється замкнений контур, що розраховує комбіноване розташування площин однієї чи декількох деталей, які є складовими технологічного процесу вцілому.

Ланкою розмірного є кожен окремих розмір, що утворює розмірний ланцюг.

Ланки розмірного ланцюга позначають літерою A_i (i – номер ланки).

Існують види ланок (вихідна, замикаюча, складові (такі що збільшують, та такі, що зменшують)).

Вихідною ланкою називається ланка, з максимальними умовами точності виробництва партії продукції. Переважно вона слугує початком у розробленні розмірного ланцюга.

Замикаючою ланкою (A_{Δ}) називається ланка, розмір котрої при виробництві є завершальним. Її параметри розміру та точності залежать від параметрів інших операцій технологічного процесу виробництва продукції.

Ланки, що збільшують, – це ланки при збільшенні яких розмір замикаючої ланки стає більшим.

Ланки, що зменшують, – це ланки із збільшенням яких розмір замикаючої ланки зменшується.

При розробці розмірного аналізу показники замикаючої ланки (номінальне значення A_{Δ} ном, очікувана похибка ω_{Δ} , верхнє ESAD та нижнє EIAD відхилення від номінального значення).

2.4.1. Розмірний аналіз технологічного процесу. Розрахунок для гільзи циліндра двигуна

Першими параметрами, що необхідно розрахувати, є параметри замикальної ланки

Номінальний розмір замикальної ланки:

$$A_{\Delta} = \sum A_{i36} - \sum A_{i3m}$$

A_{i36} – число збільшуваних ланок;

A_{i3m} – число зменшувальних ланок.

$$A_{\Delta} = 2,43 - 1,97 = 0,46 \text{ мм}$$

Наступним параметром є розрахунок допуску замикальної ланки:

$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + \dots + TA_n$$

Де $TA_1 + TA_2 + \dots + TA_n$ є сума абсолютних значень складових ланок

$$TA_1 = 37$$

$$TA_2 = 11$$

$$TA_3 = 29$$

$$TA_4 = 23$$

$$TA_5 = 12$$

$$TA_{\Delta} = 37 + 11 + 29 + 15 + 7 = 99 \text{ мкм}$$

Допуск дорівнює $T_d = 0,05 - (-0,05) = 0,100$

$$TA_{\Delta} < T_d$$

Тому ланку A3 слід зробити коригуючою, допуск якої обчислимо за формулою:

$$TA_3 = TA_{\Delta} - \sum TA_i = 99 - 87 = 12 \text{ мкм}$$

2.5. Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Базування виробу – виставлення позиції заготовки відносно необхідної осі координат. Базування ґрунтується на методі встановлення заготовок. При обробленні деталі із застосуванням верстатів існують 3 способи закріплення заготовок:

1. закріплення заготовки вивірянням прямо на верстаті. Даний спосіб є найпершим в історії та найпростішим у застосуванні, котрий використовується при вирізанні заготовок у формі круга. Першочергово встановлюють заготовку вручну за допомогою верстата обертають її і за допомогою крейди, індикаторної головки виміряють биття і шляхом чередування кулачків верстата досягається висока точність виробництва.

Переваги метода:

– Можливість застосування додаткової обробки деталі.

Недоліки:

- Значна трудомісткість виготовлення заготовки;
- необґрунтовано підвищується собівартість деталі.

2. Установка заготовок на верстаті «по розмітці». Дана установка відбувається за допомогою декількох операцій. За допомогою розміточних інструментів розроблюють необхідний розмір для виробництва заготовки, для першої операції; після чого знімають заготовку та при застосуванні нової розмітки переставляють її на наступний верстат.

Переваги:

- Легкість виробництва;
- невисока відносно собівартість.

Недоліки:

- Неточність припусків при великосерійному виробництві;
- Значні простої верстатів при нанесенні розміток.

3. Закріплення заготовок у пристроях.

Даний метод здійснюється при застосуванні додаткових елементів закріплення верстата (патрони, кулачки, лещата тощо). Даний метод базується на безпосередньому закріпленні заготовки до елементів верстата для обробки безпосередньо згідно нормативів технологічного процесу та переміщення заготовки до наступних верстатів майбутнього виробу від найскладнішої до найпростішої операції технологічного процесу.

Переваги:

- висока точність;
- Висока швидкість обробки деталі;
- Мінімізація похибок у виробництві.

Недоліки:

- Бажано даний метод використовувати на сучасному обладнанні;
- Необхідність частої заміни пристроїв.

2.5.1. Вибір методу закріплення для деталі «гільза циліндра»

Для виробництва гільзи циліндра двигуна найбільш ефективним методом являється закріплення заготовок у пристроях. Даний метод найбільш відповідає технологічному процесу, відповідно, в деталі мінімізується виробнича похибка, відсутні порушення при переході на іншу операцію. Візьмемо до уваги токарно-гвинторізну операцію, де необхідно закріпити заготовку до трьохкулачкового патрона, в даному випадку ми підрізаємо торець на 1 мм з кожної сторони для отримання готового виробу та переходу на наступну операцію. Таким чином у

нас зменшаться зворотні відходи приблизно на 30%, відповідно мінімізуються витрати від браку при підготовці більш точних припусків, які наведені в розрахунках у пункті 2.3.

2.5.2. Класифікація баз. Вибір схеми базування для деталі

Існують різновиди поверхонь при виконанні обробки на верстатах:

- 1) оброблювані, з яких зрізають шар металу;
- 2) Поверхні для комбінованої обробки;
- 3) поверхні, на яких відбувається сила зажиму.

Бази – поверхні, лінії, точки, що використовуються для направлення на необхідну систему координат.

Існують різновиди баз:

- 1) Конструкторські – бази, що використовуються для направлення конкретного пристрою на виконання операції.
- 2) Вимірювальні – бази, що використовують для з'ясування відносних позицій, предметів вимірювання і поверхонь виробу.
- 3) Технологічні – поверхні, лінії, точки. Які використовуються для з'ясування положення точки при прямій обробці деталі.

Існують типи технологічних баз:

- 1) Чорнові – необроблювані поверхні, що використовуються при обробці перших 2-х операціях;
- 2) Чистові – оброблені поверхні з максимально точними розмірами, які використовуються як технологічні бази на послідуєчих операціях технологічного процесу, за винятком першої.
- 3) Допоміжні – оброблювані поверхні, що не являються обов'язковими, однак обробляються для досягнення високої точності.
- 4) Додаткові – особливі деталі (приливи, баришки, ребра), що спеціально додаються для обробки деталі для покращення базування.

Головні умови підбору технологічних баз:

- 1) Необхідно враховувати важливе правило (сталості баз) на послідуючих операціях за винятком перших. Будь яка заміна баз мінімізує точність обробки.
- 2) важливо комбінувати технологічні та вимірювальні технологічні бази (принцип суміщення), точність обробки майже максимальна, створює нульову похибку при базуванні.
- 3) При високоточній обробці 2-х взаємовспільних поверхонь, при неможливості обробити їх за одну операцію, то при обробці першої за базу беруть другу і навпаки. Даний принцип є взаємозамінним для баз.
- 4) Чорнові технологічні бази використовуються лише при перших операціях, де оброблюються чистові. Ні в якому разі не допускається повторно повертати на чорнові бази. За чорнові технологічні бази переважно беруть плоскі або циліндричні поверхні без ливарних або штампувальних нахилів та інших деформацій деталі.
- 5) При частковій обробці заготовки за чорнові технологічні бази треба брати необроблювані поверхні, для запобігання небажаних викривлень.
- 6) При повній обробці заготовок, то за чорнові технологічні бази беруть незмінні поверхні. Припуском на обробку, для того, щоб максимально прибрати «чорноту» з поверхонь заготовки.
- 7) Технологічні бази необхідні бути достатніх розмірів, для уникнення коливання деталі.
- 8) Технологічні бази мають надавати зручність виробництва та уникати простоїв обладнання.

Відповідно, для оброблення гільзи циліндра двигуна необхідно використовувати конструкторські бази, тому що дана деталь виконується на верстатах з додатковими пристроями для обробки і проходить декілька технологічних операцій.

При виробництві гільзи циліндра двигуна, відповідно операцій використовуються всі типи технологічних баз, завдяки чому заготовка набуває необхідних форм та розмірів з мінімальним зносом при підвищених умовах експлуатації. Креслення (див.дод.4).

2.6. Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

При виборі обладнання для ефективного виробництва, в першу чергу необхідним є:

- визначення технічних показників обладнання;
- економічна оцінка обладнання (продуктивність за одиницю часу, вартість обслуговування; термін окупності при закупівлі обладнання; збитків як від фізичного так і морального зносу);

Тому, відповідно для операцій, пов'язаних з виготовленням гільзи циліндра двигуна необхідним є обладнання:

- Для операції свердління ефективним є свердлильний верстат Bosch PVD 40. Даний верстат з ручним способом управління та цифровою панеллю керування, по-перше, набагато мінімізує витрати від браку при переході на наступну операцію, оскільки, порівняно з радянськими аналогами, надає можливість точного встановлення припусків. Відповідно мінімізація елементів скорочує час на обслуговування, має більшу потужність у 710 Квт, порівнюючи із радянським 2М112, у 550 Квт; має відповідно 2 швидкості обертання з максимальною швидкістю обертання 2500 об/хв., відповідно у радянських аналогів. Перевагою верстата є наявність лазерного цілевказувача, що надає повноцінну точність обробки, є набагато безпечнішим для верстатника, порівняно з 2М112.

- Для операції чорнового та чистового точіння ефективним є верстат JET GHV-1340 A DRO. Перевагами даного верстата є відносно невисока вартість, автоматична подача прокольного та поперечного супорта, толчковий режим роботи шпинделя, відповідно оснащений усіма комплектуючими для базової та допоміжної обробки деталей (піддон для збора відходів у вигляді стружки, планшайба 300 мм, 3-х кулачковий патрон 160 мм з прямими кулачками тощо), відповідно має більшу потужність у 1,5 кВт, порівняно з радянським аналогом

1К620, та відповідно економічні ший у виробництві. Також має додаткову панель числового управління.

– Для операції шліфування ефективним є верстат 3Д711у 4 кВт, пройшовшого капремонт, перевагою даного верстата є невисока вартість, здатність до підвищених навантажень при великосерійному виробництві, для даної операції не є необхідним використовувати високовартісне технологічне обладнання, тому що дана операція не є відносно складною при використанні технологічного процесу, відповідно високовартісне обладнання може значно підвищити собівартість виробництва деталей, притому що споживання є приблизно однаковим.

– Для операції розточування ефективним є верстат ВО 110, перевагою верстата є стабільні чотиригранні направляючі забезпечують точну роботу, обладнаний приладами для нарізання різьби, кут поворота робочого стола 360° , точність обробки приблизно у 2,5 рази вища, ніж в радянських аналогів, передня бабка та механізм подачі оснащені запобіжними муфтами, відповідно потужність двигуна складає 7,5 кВт, що в 2 рази вище, порівнюючи з радянськими аналогами 2e78п та 2620e. Відповідно максимальна сила подачі складає 1225 нМ, операція є базовою, тому для використання точного обладнання необхідним є максимально приділити увагу для того, щоб виробництво було рентабельним.

– для операції хонінгування ефективним є хонінгувальний верстат SUNNEN SV-25. Даний верстат є найбільш сучасним, що є необхідним для завершальної операції. Даний верстат має автоматизовану систему позиціонування, розточки і хонінгування, потужність шпинделя складає 4,1 кВт. максимальна швидкість обертання складає 600 об, відповідно програмне устаткування надає можливість високоточної обробки деталі.

2.7. Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для визначення оптимальних верстатів опираються на техніко-економічний аналіз.

Обране обладнання має відповідати для правильного виробничого процесу, а саме параметрам оброблюваної деталі, маршрутному листу, плановому об'єму випуску продукції. При виборі верстатів першочергово приділяють увагу технічному паспорту обладнання, літературою на металорізальний верстат та якості заводських матеріалів. Кожен верстат має стислу характеристику, відповідно моделі, на основі якої розраховується планова продуктивність, плановий технічний огляд, поточний та капітальний ремонт обладнання.

Коректний підбір виробничого устаткування є обов'язковою ланкою урахування прибутковості підприємства. В документації пристроїв зазначається: назва пристроїв, особливості ролі при виконанні операцій, пристрій (базові частини), конструктивні складові, затиски, привід пристроїв.

Підбір різального обладнання має гарантувати високу продуктивність технологічної обробки матеріалів. Перевагою є високопродуктивні пристрої, що надають максимальну ефективність при використанні інженерного обладнання. При визначенні необхідних ріжучих інструментів в першу чергу необхідно дотриматись ДСТУ та ГОСТ, та необхідних технологічно-конструктивних елементів.

Для шліфувального обладнання підбирають абразивні круги. Визначають форму, розміри кругів стосовно технологічних показників, а ще сорт абразивного матеріалу, зернистість, твердість, матеріали зв'язування. Можуть бути використані алмазні круги, пасти.

Кожна операція технологічної обробки підлягає перевірці у розмірах обробленої площини, шорсткості її, деяких параметрів згідно конструктивних вимог. Застосовують нормальні, універсальні, спеціальні вимірювальні засоби. Вихідні параметри, що необхідні для виконання технологічного процесу описуються у маршрутних листах.

Режим різання встановлюють у наступному порядку:

- 1) на технологічному переході прораховують глибину різання;

- 2) Залежно від прокату для виготовлення деталі, ріжучого інструменту, глибини різання, шорсткості поверхні визначається подача, згідно табличних показників або паспортних даних;
- 3) згідно паспорту верстата обирається меншу подачу;
- 4) Розраховують оптимальну швидкість різання;
- 5) визначають частоту обертів (подвійних ходів) заготовки;
- 6) по паспорту верстата розраховують найближчу частоту обертів;
- 7) розраховують реально можливу швидкість різання на верстаті;
- 8) розраховують силу і продуктивність різання;
- 9) розраховують основний час на розрахунковому переході.

2.7.1. Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв для токарно-гвинторізної операції

Для токарно-гвинторізної операції головними пристроями є:

- трьохкулачковий патрон K11-250 даний патрон є ефективним для установки на токарних універсальних верстатах та ідеальний для великосерійного виробництва даний патрон має високу зносостійкість, що мінімізує затрати на амортизацію при підвищених умовах експлуатації.
- різець 11 NR/1 перевагою даного різця є точна посадка пластини для забезпечення максимальної точності різьби та якості поверхні, легкість встановлення пластини, економічно рентабельний варіант з 3-ма ріжучими кромками, відповідно матеріал виготовлення ідентичний матеріалу гільзи циліндра двигуна;
- кулачок токарний прямий K11-80 є оптимальним рішенням для верстата JET GHB-1340 A DRO, тому що легкий у вазі, відповідно не створює додаткових навантажень при великосерійному виробництві, також має високу зносостійкість.

2.8. Визначення режимів різання

- Операція шліфування

Перелік необхідних завдань:

1. Визначити базові характеристики абразивної частини.
2. Розрахувати подачу свердління отвору з діаметром 120 мм при чорновому та 97 мм при чистовому обробленні деталі з використанням свердла з одинарною заточкою та кутом 118° , товщина зрізу становитиме 0,22 мм.

3. При кінетичних схемах руху металорізального верстата згідно обраної деталі (гільзи циліндра) визначити:

- Клас верстата;
- Кількість ступенів частоти обертання;
- Максимальну і мінімальну частоту обертання шпинделя за 1 хв.

Процес шліфування для оброблення гільзи циліндра має наступні особливості:

- Зерна шліфувального круга непрямої із закругленнями на верхніх кінцях форми розташовані у крузі непропорційно, чим обумовлюється нестабільність значення попереднього кута;
- При закругленій формі ріжучої частини може виникати складна залежність щодо глибини та ширини западини;
- При округленій вершині зерна та нульовій товщині зрізу у зерен знижується стійкість до великого тертя об поверхні різання.

Тому для шліфування гільзи циліндра необхідно використовувати штучні абразивні матеріали на основі синтетичного алмазу без сторонніх домішок, від чого якість матеріалів та мінімізує ризики швидкого зносу технологічного обладнання.

2.8.1. Розрахуємо режим різання на обробку поверхні (зовнішнє чорнове шліфування з поперечної подачі):

Інструмент: шліфувальний круг АЧК-150*20Х32

Для визначення основних параметрів скористаємось: глибина шліфування $t=0,07$ мм; швидкість оберту шліфувального круга $v_k=37,2$ м/с

Визначимо частоту обертів шліфувального круга:

$$n_k = \frac{1000 * v_k}{\pi * D} = \frac{1000 * 37,2 * 60}{3,14 * 120} = 5924 \text{ об/хв}$$

Визначимо подачу висвердлювання отвору згідно параметрів заготовки:

Діаметр ($D=97$ мм); $2\varphi = 118^\circ$; припуск на шліфування ($a=0,22$ мм);

$$a = \frac{S}{2} \sin\varphi$$

$$S = \frac{a}{2} \sin\varphi$$

$\alpha=56^\circ$

$$S = \frac{0,22}{2} \sin 56^\circ = 0,11 * 0,829 = 0,091$$

Наступним етапом є визначення окружної швидкості заготовки, для цього, згідно необхідно скористатися формулою. Для цього використаємо діаметр згідно умови (97 мм) та частоту обертів заготовки згідно технологічних показників чорнового шліфування ($28,75 \text{ хв}^{-1}$):

$$V_{\text{заг}} = \frac{\pi * d_{\text{заг}} * n_{\text{заг}}}{1000}$$

$d_{\text{заг}}=120$ мм

$n_{\text{заг}}=28,75 \text{ хв}^{-1}$

$$V = \frac{3,14 * 120 * 28,75}{1000} = 10,83 \text{ м/хв}$$

Наступним параметром для розрахунку є швидкість руху продольної подачі ($V_{\text{спр}}$) та поперечної подачі (S_n). Для цього, згідно режимів різання таблична поперечна подача складає $0,007$ мм/хід; таблична швидкість руху продольної подачі $1,65$ м/хв.

k_1 – поправочний коефіцієнт в залежності від групи обробляючого матеріалу і квалітету;

k_2 – поправочний коефіцієнт в залежності від швидкості і зовнішнього діаметра шліфувального круга;

k_3 – поправочний коефіцієнт в залежності від ступеня твердості круга;

k_4 – поправочний коефіцієнт в залежності від відношення довжини заготовки до діаметра заготовки;

k_5 – поправочний коефіцієнт в залежності від припуску до діаметра 2π

$$S_n = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_5^* * S_n^*$$

$$S_n = 1,25 * 0,8 * 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,007 = 0,0056$$

$$V_{Snp} = k_6 * k_7^* * V_{Snp}^*$$

$$V_{Snp} = 1,4 * 1,05 * 1,65 = 2,43 \text{ м/хв.}$$

$$S_{np} = \frac{V_{Snp}}{n_3} * 1000 = \frac{2,43}{97} * 1000 = 25,06 \text{ мм/об}$$

Проведемо аналогічний розрахунок для чистового шліфування гільзи циліндра, при тому що глибина шліфування $t=0,02$ мм; швидкість оберту шліфувального круга $v_k=37,2$ м/с $d_{заг}=97$ мм

$$n_k = \frac{1000 * v_k}{\pi * D} = \frac{1000 * 37,2 * 60}{3,14 * 97} = 7330 \text{ об/хв}$$

$$V = \frac{3,14 * 97 * 28,75}{1000} = 8,75 \text{ м/хв}$$

Згідно чистового шліфування таблична поперечна подача складає 0,001 мм/хід; таблична швидкість руху продольної подачі 2,84 м/хв.

Тому за аналогічними формулами розрахуємо швидкість поперечної та прокольної подачі:

$$S_n = 1,1 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 0,001 = 0,0011$$

$$V_{Snp} = 1,2 * 1,65 * 2,84 = 5,62 \text{ м/хв.}$$

2.8.2. Визначення можливого числа ступенів частоти шпинделя

Оберти шпинделя здійснюються від подачі електродвигуна ($N=0,55$ квт. $n=1425$ хв⁻¹). Розрахуємо швидкості подачі для наступних валів:

$$n_1=1425;$$

$$n_2 = \frac{85}{162} * 1425 = 748$$

$$n_{3*} = \frac{31}{40} * 748 = 580$$

$$n_3 = \frac{21}{56} * 748 = 281$$

$$n_{3*} = \frac{40}{36} * 748 = 831$$

$$n_4 = \frac{60}{40} * 580 = 870$$

$$n_{4*} = \frac{60}{40} * 281 = 422$$

$$n_4 = \frac{60}{40} * 831 = 1247$$

$$n_4 = \frac{21}{75} * 281 = 79$$

$$n_{4*} = \frac{21}{75} * 580 = 163$$

$$n_{4*} = \frac{21}{75} * 831 = 233$$

Згідно розрахунків можна визначити найбільшу і найменшу частоту обертання шпинделя:

$$n_{\max} = 1247 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\min} = 79 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно з розрахунків видно, оберти шпинделя здійснюються від електродвигуна ($N=0,55$ квт. $n=1425$ хв⁻¹) із пасовою передачею через 2 шківів ($\varnothing 85$ – $\varnothing 162$) що на валу 2 знаходиться три шестерні для шліфування деталі 21, 31, 40, котрі зчіплюючись з першим блоком створюють третьому валу швидкості ($n_3=580$, $n_3=281$, $n_3=831$). При наявності зубчатої передачі блок, насаджений на третьому валу за участю зубчатих коліс 36 та 75 передає на четвертий вал 6 швидкостей ($n_4=870$, $n_4=422$, $n_4=1247$, $n_4=79$, $n_4=163$, $n_4=233$). Проведемо розрахунок режимів різання для операції шліфування при чорновій та чистовій обробці

1. Глибина різання $t = 3,5$ мм

2. Подача $S=0,7$ мм

Розрахунок швидкості різання

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^x * S^y} * K_v$$

C_v – коефіцієнт, орієнтований на умови обробки;

m , x , y – показники степені;

T – період стійкості інструмента;

t – глибина різання;

K_v – узагальнений поправочний коефіцієнт.

$$C_v = 375$$

$$x = 0,25$$

$$y = 0,3$$

$$m = 0,45$$

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv} * K_{\varphi v} * K_{rv}$$

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\varphi v}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію головного кута в плані різця;

K_{rv} – коефіцієнт, що враховує радіус при вершині різця.

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{t\sigma} \right)$$

$$K_r = 1$$

$$t\sigma = 645 \text{ МПа}$$

$$n_v = 1$$

$$K_{mv} = 0,85$$

$$K_{uv} = 0,8$$

$$K_{tv} = 1$$

$$K_{tc} = 1$$

$$K_{\varphi v} = 0,85$$

$$K_{rv} = 1$$

$$K_{mv} = \left(\frac{750}{645} \right) = 1,16$$

$$K_v = 1,16 * 1 * 1 * 0,85 * 0,8 * 1 * 1 * 0,85 * 1 = 0,67$$

$$V = \frac{375}{60^{0,45} * 3,5^{0,25} * 0,7^{0,3}} * 0,67 = 32,39 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок частоти обертання

$$n = \frac{1000 * 32,39}{3,14 * 120} = 86 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\text{корек}} = 85 \text{ об/хв.}$$

Розрахунок дійсної швидкості

$$S_g = \frac{\pi D n_{\text{корек}}}{1000} = \frac{3,14 * 120 * 85}{1000} = 32,03 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок хвилинної подачі

$$S_{\text{хв}} = S * n_{\text{кор}} = 0,7 * 85 = 59,5 \text{ мм/хв.}$$

Розрахунок сили різання

$$P_z = 10C_p * t^x * S^y * V^n * K_p$$

$$C_p = 320;$$

$$X=1; y=0,8; n=-0,2$$

C_p – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$$K_p = K_{тр} * K_{хр} * K_{ур} * K_{\varphi} * K_{\lambdaр} * K_{rр}$$

$K_{тр}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу

$K_{тр}, K_{хр}, K_{ур}, K_{\varphi}, K_{\lambdaр}, K_{rр}$ – коефіцієнти, що враховують відповідні геометричні параметри різця

$$K_{мр} = \left(\frac{t\sigma}{750}\right)^n \quad K_{мр} = \left(\frac{645}{750}\right)^{-0,2} = 1,03$$

$$K_{\varphi} = 0,84$$

$$K_{ур} = 1$$

$$K_{\lambdaр} = 1$$

$$K_{rр} = 0,78$$

$$K_{рр} = 1,03 * 0,84 * 1 * 1 * 1 * 0,78 = 0,67$$

$$P_z = 10 * 320 * 3,5^1 * 0,7^{0,8} * 32,39^{-0,2} * 0,67 = 2813,77 \text{ Н}$$

Потужність верстату

$$N_{різ} = \frac{P_z * V_g}{1020 * 60} = \frac{2813,77 * 32,39}{1020 * 60} = 1,49 \text{ кВт} \approx 1,5 \text{ кВт}$$

Розрахунок машинного часу

$$T_m = \frac{L}{n * s} * i$$

L – шлях інструмента в напрямку робочої подачі, мм.

$$L = l_1 + \blacktriangle + l_2$$

\blacktriangle – величина перебігу, в нашому випадку складає 42,4 мм.

$$l_1 = 1 \dots 3, \text{ беремо } l_1 = 2 \text{ мм}$$

$$l_2 = t * \text{ctg}\varphi = 3,5 * \text{ctg}45^\circ = 3,5 \text{ мм}$$

$$L = 42,4 + 2 + 3,5 = 47,9 \text{ мм}$$

$$T_M = \frac{47,9}{0,7 * 85} = 0,81 \text{ хв}$$

Аналогічним методом розраховуємо для чистової обробки

1. Глибина різання $t = 3,5$ мм

2. Подача $S = 0,55$ мм

Розрахунок швидкості різання

$$C_v = 360$$

$$x = 0,25$$

$$y = 0,3$$

$$m = 0,45$$

$$K_r = 1$$

$$t\sigma = 645 \text{ МПа}$$

$$n_v = 1$$

$$K_{mv} = 0,85$$

$$K_{uv} = 0,8$$

$$K_{tv} = 1$$

$$K_{tc} = 1$$

$$K_{\varphi v} = 0,85$$

$$K_{rv} = 1$$

$$K_{mv} = \left(\frac{750}{645}\right) = 1,16$$

$$K_v = 1,16 * 1 * 1 * 0,85 * 0,8 * 1 * 1 * 0,85 * 1 = 0,67$$

$$V = \frac{360}{60^{0,45} * 3,5^{0,25} * 0,55^{0,3}} * 0,67 = 33,42 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок частоти обертання

$$n = \frac{1000 * 33,42}{3,14 * 97} = 110 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\text{корек}} = 110 \text{ об/хв}$$

Розрахунок дійсної швидкості

$$S_g = \frac{\pi D n_{\text{корек}}}{1000} = \frac{3,14 * 97 * 110}{1000} = 41,45 \text{ м/хв}$$

Розрахунок хвилинної подачі

$$S_{\text{хв}} = S * n_{\text{кор}} = 0,7 * 110 = 60,5 \text{ мм/хв.}$$

Розрахунок сили різання

$$P_z = 10 C_p * t^x * S^y * V^n * K_p$$

$$C_p = 330;$$

$$X=1; y=0,8; n=-0,2$$

C_p – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$$K_p = K_{\text{тр}} * K_{\text{хр}} * K_{\text{ур}} * K_{\varphi} * K_{\lambda\text{р}} * K_{\text{рр}}$$

$K_{\text{тр}}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу

$K_{\text{тр}}, K_{\text{хр}}, K_{\text{ур}}, K_{\varphi}, K_{\lambda\text{р}}, K_{\text{рр}}$ – коефіцієнти, що враховують відповідні геометричні параметри різця

$$K_{\text{рр}} = \left(\frac{t\sigma}{750}\right)^n \quad K_{\text{рр}} = \left(\frac{645}{750}\right)^{-0,2} = 1,03$$

$$K_{\varphi} = 0,84$$

$$K_{\text{ур}} = 1$$

$$K_{\lambda\text{р}} = 1$$

$$K_{\text{тр}} = 0,78$$

$$K_{\text{рр}} = 1,03 * 0,84 * 1 * 1 * 1 * 0,78 = 0,67$$

$$P_z = 10 * 330 * 3,5^1 * 0,55^{0,8} * 33,42^{-0,2} * 0,67 = 2377,64 \text{ Н}$$

Потужність верстату

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z * V_g}{1020 * 60} = \frac{2377,64 * 33,42}{1020 * 60} = 1,3 \text{ кВт}$$

Розрахунок машинного часу

$$T_M = \frac{L}{n * s} * i$$

L – шлях інструмента в напрямку робочої подачі, мм.

$$L = l_1 + \blacktriangle + l_2$$

\blacktriangle – величина перебігу, в нашому випадку складає 44,5 мм.

$l_1 = 1 \dots 3$, беремо $l_1 = 1,75$ мм

$$l_2 = t * \text{ctg} \varphi = 3,5 * \text{ctg} 45^\circ = 3,5 \text{ мм}$$

$$L = 44,5 + 1,75 + 3,5 = 49,75 \text{ мм}$$

$$T_M = \frac{49,75}{0,55 * 110} = 0,82 \text{ хв}$$

Отже, згідно розрахунків можна зробити висновок, що при чистовій обробці оптимальним є мінімізувати потужність верстата у зв'язку з меншим діаметром обробки поверхні деталі, на відміну від заготовки, при тому, що час на обробку деталі залишається майже однаковим, а технологічний процес при чистовій обробці є дещо простішим, ніж при чорновій.

2.9. Технічне нормування операцій

Операція хонінгування

Перелік необхідних завдань:

1. Визначити технічну характеристику хонінгувального верстата;
2. Визначити час, що необхідний для обробки гільзи блоку циліндрів;
3. Розрахувати жорсткість і точність розміру форми внутрішньої поверхні циліндра;
4. Спроекувати хонінгувальну операцію;

5. Скласти технічну характеристику хонінгувального верстата;
6. Визначити порядок налагодження верстата (в табличному вигляді).

Хонінгування має здійснюватись з застосуванням мастильно-охолоджуючої речовини до зони відрізання з метою усунення стружки та інших зворотних відходів виробництва з поверхні шліфувальних брусків. Обробка поверхні здійснюється за допомогою абразивних брусків. Клас і параметри абразивних брусків визначаються згідно ГОСТ 24242 – 85, залежно від складності виконання технологічного процесу, форм і розмірів оброблюваного отвору.

Для виробництва діамантового бруска використовуються зерна природних та штучних діамантів.

Таблиця 2.4 - Основні параметри при хонінгуванні гільзи циліндра

Оброб. метал.	Характер обробки	Припуск на діаметр, мм	Розмір бруска, мм	$\dot{v}_{об}$ м/хв	$\dot{v}_{вп}$ м/х в	P, Н/мм ²	λ
чавун з аустенітною структурою	Первинна	0,05–0,09	50	45–85	16–23	7–11	3–5
СЧ28-48	Завершальна	0,006–0,02	100	25–45	40–60	2–4	2–5

Визначимо довжину абразивних брусків:

$$R_{бр} = \left(\frac{1}{3}\right) l_{отв}$$

$l_{отв}$ – довжина отвору

$$R_{бр} = \left(\frac{1}{3}\right) * 97 = 32,33 \text{ мм}$$

$$R_{факт} < R_{бр}; 32,33 < 50$$

Розрахуємо окружну швидкість обертання хонінгувальної головки:

$$\dot{v} = \frac{1000 * \dot{v}_{об}}{\pi D}$$

D – діаметр оброблюваного отвору, мм;

n – частота обертання хонінгувальної головки, хв^{-1}

Згідно таблиці режимів різання, швидкість зворотно-поступального $\dot{v}_{\text{вп}}$ і обертального $\dot{v}_{\text{об}}$ руху хонінгувальної головки: $\dot{v}_{\text{вп}}=22$ м/хв., $\dot{v}_{\text{об}}=75$ м/хв.

$$\dot{v} = \frac{1000 * 75}{3,14 * 120} = 199 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно технічних показників верстата, фактична частота обертання шпинделя:

$$n_{\text{ф}} = 190 \text{ хв}^{-1}$$

Визначення величини перебігу брусків:

$$l_{\text{пер}} = \frac{1}{3} l_{\text{бр}}$$

$$l_{\text{пер}} = \frac{1}{3} * 50 = 16,67 \text{ мм.}$$

Визначення питомого тиску абразивних брусків для оброблюваної окружності:

- При первинній обробці $P=(7\%11)*10^{-4}$ Н/мм²
- При завершальній обробці $P=(2\%4)*10^{-4}$ Н/мм²

Розрахуємо час, необхідний для хонінгування гільзи:

$$t_{\text{м}} = \frac{n_1}{n_2}$$

n_1 – кількість подвійних ходів, для зняття припуску

$$n_1 = \frac{a_x}{v}$$

a_x – припуск на хонінгування;

v – питоме знімання металу за подвійний хід.

$$n_1 = \frac{0,01}{0,003} = 4 \text{ подв. ходи}$$

n_2 – кількість подвійних ходів, шпиндельної бабки за одиницю часу ($n_2=55$).

$$t_{\text{м}} = \frac{4}{55} = 0,07$$

Табличне проектування операції хонінгування гільзи циліндра двигуна

Наступним кроком є спроектувати розточувальну операцію, визначити машинний час. Для цього необхідним є використати вертикально-

розточувальний верстат ВО 110. Гільзу необхідно встановити в конструкцію, що закріплюється до столу верстата.

Ексцентритет шпинделя та розточувального отвору повинен становити не більше 0,03 мм.

Центрувальний процес відбувається по необробленій поверхні дзеркала на глибині 3-5 мм від вертикального торця.

Порядок налагодження верстату:

1. Деталь обробляється на вертикально-розточувальному верстаті ВО 110, котрий обладнано адаптивними функціями для встановлення та стабілізації точності оброблення гільзи циліндра, а також розточною борштангою, котра дозволяє регулювати обробляє мий розмір.

2. Оброблювана деталь представляє циліндр, де внутрішня циліндрична сторона у зв'язку із амортизацією при роботі двигуна має вигляд еліптичності в області вісі обертання колінчатого валу.

3. Специфіка обробки закладається в тому, що у зв'язку з нерівномірною амортизацією та значної деформації форми оброблюваної поверхні, припуск на обробку по площині деталі буде нерівномірний

4. Максимальний припуск на обробку при хонінгуванні складає 0,1 мм. Це є максимально допустима величина, що мінімізує знос циліндра. Далі величина припуску буде зменшуватися. Важливо контролювати процес, щоб у площині максимальної амортизації припуск не становив 0. Тому що можливо, що відбудеться зупинка технологічного процесу обробки деталі та форма залишиться з деформаційними дефектами, що значно зменшить термін експлуатації деталі.

5. Технологічний процес розточування здійсниться при наступних показниках:

Глибина різання – 0,1 мм

Подача згідно паспорту верстата – 0,07 мм/об

Оптимальна швидкість різання для деталі з чавуна становить 110 м /хв..

– Визначаємо кількість обертів:

$$n_{ш} = \frac{1000v_p}{\pi D}$$

$$n_{ш} = \frac{1000 * 110}{3,14 * 120} = 292 \text{ хв}^{-1}$$

Корегована частота обертання 290 хв^{-1}

Визначаємо машинний час обробки гільзи циліндра:

$$L_{px} = l + l_1 + l_2$$

l – довжина поверхні згідно креслення, мм;

$l_{1,2}$ – довжина врізання і перебігу різця, мм.

$$l_1 + l_2 = 5 \text{ мм}$$

$$L_{px} = 290 + 5 = 295 \text{ мм}$$

Визначення машинного часу

$$t_m = \frac{L_{px}}{n_{\phi} * S_{\phi}}$$

$$t_m = \frac{295}{290 * 0,08} = 12,72 \text{ хв}$$

Операція свердління

Свердління – це процес обробки матеріалів для створення отворів у матеріалі для закріплення допоміжних комплектуючих.

При виготовленні деталі знадобиться свердлильний Bosch PBD 40.

Для розсвердлювання отвору діаметром 97 мм необхідно застосувати свердла кільцевого свердління. Данні свердла мають форму порожнистої головки, до якої вставляються різці та направляючі шпонки.

При свердлінні отворів великого діаметра майже неможливо спрямувати точно вісь отвору відносно її внутрішньої площини. Тому для мінімізації зносу свердла або деформації осі отвору, необхідно застосувати наступні заходи:

1. Застосовувати найменшу подачу;

2. Свердління з обертами деталі при нерухомому або обертовому свердлі;
Першим необхідно провести розрахунок машинного часу для свердління деталі за один прохід:

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s * n} * i$$

l_1 – довжина шляху врізання свердла, мм

$$l_1 = \frac{D}{2} * ctg\varphi + (0,5 \dots 2,0), \text{ мм}$$

φ – головний кут свердла ($2\varphi=118^\circ$);

D – діаметр свердла, мм;

l_2 – довжина перебігу свердла, мм ($l_2=1 \dots 3$ мм);

s – подача свердління (мм/об), згідно табличних показників та умов обробки 0,3 мм;

n – кількість обертів свердла за одиницю часу, згідно табличних показників, при діаметрі 97 мм складає приблизно 95 об/хв.;

i – кількість проходів.

$$l_1 = \frac{97}{2} * 0.6 + 0.6 = 29.7 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{97 + 29,7 + 1,5}{0,3 * 95} * 1 = 4,5 \text{ хв.}$$

Наступним кроком є розрахунок частоти обертання деталі

$$n_d = \frac{v * 1000}{\pi * D}, \text{ об/хв}$$

v – швидкість різання при свердлінні (м/хв.), згідно табличних показників та умови задачі становить 30 м/хв.

$$n_d = \frac{30 * 1000}{3,14 * 97} = 98,5 \text{ об/хв.}$$

Таблиця 2.1 – Інструменти та їх параметри

Тип інструмента	Конструктивні параметри				
	L, мм	l_1 , мм	l_2 , мм	φ°	d, мм
Свердло	97	29,7	1,5	59	97

Розрахунок оперативного часу для обробки деталей

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}}$$

t_0 – основний час;

$t_{\text{доп}}$ – допоміжний час.

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{з.м}} + t_{\text{з.п}} + t_{\text{ч.в}} + t_{\text{ус.з}} + t_{\text{п}}$$

$t_{\text{з.м}}$ – час на заміну інструмента;

$t_{\text{з.п}}$ – час на заміну подачі верстата;

$t_{\text{ч.в}}$ – час на зміну частоти оберта верстата;

$t_{\text{ус.з}}$ – час на встановлення заготовки;

$t_{\text{п}}$ – час переходу від одного верстата до іншого.

Допоміжний час для чорнового точіння:

$$t_{\text{доп}} = 0,42 + 0,12 + 0,18 + 0,54 + 0,25 = 1,51 \text{ хв.}$$

Згідно технологічності деталі, основний час на чорнове точіння гільзи циліндра складає 0,65 хв.

$$t_{\text{оп.т}} = 0,65 + 1,51 = 2,16 \text{ хв.}$$

Аналогічно розрахуємо час для шліфування та фрезерування:

Допоміжний час для чорнового шліфування:

$$t_{\text{доп}} = 0,35 + 0,18 + 0,15 + 0,45 + 0,22 = 1,35 \text{ хв.}$$

Згідно технологічності деталі, основний час на чорнове шліфування гільзи циліндра складає 0,5 хв.

$$t_{\text{оп.ш}} = 0,5 + 1,35 = 1,85 \text{ хв.}$$

Допоміжний час для чорнового фрезерування:

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,14 + 0,16 + 0,5 + 0,25 = 1,45 \text{ хв.}$$

Згідно технологічності деталі, основний час на чорнове фрезерування гільзи циліндра складає 0,6 хв.

$$t_{\text{оп.ф}} = 0,6 + 1,45 = 2,05 \text{ хв.}$$

Час технічного обслуговування робочого місця:

Оперативний час для обслуговування робочого місця (прибирання, провітрювання, технічних перерв разом складає 18,75 хв.

$$t_T + t_{\text{орг}} + t_n = \frac{\Delta\% * T_{\text{он}}}{100\%}$$

$\Delta\%$ – доля часу у відсотках від оперативного часу;

$T_{\text{он}}$ – оперативний час .

Для токарного верстату:

$$t_T + t_{\text{орг}} + t_n = \frac{4,5\% * 18,75}{100\%} = 0,84 \text{ хв.}$$

Для шліфувального верстата:

$$t_T + t_{\text{орг}} + t_n = \frac{1,5\% * 18,75}{100\%} = 0,28 \text{ хв.}$$

Для фрезерувального верстата:

$$t_T + t_{\text{орг}} + t_n = \frac{4\% * 18,75}{100\%} = 0,75 \text{ хв.}$$

Штучний час для фрезерувальної операції:

$$t_{\text{шт.ш}} = t_T + t_{\text{орг}} + t_{\text{п}} + t_{\text{оп}}$$

t_T – час технічного обслуговування робочого місця;

$t_{\text{орг}}$ – організаційний час;

$t_{\text{п}}$ – час перерв;

$t_{\text{оп}}$ – оперативний час.

$$t_{\text{шт.ф}} = 2,37 + 1,75 + 1,22 + 2,65 = 7,99 \text{ хв.}$$

Аналогічним методом розраховуємо час для токарної та шліфувальної операції.

Штучний час для шліфувальної операції:

$$t_{\text{шт.ш}} = 1,91 + 1,3 + 0,86 + 2,15 = 6,22 \text{ хв.}$$

Штучний час для токарної операції:

$$t_{\text{шт.т}} = 2,95 + 2 + 1,35 + 3,15 = 9,45 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час для фрезерної операції

$$t_{\text{шт.к.}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п.з}}}{n}$$

$t_{\text{п.з}}$ – підготовчо – заключний час;

n – розмір партії деталей.

$$t_{\text{шт.к.ф.}} = 7,99 + \frac{31}{22} = 9,4 \text{ хв.}$$

Аналогічним методом розраховуємо час для токарної та шліфувальної операції.

$$t_{\text{шт.к.ш.}} = 6,22 + \frac{24}{22} = 7,31 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{шт.к.т.}} = 9,45 + \frac{38}{22} = 11,18 \text{ хв.}$$

Розраховуємо кількість верстатів:

$$S_p = \frac{\sum t_{\text{шт}} * N}{F_d * 60} = \frac{23,66 * 50000}{4000 * 60} = 5 \text{ шт.}$$

N – річна програма випуску;

F_d – дійсний фонд часу, год.

Останнім показником є розрахунок коефіцієнта завантаження обладнання:

$$n_z = \frac{S_p}{S_{\text{пр}}}$$

S_p – розрахункова кількість верстатів;

$S_{\text{пр}}$ – прийнята кількість верстатів.

$$n_z = \frac{5}{7} = 0,71$$

2.10. Проектування верстатних пристроїв

Для проектування виробничого обладнання, що підтримує технологічний процес вцілому, було обрано трьохкулачковий патрон ПС-9.

Даний патрон є складовою токарного верстата JET GNB-1340 A DRO і виконує функцію закріплення одиничних заготовок для серійного та масового виробництва.

Даний патрон є само центричним з підвищеним класом точності.

Вдосконалення конструкції даного патрона значно зменшує затискні зусилля. Даний патрон має високу зносостійкість, тому витримує підвищені умови експлуатації верстата протягом довгого часу

Характеристика токарного патрона ПС-9:

РОЗМІРИ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Діаметр патрона D , мм – 200

Висота патрона, H_1 , мм - 100

Діаметр прохідного отвору, мм – 97

Хід кулачка H , мм – 9,5

Допустима частота обертання патрона, об/хв – 1875

Умовний розмір приєднувального конуса за ГОСТ12595 – 8

Зовнішній діаметр конуса D_3 , мм – 146,753

Діаметр розташування отворів кріплення D_2 , мм – 175

Діаметр кріпильних отворів – M14

Кількість отворів кріплення, n – 4

Максимальний крутний момент, Н/м – 17

Сумарна сила затиску в кулачках, N – 12500

Переважно застосовується для роботи передньої бабки (шпинделя) токарного верстата для затискання оброблюваної деталі. В деяких випадках застосовується комплексно з поворотними столами та ділильними головками.

На осі шпинделя токарний патрон може закріплюватися наступними чином:

- *спосіб 1* — з циліндричним центрувальним пояском і з кріпленням через проміжний фланець (планшайбу);
- *спосіб 2* — з кріпленням прямолінійно на фланцеві кінці шпинделів під поворотну шайбу за ГОСТ 12593-93 (конус);
- *спосіб 3* — з кріпленням прямо на фланцеві кінці шпинделів за ГОСТ 12595 (конус, наскрізне кріплення) .

3. ТЕМА НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЧАСТИНИ (НДЧ) МР (ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ З СІРОГО ТА БІЛОГО ЧАВУНУ)

З розвитком машинобудівної промисловості відбувається вдосконалення виробництва та безпосередньо технологій з використанням існуючих матеріалів з додаванням додаткових елементів для поліпшення експлуатаційних характеристик певного виду обладнання. Відповідно для чавуну першочерговим покращенням для умов виробництва є контроль термічної обробки матеріалу, особливо на даний момент часу це можна зробити максимально точно через комп'ютерні додатки, дані способи є ефективними, оскільки створюються можливості отримання якісних заготовок. Варто звернути увагу, що амортизація деталі відбувається не лише за рахунок тертя, нагрівання причинами також нерідко слугують механічні властивості матеріалів.

Сірий чавун — вид чавуну (сплав заліза з вуглецем), в якому весь вуглець перебуває у вигляді графіту. Паралельно з базовим елементом (залізо) містить компоненти:

вуглецю (2,5...4,5 %), кремній (0,8...4,5 %), марганець (0,1...1,2 %), фосфор (0,02...0,3 %) і сірку (0,02...0,15 %). Границя міцності сірих чавунів при розтягу — 100...350 МПа, стиску — 450...1400 МПа, твердість за Брінеллем — 143...289 НВ.

Сірий чавун має властивості невеликого опору відриву, мінімальний відсоток відносного подовження (до 0,4%), невеликою ударною в'язкістю. Тому для покращення властивостей чавуна головним є розробка технологій з максимально дрібними графітовими частинами та відповідно з покращенням ізоляції між ними для отримання чавуну з високою міцністю. Дана технологія обумовлена введенням додаткових частин для виробництва металу в незначних кількостях, званих модифікаторами (феросиліцій, силікокальцій).

Графіт в сірому чавуні має пластинчасту форму. Значну роль на процес графітизації відіграє хімічний склад чавуну. Речовинами, що утворюють графітизації, є Si, Ni, Cu тощо. Найбільш необхідними елементами в складі сірого чавуну є кремній і марганець. Змінюючи в чавуні концентрацію кремнію при незмінному об'ємі марганцю, отримують різну кількість вуглецю у вільному просторі, тобто різний вміст графітизації.

Чинником, від якого залежить виготовлення сірого чавуну при кристалізації, тобто утворює графітизацію — виділення вуглецю в рівноважному стані першочергово це невелика швидкість охолодження. При зміні форми матеріалу або потовщенні його стінки відбувається зміна ступеня охолодження, від чого ступінь графітизації збільшується. Ступінь графітизації визначає структуру металевої основи сірого чавуну. За умови, який відсоток вуглецю міститься в чавуні у зв'язаній концентрації, бувають чавуни з феритної, феррито-перлітною і перлітною основами.

Перевагою використання чавуна у машинобудівній промисловості є: невисока вартість, високоякісні ливарні властивості, значно менше схильний до корозії, ніж сталь, вироби мають міцну основу та довше служать при процесі тертя, при токарних та свердлильних операціях зручно закріплюється та обробляється. Також головною перевагою чавуну є висока можливість поглинання вібрації від роботи матеріалу, завдяки чому на поверхнях матеріалу не відбувається механічних пошкоджень.

Безперебійний технологічний процес підприємств в першу чергу залежить з застосуванням пристроїв високої зносостійкості. Використання амортизаційновисоких матеріалів (гуми, високохромистих чавунів, кам'яного литва) надає можливість подовжити срок технічного огляду, планових ремонтів, які серйозно призводять до простою обладнання. Абразивна амортизація є головним видом амортизації для виливків, що виробляються зі високого ступеня амортизації високохромистих чавунів. Така амортизація типова для великої групи технологічного устаткування та транспорту – шламові насоси, екскаватори, млини для подрібнення руди, щічні і конусні дробарки,

футерувальні плити бункерів і скіпів, тічки, жолоби, машини флотацій, змішувачі тощо. Використання високохромистих сірих чавунів відбувається завдяки їх високому ступеню амортизації в абразивних сферах, завдяки присутності в стінках металу високотвердих складових – карбідів і лімітується специфікою роботи, обумовленою з значними ударними навантаженнями. Амортизаційна стійкість виливків з даних чавунів в 8-15 разів вища, ніж з конструкційних сталей. Базові фактори, що визначають знос, – абразивні властивості корисних копалин, що добуваються, навантаження і швидкість при амортизації.

Значну залежність на термін експлуатації матеріалів при абразивній амортизації має твердість абразиву. Стійкість матеріалу при знаходженні в сфері виключно абразивної амортизації залежить від співвідношення твердості абразиву (H_a) і матеріалу деталі (H_m) - коефіцієнт $D_o = H_m : H_a$. Максимальні показники даного коефіцієнта $D_o = 0,6 \div 0,7$. Ці умови розповсюджуються на абразивну амортизацію з невеликими кутами атаки абразивних часток ($\alpha \approx 0$), в деяких умовах роботи обладнання ці характеристики вимагають значного коректування або не придатні до роботи.

Пересічення струменя абразиву зі стінкою деталі називається кутом атаки α . Кут атаки при функціонуванні деталі в агрегаті обладнання в потоці абразиву є головним фактором, що прискорює процес амортизації. При $\alpha < 30^\circ$ деталь тріскається зазвичай в процесі мікрорізання, а при $\alpha \approx 90^\circ$ – в процесі повторного ударного зносу. Глобальні експерименти дій кута атаки струменя на різні матеріали були здійснені А.Антоновим у легкоабразивному і Г.В. Топоровим з іншим ученими у гідроабразивному потоці. Роблячи висновки з розрахованих показників, дія кута атаки на амортизацію не має відношення до природної сфери (води або повітря), що несе абразивні частки. Амортизація пластичних деталей при зміні кута α від 0 до 90° перш за все збільшується, а далі зменшується, найбільша амортизація здійснюється при $\alpha = 30 \div 45^\circ$. Матеріали з високою твердістю і крихкістю, такі як білий чавун, швидкорізальні сталі та ін., мають найбільшу амортизацію при $\alpha \approx 90^\circ$, а

найменшу при $\alpha < 30$. Серйозну проблему в амортизації створює корозійний вплив абразивної маси. При порівняно малій абразивній складовій ряду сірчистого вугілля і високої їх корозійної активності корозія стає вирішальним чинником зношування деталей. Проведений аналіз дослідження В. Т. Калініна показує, що в кислотних сферах поширення абразивної амортизації значно збільшується. Навіть якщо рН5 швидкість амортизації чавунів зростає на відміну зі швидкістю зношування у водоабразивному середовищі до 10 разів. Стосовно, дослідних робіт, з найбільш поширених чавунних сплавів (ИЧХ210Х12Г5, ИЧХ210Х30Г3, ИЧ210Х33Н3С, ИЧ210Х33Г3) найбільш високі характеристики амортизаційної стійкості має сплав ИЧХ210Х33Г3. Вищі показники можна отримати за рахунок модернізації сплаву ультра дисперсним модифікатором TiCN.

Деталі верстатів, техніки сільського господарства, автомобілів, хімічних насосів задіяні в перекачуванні пульпи функціонують під впливом кавітаційно-ерозійної сили. Як наслідок ситуація, спричинена квантацією наносить систематичні гідравлічні удари, розподілені в мікрооб'ємах поверхні що викликає викривлення форм деталей та невдовзі їх непридатність. Виробничим обладнанням для дослідження є хімічний компресор GV-8/8-160. Даний тип компресорів відноситься до повітряних. Даний компресор застосовується для постачання природним газом. Компресор високого тиску – це промисловий насос, робота котрого формує процес стиснення чи нагнітання повітря та газів. Даний компресор обов'язковий атрибут на автозаправних станціях, металургійній промисловості та в машинобудуванні. При заключних дослідних показниках на амортизацію матеріалів, що використовують для швидкозношуваних пристроїв, бажано розділити на два класи: амортизаційно стійкі чавуни, до складу яких входять хром, нікель, молібден; гуми, що включають до складу натуральний каучук. Проте гума використовується у невеликих кількостях у зв'язку з легкістю механічних пошкоджень, що знизять якість деталі. З легованих сплавів найпоширенішим став хромонікелевий спеціальний сплав, умовно названий СС (ИЧХ28Н2 або 300Х28Н2).

Амортизаційно стійкий сплав ИЧХ28Н2 є білим заевтектичним чавуном, стандартна мікроскладова котрого включає карбіди $(Cr, Fe)_7C_3$, фериту та аустеніту.

Амортизаційна стійкість чавуну при абразивному впливі основним чином стосується будови його мікроструктури, виключно мікротвердості, форми, зустрічного розміщення і числа конструктивних складових. Базові конструктивні складові чавуну у спосіб збільшення їх мікротвердості: графіт, ферит, перліт, аустеніт, цементит, легований цементит, спеціальні карбіди хрому, ванадію і інших елементів, борід. Для витримки високої амортизаційної стійкості білих чавунів, металева поверхня має пружно утримувати тверду структуру і не допускати процесу її гниття.

Слід наголосити, що у білих амортизаційно стійких чавунах первинний аустеніт є більш зносостійким, ніж вторинний, добутий при аустенітизації виливків. Зниження стійкості вторинного аустеніту зумовлюється систематичним потраплянням сторонніх елементів кристалічної структури, що накопичуються при фазових перебудовах в твердому стані та нижчим вмістом вуглецю. Головний легуючий елемент білих амортизаційно стійких чавунів – хром. Поєднання кінетичних діаграм кристалізації хромистих чавунів із складом, подібним до евтектичного, демонструє, що підвищення концентрації хрому не має відношення на розташування лінії появи аустеніту. При більшому додаванні концентрації хрому в чавуні утворення графіту додає міцності металевій констукції. Хром в чавуні посилює діапазон температурних коливань евтектичної координації і знижує наявність вуглецю в евтектиці. У структурі знайдено кілька карбідних фаз: легований цементит $(Fe, Cr)_3C$, кубічний карбід K1 складу $(Cr, Fe)_23C_6$, тригональний карбід K2 складу $(Cr, Fe)_7C_3$. В структурі наявні три сфери евтектичноперитектичної коррдинації: $Fe+A+K1+L$ при $1275^\circ C$, $A+K1+K2+L$ при $1225^\circ C$ і $A+Ц+K2+L$ при $1175^\circ C$ та сфери області евтектоїдно-перитектоїдної координації: $Fe+A+K1+K2$ при $795^\circ C$ і $Fe+A+Ц+K2$ при $760^\circ C$. Нікель у чавуні додає температури евтектичної координації в стабільній системі (1% Ni – майже на 4°) і зменшує в

метастабільній структурі (1% Ni – майже на 6°), згідно досліджень про термодинамічні коливання.

Процедура Fe - C - Ni фактично недосліджена у зв'язку з тим, що майже неможливо визначити координацію, через малу швидкість дифузійних процесів, а процедура метастабільної значення фактичного не відіграють значення в технологічному процесі, тому не досліджуються. Нікель мінімізує температуру евтектоїдної координації, зменшує вплив вуглецю і оптимізує перліт. У сфері А+Ц нікель створює зустрічний процес: збільшує наявність вуглецю, зменшує стійкість цементиту і надає графітизації чавуну. Сильно велика концентрація нікелю спричиняє формування великого обсягу аустеніту, який погіршує якість чавуну. Однак слід брати до уваги і те, що при недостатньому легуванні нікелем знижується міцність конструкції чавуну, що невдовзі призводить до втоми чавуну. Базою кристалізації хромистих чавунів є формування твердих речовин і цементиту, а якщо наявність хрому більше 3% – удосконалення карбідів та твердого, немагнітного та крихкого інтерметаліду Fe - Cr, котрий включає 45-50% хрому. У білих чавунах ростання наявності хрому (понад 10%) спричиняє формуванню в будові сплаву карбиду тригонального типу (Cr, Fe) $7C_3$. При діапазоні консистенції хрому 9,5-12% цементитно-аустенітна евтектика (Fe,Cr) $3C_3$ +А в початковій будові чавуну витісняється евтектикою (Fe,Cr) $7C_3$ +А, це спричинює зміни у структурі евтектичних мас серйозно відражається на технологічних та фізичних властивостях будови чавунних виробів. Карбіди типу $M7C_3$ є міцнішими і дисперсними, порівняно з карбідами M_3C_3 , що надає чавунам з карбідами першого типу більшу амортизаційну стійкість і пружність.

Мікротвердість карбідів (Cr,Fe) $7C_3$ дорівнює 1200...1500 Нм, що набагато вище, ніж мікротвердість кварцу (~1000 Нм). Звідси відображається пояснення високої зносостійкості високохромистих чавунів при виробництві деталей. За наявністю хрому в чавуні в ганицях від 0 до 9% чавун створює короткочасний опір при технологічній деформації 160...260 МПа. При зростанні наявності хрому до 12-14% аналогічний показник підвищується до 340...450 МПа.

Переважно, використовують доевтектичні і евтектичні чавуни, так як в заевтектичних чавунах при кристалізації формуються здорові карбіди у формі голок, що погіршують якість і пружність матеріалів. Тому важливо розраховувати необхідний хімічний склад чавуну, щоб не допустити заевтектичності. За наявності в чавунах 12...18% хрому сплави, що включають понад 3,6% вуглецю, перетворюються в заевтектичні.

За наявністю в чавуні майже 34% хрому і 1,5...2,2% вуглецю металева поверхня утворюється з фериту, що утворює відносно високу здатність запобігання швидкому зносу. Даний сплав має високу здатність запобігання знищенню від корозії в окислювальних розчинах і в лугах, морській воді, стандартному повітрі і в сірчистих газах. Високохромистий чавун має низьку стійкість в соляній кислоті і в розбавленій сірчаній. Даний чавун має високу жаростійкість при $t < 1200^{\circ}\text{C}$. Тому, найбільший показник міцності та усіх структурних складових отримується від комбінованого легування доевтектичних розплавів. Наприклад, сплав ИЧХ28Н2, є незмінним у гірничорудному ремеслі для виробництва обладнання, комплектуючих та пристроїв для обладнання. Однак, варто зазначити щодо сплаву ИЧХ28Н2 є досить високовартісним, у зв'язку з високою вмісткістю дорогого ферохрому і нікелю. Тому розробляються аналогічні сплаву ИЧХ28Н2 технології виробництва сплавів для конструктивно складних промисловостей, оскільки даний матеріал не в змозі утримувати порушення технологічного процесу (наприклад, потрапляння пісчанних каменів), що спричиняє швидкому виході з ладу обладнання. Безумовно, що зменшення собівартості виробництва він неоправданих витрат, при цьому так, щоб у виробі не знизилась якість є сприятливим. Тому проведений технологічний аналіз показав доцільність впровадження модифікаторів, що включають РЗМ, Са, Ва, Sr, Ti, Zr особливо для важкого та хімічного машинобудування.

Карбіди є найголовнішими елементами амортизаційно стійких чавунів, котра при взаємодії з іншими фазами формує технологічні параметри виливків.

Кристалізація доєвтектичних чавунів формується з наявністю надмірного аустеніту перш за все, а далі кристалізацією аустеніту і цементиту.

Для отримання аустенітно-карбідної структури в хромистих чавунах потрібний вміст хрому більше 23%, аналогічну структуру в марганцевих чавунах можна отримати при вмісті марганцю 7-10%. Цим для зносостійких чавунів пояснюється необхідність підтримувати високі концентрації карбідоутворювальних елементів. При легуванні чавуну карбідоутворювальними елементами у кількості 1-3% мікроструктура чавуну характеризується дуже тонкою дендритною будовою, при цьому міждендритні простори заповнені тонкою цементитною евтектикою і компактними включеннями структурно вільного цементиту. Сірка і фосфор - постійні домішки в чавуні, утворюють наступні з'єднання із залізом: FeS, FeS₂, FeS₃. Такі з'єднання значною мірою впливають на структуру і властивості чавуну. Сірка істотно зменшує зносостійкість, негативно впливає на фізико-механічні властивості і збільшує схильність до утворення тріщин в чавуні. При вмісті сірки від 0,2 до 0,4% відзначається максимально низьке значення динамічної міцності. Також при підвищеному вмісті сірки (більше 0,2%) в доєвтектичному білому чавуні спостерігається збільшення кількості структурно-вільного цементиту і укрупнення розмірів сульфідів марганцю, що призводить до підвищеної крихкості литих деталей. Структура, яка утворюється в процесі твердіння Fe - P - C сплавів, істотно відрізняється від залізо вуглецевих сплавів евтектичного типу. Фосфід Fe₃P і кристали γ -розчину утворюють евтектику, яка має високу твердість при низьких температурах. В результаті легування чавунів великою кількістю фосфору до 7%, утворюється легкоплавка фосфідна евтектика, яка призводить до зниження температури початку кристалізації, збільшення переохолодження і, як наслідок підвищення твердості. Проте в процесі абразивного зносу окремі включення фосфідної евтектики легко викрошуються, що призводить до різкого підвищення зношування. Вуглець з марганцем зв'язується в карбіди Mn₃C, Mn₇C₃ і Mn₂₃C₆, причому карбід Mn₃C ізоморфен з карбідом Fe₃C і утворює з ним тверді розчини. Марганець

стабілізує аустеніт і цементит у білих чавунах. У чавунах, легованих марганцем, значною мірою утворюються карбіди типу $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$.

Чавуни, леговані значною наявністю марганцю, втрачають міцність та відповідно якості майбутнього виробу, що зумовлено появою пластин великої протяжності. Марганець в більш серйозно, ніж нікель зменшує евтектоїдне перетворення $\text{Fe} - \text{C}$ – сплавів і створює можливість їхньої аустенізації. Будова чавуну, що включає 5-6% Mn , при стандартних швидкостях охолодження – мартенситна, при 8- 10% – утворюється з аустеніту і карбідів. Наявність марганцю понад 7% сильно зменшує графітизацію. Марганцевий аустеніт у порівнянні з нікелевим, при їхній аналогічній твердості, менше адаптується до технологічного оброблення, відповідно відбувається велика кількість браку. Оцінюючи кінетичні показники кристалізації амортизаційно стійкого чавуну, з наявністю 0,76-4,68% Mn , до 2,94% Si і до 4,26% C досліджено, що при збільшенні (0,75% і більше) знижує здатність до графітизації, відповідно створює значну кількість дефектів у структурі сірого чавуну. При підвищеній концентрації $\text{C}+\text{Si}$, у товстостінних виливках утворюється силікокарбід $(\text{Fe},\text{Mn})_7\text{Si}-\text{C}_2$ і знижується обсяг цементиту.

Відповідно марганець додає обсяг центрів формування кристалів і процедуру збільшення кристалів цементиту з евтектичного розчину. Слід зазначити, що вплив сірки серйозно нейтралізує вплив марганцю, відповідно марганець також оже нейтралізувати сірчаний вплив. У виливках з доевтектичного білого чавуну з концентрацією марганцю в проміжку 0,9-2,2%, на основну будову він візуальної шкоди не створює. У білих чавунах, які застосовуються для виготовлення малоцінних запчастин, для запобігання графітоутворення в товстостінних виливках концентрація кремнію не повинна бути більшою, ніж 0,6...0,9%, а наявність карбідоутворювальних частин зростає до 16,4%. У білих чавунах переважно в ролі карбідоутворювальних частин застосовують хром.

Вдосконалення амортизаційної стійкості чавуну на 30% отримується при додаванні до сплаву 0,38% титану і подальшою 6-ти годинною аустенітизацією з 1050°C . Зростання амортизаційної стійкості на 30% при використанні

твердого абразиву дає позитивний результат, оскільки Al_2O_3 оптимізує різницю в амортизаційній стійкості виливків.

Легування чавуну молібденом, ніобієм, цирконієм, і іншими компонентами є найбільш оптимальним та економічно доцільним методом вдосконалення технологічних здатностей чавунів. Стосовно з отриманими даними, легуючі елементи формують наступну спаднаючий ланцюг стосовно активності на карбідоутворення в чавуні: Nb, Ti, V, W, Mo, Cr, Mn. Однак ніобій, незважаючи на близькість будови до вуглецю, здійснює нейтральний вплив, стосовно графізації при його поєднанні з вуглецем, азотом і киснем. У великих кількостях ніобій часто зменшує процес графізації.

При легуванні ніобієм виділяється тугоплавкий карбід NbC, до якого входить гранецентрована кубічна сітка. Також ніобій розширює міжатомні зв'язки, через що зростає технологічна міцність сплаву. Додавання ніобію до залізовуглецевих сплавів знижує і зміщує аустенітну частину у сторону зростання температур, також зсуває евтектоїдну точку у сторону більшої наявності вуглецю. Згідно технологічних даних слід зазначити, що домішки ніобію в чавун додавали мікротвердості технологічної будови чавуну. Косистенція ніобію для перлітових чавунів застосовується в діапазоні $0,03 \div 0,06\%$, а для білих чавунів максимум $0,3\%$ для підвищення амортизаційної стійкості через присутність карбідів ніобію в перегородці.

Технологічні дані досліджуваного асортименту амортизаційно стійких виробів демонструє картину, що валки для гарячого прокатування з твердоміцного чавуну легують $0,2-2,5\%$ ніобію, від чого зростає амортизаційна стійкість, атмосферна стійкість і стійкість до утворення дефектів у зв'язку із додаванням $0,05 \div 2,5\%$ ніобію або танталу в чавуні наявні дисперсні карбіди ніобію і танталу, пропорційно розташовані в структурі, котрі посилюють здатність протистояти зносу, без пошкоджень графіту. Легування ніобієм, за умови додавання його у формі чистого металу у обсягу $0,075 \div 0,75\%$ створює можливість зростанню чистого відбілу. Додавання ніобію у формі фероніобію, що включає алюміній і титан, аналогічно збільшує наявність чистого відбілу,

при цьому знижується швидкість дії. При додаванні ніобію у формі чистого металу найбільший обсяг цементиту був отримий при його наявності $0,19 \div 0,33\%$. При легуванні фероніобієм найбільший обсяг цементиту отримується при наявності $0,33 \div 0,48\%$.

Легування ніобієм від $0,07\%$ і більше формує в будові чавуну спеціальні карбіди, параметри і наявність котрих зростає у сторону зростання кількості ніобію. Аналогічно зростання глибини відбілу розташоване прямо пропорційно, залежновід ступеня переохолодження при евтектичній кристалізації. Однак легування чавуну ніобієм понад $0,25\%$, при дослідженні формування великого обсягу спеціальних карбідів, майже не впливає на ступінь переохолодження. Так як при додаванні ніобію ступінь переохолодження більший, то аналогічно більша також і відбілювальна властивість. Пружність, границя міцності при деформації і амортизаційну стійкість чавуну, легованого ніобієм, порівняно з нелегованим чавуном збільшувалися.

При додаванні до чавуна доевтектичного складу дані компоненти збільшують пружність та захист від зносу ледебуриду і переміщують криві ізотермічного зміщення аустеніту управо, що додає стійкості аустеніту в амортизаційно стійких виливках. Паралельно з вищезописаним, можна зробити висновок, що хімічна складова сплаву, параметри виливків та вимоги до їхнього охолодження, визначають клас легованості металевої бази чавуну, його технологічна і виробничі здатності. Також дані елементи – високоінтенсивні карбідоутворювальні метали. Кінетичні графіки кристалізації чавуну дають можливість ретельно дослідити функцію легуючих компонентів і частинок в операціях технологічної будови.

Легуючі розподіляють на ті, що можуть покращити відбілюваність чавуну, міщені в послідовності у порядку збільшення їх властивості: марганець, молібден, хром, ванадій, телур. Аналогічно покращити відбілюваність можуть спеціальні допоміжні хімічні домішки: магній, церій і інші РЗМ. При кристалізації білого чавуну велику залежність можуть утворювати компоненти, в котрих наявна більша, ніж в залізі спільність з вуглецем, переважео це: титан,

цирконій, ніобій, ванадій. При легуванні даними компонентами розплавів доєвтектичного складу рідинна фаза, у зв'язку з формуванням карбідів, зменшується кількість вуглецю. Карбіди при мікролегуванні даними компонентами спроможні формуватися виключно при зниженій концентрації азоту в чавуні, в поганому випадку вони комбінуються в нітрид, від чого фактично не залежить переохолодження розплаву.

3.1. Теплове оброблення як додатковий показник якості

Теплове оброблення – це система обробки сплавів для зміни технологічних властивостей та конструктивності вцілому, що відбувається нагріванні до необхідної температури, зберіганні при цій температурі і подальшому охолодженні із відповідною швидкістю. У ливарному виробництві тепла обробка відбувається для отримання металом бази технологічних і експлуатаційних характеристик.

При проведенні властивостей на відсотковість термічного оброблення та відповідно хімічних компонентів, що виділяються при цьому, зроблено висновок, що теплове оброблення надає добру можливість зробити штучне старіння, для отримання значних фізико-механічних параметрів матеріалів для заготовки. Надлишкова енергія в чавунних валках, що утворюється в процесі кристалізації, утримується до введення їх в роботу. Відповідно надлишкова напруга, що утворюється в процесі експлуатації валків, що експлуатуються в умовах підвищених температурних режимів досить часто призводить в комбінації з резервною енергією до швидкого зносу чавунних валків. Тому теплове оброблення використовується переважно для вивільнення надлишкової напруги. В деяких випадках теплове оброблення необхідне для підвищення міцності при недостатній твердості матеріалу.

В європейських технологіях тепла обробка є необхідним компонентом будь-якого технологічного процесу, однак даний процес не є досить розповсюдженим, тому що підвищує собівартість деталі. Але варто зауважити,

що при використанні даного процесу затрати інших підприємств на пристрої при його використанні можуть зменшитися. Альтернативою є часткове теплове оброблення, щоб отримати штучне старіння.

Режими теплового оброблення прокатних валків з ціллю штучного старіння проводили багато дослідників. О. Bauer і К. Sipp наголошували, що вже при нагріванні до 150°C залишкова напруга знижується, а при температурі понад 550°C відбувається серйозне зменшення твердості, при цьому залишкова напруга майже не змінювалась. Найбільше зменшення напруги відбувалося при температурах $500\text{-}550^{\circ}\text{C}$. Температура 550°C є найбільш ефективною з точки зору науковців. В розробці Л.Х. Іванової описувалися режими подвійного відпалу прокатних валків з чавунів, модифікованих РЗМ. Наголошено, що ефективними параметрами подвійного відпалу для валків з модифікованих чавунів були на першому етапі температура 920°C і витримка 30 хв., на другому етапі температура 550°C і витримка впродовж 1,5 год., при даних складових термічного оброблення властивості залишалися ефективними. У амортизаційно-стійких хромистих чавунах при невеликій присутності м'яких компонентів спричиняє зниження якості матеріалу. Пригнічення перлітового перетворення при литті зумовлюється з потребою легування сплавів великим обсягом дорогих і дефіцитних елементів.

Проте присутність великої кількості таких елементів значно порушує будову матеріалу, запобігаючи швидкому охолодженню у формі. Науковці Т. Norman, А. Solomon, Р. Doane наголошують, що в будові 15% Cr - Мо чавуну, що масово використовується в європейських технологіях, з товщиною стінки близько 40 мм після охолодження у формі залишається великий обсяг троостито-сорбіту або перліту. Однак даний чавун після охолодження на повітрі, навіть у виливках з товщиною стінки до 180 мм, втрачає компоненти перлітового розпаду. Через низьку теплопровідність і пластичну амортизаційну стійкість білих чавунів охолодження виливків з них у воді і маслі не допустиме, так як навіть при товщині стінки 40мм це відбуваються пошкодження у вигляді гартівних тріщин.

Для вдалого пригнічення перлітового і проміжного перетворень першочергово є встановити критичну швидкість розжарення, тому що при недостатньому прожарюванні не є можливим отримати необхідну будову металевої поверхні чавуну і в результаті високу зносостійкість. Прожарювання сплаву – перша з базових особливостей, що формує зносостійкість виливки та можливість здобуття мартенситної будови основи при охолодженні литих матеріалів на повітрі. Використання розжарювання дає можливість здобути мартенситно-аустенітну структуру при чому мінімізувати процедуру легування чавунів труднодоступними елементами, а отже і собівартістю в цілому. М.Є. Гарбер розробив наукову роботу стосовно впливу на прожарювання головних елементів, що входять до складу білих зносостійких чавунів. Вуглець змінює клас і обсяг карбідів і впливає на металеву будову. Взначення впливу багатьох концентрацій вуглецю відбувалося на високохромистих чавунах (12-14% Cr, 1,4-1,6% Mo). Досліджено, що при додаванні кількості вуглецю сильно змінюється прожарювання, що стало наслідком розм'якнення твердого розчину хромом і молібденом через утворення карбідів M_7C_3 і M_3C . Дані чавуни зі наявністю до 2% вуглецю мають відносно високий ступінь прожарювання.

Мартенситна будова основи отримується у виливках з максимальною товщиною 50 мм та готовою концентрацією 2,5% С. Подавити перлітове перелаштування допустимо лише при стінці 30мм. Не варто забувати і про необхідний вміст 2,9% С, що надає можливість отримати однаково високу стійкість від тертя в процесі роботи, навіть при перерізі 100 мм в виробках з чавунів ИЧ290Х12Г5 та ИЧ290Х12Г3М. Найвищий ступінь прожарюваності має чавун ИЧ300Х18Г3. За науковими роботами багатьох вивчених, вуглець впливає так само також на хромомарганцевисті чавуни. Вуглець мінімізує обсяг і температуру мартенситної зміни, у зв'язку з чим збільшується вміст вуглецю з 1,96% до 3,57% зменшується температура з 200°C до 70°C, при цьому обсяг вільного аустеніту при охолодженні до 20°C зростає з 7 до 38%. Зростання обсягу кремнію в чавуні ИЧ300Х12М сильно зменшує прожарювання, в будові основи зростає обсяг елементів дифузійного розпаду. Зростання обсягу

кремнію з 0,55 до 1,18% в Cr – Mo у чавуні удвічі скорочує переріз виливків, що несуть мартенситну будову.

Саме тому М.Є.Гарбер пропонує максимальний обсяг Si 0,7% для отримання необхідної прожарюваності в цих чавунах. Для Cr – Mn -вих чавунів Є.В. Рожкова у наукових роботах підсумовує, що обсяг кремнію не повинен перевищувати 1,2%. Нікель – базовий легуючий елемент у білих зносостійких хромистих чавунах, додається для пригнічення перлітового перетворення. Застосовуваний на українських заводах чавун ИЧ290Х28Н2 містить до 3% Ni, який у комбінації з 30% вмістом хрому значно оптимізує аустеніт і зменшує температуру мартенситного перетворення, що є наслідком здобуття аустенітно-феритної металевої будови і зниження якості виготовленого матеріалу.

Для евтектичного чавуну типу ніхард нікель має домінувати в межах від 4,0 до 8,0% залежно від товщини стінки матеріалу. З ціллю отримання чавуном найбільшої в'язкості пропонується вилиток підставити під термічну обробку, такі чавуни використовуються в випадках підвищених ударних навантажень і впливу корозії. При аналізі Cr - Mo-чавунів прийшли до висновку, що обсяг хрому від 13,6 до 17,0% додає прожарюваності чавунам, вже при 25% Cr зменшується, а при 29% Cr металева будова плити товщиною 30мм складається виключно з феритно-карбідних домішок. Зростання хрому з 12 до 17% стає наслідком зростання його обсягу в твердому розчині, що створює умови досягнення оптимальних показників аустеніту і зростанню прожарюваності, типова ситуація відбувається також в хромомарганцевих чавунах.

Чавуни з однаковою концентрацією хрому, кремнію і марганцю за різної концентрації хрому, суттєво відрізняються своєю прожарюваністю. Яскравим прикладом є чавун зі концентрацією 13% хрому і 3,43% марганцю, має пружність HRC60 при максимальному перерізі 75 мм, а чавун з 18,6% хрому за аналогічної кількості марганцю має пружність HRC60 навіть при перерізі 400 мм. Наступне зростання кількості хрому до 24% зменшує пружність матеріалу по всій його площині. Аналогічний висновок зробив учений F. Morafray. Оптимальним способом зростання прожарюваності чавунів є підвищення

температури розжарювання. Зростання температури утворює розчинення первинних карбідів, котрі присутні у металевій будові, і зростання в аустеніті легуючих компонентів.

Відпуск – затребувана операція теплового оброблення, ціллю якої є виведення внутрішньої напруги, отриманої після розжарювання. Дослідження наслідків взаємодії теплового оброблення на взаємодію з подрібнювальними тілами є майже неможливі, у зв'язку зі специфічною конструкцією і параметрами цього вилівка. Подрібнювальні тіла переважно отримують на карусельно-кокільних кулеливарних машинах, що формує причини нових наукових досліджень, що охолоджують, наслідки технологічної обробки таких виливків після доставання їх з кокільних форм. Тому, підсумовуючи можна зробити висновок про перспективність дослідження та впровадження технологічних процесів в інноваційне машинобудівне, хімічне та ливарне виробництво.

3.1.1. Класи сірого чавуна та структурна складова залізвуглецевих сплавів

1. Легований чавун – чавун з штучним додаванням легуючих елементів (хрому, алюмінію, нікелю, ванадію, титану та інших), завдяки чому вдосконалюється будова матеріалу.

До легованих чавунів належать чавуни з одним і більше легувальним елементом (Ni, Cr, Cu, Al, Ti, W, V, Mo), а ще $> 2\% \text{ Mn}$ і $> 4\% \text{ Si}$.

Легований чавун поділяється на:

- мікролегований (з мікродозами введених елементів);
- низьколегований (легувальних елементів до 3 %);
- середньо- (від 3 до 10 %);
- високолегований (понад 10 %).

Також, за хімічними складовими, виділяють: легований чавун хромистий (ЧХЗ, ЧХ16, ЧХ28Д2), кременистий (ЧС4, ЧС15, ЧС17М3), алюмінієвий (ЧЮХШ, ЧЮ22Ш), марганцевий (ЧГ6С3Ш, ЧГ8Д3), нікелевий (ЧНХТ, ЧН11Г7Ш).

Чавун, який отримує леговані елементи з руди, називається природо легованим.

Легування чавунів вдосконалює якість технологічного процесу, підвищує міцність матеріалу, відповідно мінімізує знос. Легованими чавунами переважно є сірі, високоміцні та ковкі чавуни. Технологічна здатність високоміцних і ковких чавунів вираховується здебільшого їхнім металевим корпусом. Перлітні чавуни отримують більшу міцність при зменшеній пластичності, феритні – нижчу міцність, але вищу пластичність.

За експлуатаційними характеристиками і особливостями застосування леговані чавуни класифікують:

- підвищеної міцності (марки: ЧНДХМШ, ЧНЗХМДШ)
- корозійностійкими (ЧНХТ, ЧХ22С, ЧХ28),
- жароміцними (ЧН11Г7Ш, ЧН19Х3Ш, ЧН20Д2Ш),
- жаротривкими (ЧЮХШ, ЧЮ7Х2, ЧЮ30),
- зносостійкими (ЧН2Х, ЧНЗХМДШ, ЧН4Х2);
- маломагнітними (ЧН11Г7Ш, ЧН15Д7, ЧН20Д2Ш).

2. Евтектика – різновид кристалізації сплаву, що складається з відповідних елементів у консистенції, що задовольняє максимально низьку температуру їх спільної кристалізації. Дана температура (евтектична точка) завжди є меншою, від температури кристалізації кожного елемента порізно.

Ізотермічна, оборотна реакція між двома (або більше) твердими тілами, що здійснюється при нагріванні системи і стає результатом утворення одного рідкого тіла.

Ледебуріт – комплексна система залізовуглецевих сплавів (як правило чавунів) — евтектична концентрація аустеніту і цементиту, що

з'являється при температурі менше від 1145 °С (для чистих залізовуглецевих сплавів). При температурі 727 °С аустеніт перетворюється в феритоцементитну суміш. Ледебурит – один з усіх залізовуглецевих сплавів, що кристалізується при незмінній температурі з виникненням механічної суміші.

Ледебуритна суміш утворюється в чистих залізовуглецевих сплавах в діапазоні наявності вуглецю від 2 % до 6,67 %, що характерно чавунам. Процес виникнення ледебуриту в доевтектичних (лівіше від точки евтектики, що характерно 4,3 % вуглецю, на діаграмі «залізо-вуглець»), евтектичних і заевтектичних (правіше від точки евтектики) чавунах має різні значення.

При охолодженні розплаву доевтектичного чавуну спочатку кристалізується аустеніт, через що склад рідкого тіла зсуваються у сторону збільшення консистенції вуглецю (у зв'язку з нижчою розчинністю вуглецю в аустеніті). При отриманні точки евтектики (4,3 % вуглецю, 1147 °С) починається кристалізація евтектики — ледебуриту. При охолодженні чавуну в процесі у діапазоні температур від 1147 °С до 727 °С в аустеніті знижується концентрація вуглецю і виробляється вторинний цементит.

Вторинний цементит, що виділяється по границях зерен аустеніту, змішується з цементитом ледебуриту, тому він майже не помітний під мікроскопом. При незначному переохолодженні температурою менше за 727 °С аустеніт за евтектоїдною реакцією перетворюється в перліт. Підсумовуючи, в доевтектичних білих чавунах, при кімнатній температурі, ледебурит, як компонент будови матеріалу, знаходиться біля з перліту і вторинного цементиту.

У заевтектичних білих чавунах з рідини кристалізується первинний цементит у формі прямих стержнем, далі утворюється ледебурит. При кімнатній температурі до заевтектичного білого чавун входять два складових компоненти: первинний цементит і ледебурит.

3.2. Проведення дослідів на готових деталях з сірого та білого чавуна

Виробництво циліндричних болванок першочергово відбувається із нарізання макету, шліфування й полірування. Площина макета, де повинен знаходитися заготовка, першочергово вирівнюють завдяки обробці на абразивному кругові з його охолодженням через певні проміжки часу.

Для очищення від нерівностей на поверхні макета, що отримують при обробці на абразивному кругові зернистістю 45-70 мкм, відбувається шліфування на спеціальному папері. Для шліфування макетів використовуються водозахисні шліфувальні папери відповідної зернистості, приліплені до диска шліфувального верстата, що обертається. Перш за все поверхня макету обробляється на шліфувальному папері грубої зернистості № 180 і № 240. Наступним кроком є тонке шліфування на дрібнозернистому шліфувальному папері № 600.

За кожної зміни шліфувального паперу з нижчою зернистістю макет потрібно повертати на 90 градусів. Після тонкого шліфування відбувається полірування макетів на шліфувальному папері з алмазною пастою № 5/3 і на войлоці з пастою Гойї. Завершальне полірування макетів здійснювалося на фетрі з водною суспензією оксиду хрому.

Далі полірований макет необхідно промити дистильованою водою і акуратно висушити фільтрувальним папером. Визначення металевого каркасу відбувається на «травлених» макетах, з застосуванням оптичного мікроскопа з масштабом в 100 крат. Перед травленням корпус заготовки знежирюють спиртом. При хімічному травленні застосовують 4% спиртовий розчин HNO_3 . Травлення відбувається 5-15 с.

Для того, щоб отримати збільшену електронну схему будови, варто застосовувати додаткові сторонні засоби, наприклад смонтувати до мікроскопа мінікамеряка дасть можливість отримати якісний цифровий знімок зі швидким транспортуванням до комп'ютера з можливістю подальшого його оброблення.

Тому, при детальних дослідженнях ливарних сплавів для отримання твердої поверхні ефективними способами є:

– заливання ливарних форм за допомогою завершального розплаву, котрий розбивається на два потоки, перший з яких заливається остаточно до порожнини ливарної форми та заповнює її, а другий потік до заповнення форми проходить стадію заводського оброблення сфероїдизувальними компонентами;

– Наступний спосіб є аналогічний попередньому, але з додаванням графітизувальним компонентів.

За температурою розплаву до заливання форми слідкували за допомогою вольфрам-ренієвої термопари.

Попередні експерименти із використанням математичного моделювання продемонстрували, що при заливанні двох несуміжних розплавів до однієї порожнини ливарної форми, здійснюється їх змішування, внаслідок чого формується однорідна будова повноцінної майбутньої заготовки. За умови, що дане злиття розплавів двох потоків здійснюється з неоднаковою силою незалежно від першочергової швидкості потрапляння до порожнини.

З метою контролю цілісності сполучень чавуну із металевими перегородками, здійснюється алгоритм адаптації для закріплення декількох перегородок. При участі даного алгоритму можна одразу проводити занурення до розплавленого металу декількох металевих перегородок.

При проведенні технологічних дослідів із зануренням перегородок у чавунний розплав виявилось слабе сполучення чавунного розплаву із нержавіючою та вуглецевою сталі.

Данні пошкодження утворюються у зв'язку з виділенням на поверхні перегородки окисних плівок та газів при заливанні. Тому для перегородок обов'язковим є наявність додаткового захисного покриття. Перегородки із оцинкованої сталі та мідні, при дотиканні до розплаву захищені захисним перехідним шаром. Оцинкована сталь, захищена цинковою оболочкою, з температурою кипіння 907 °С, що при доторканні до чавунного розплаву з температурою заливання 1400 °С, випаровується, у даній реакції не здійснюється поява на перегородці поверхневих окисних плівок, що зміцнює

зварюваність чавуну та сталюї перегородки, в даному випадку будова перегородки перетворюється з феритної на перліто-цементитну.

Порівнюючи з оцинкованою сталлю, мідна перегородка без захисної оболочки, першочергово витерта від пилу перед заливанням, продемонструвала без пошкоджене сполучення з чавуном. Будова мідної перегородки перед заливанням та після формування диференційованого виливка, залишається майже незмінною. Перетворення здійснилися лише на малому перехідному шарі, подрібнене зерно зі сторони мідної перегородки, та неметалеві мікроелементи зі сторони чавуну. Між ними знаходиться пружний перехідний шар, котрий надає здатність отримання двошарових виливків з диференційованою здатністю. Проте застосування сталевої перегородки без захисного шару, не надає якісного перехідного шару між сталлю та чавуном. При високих температурах, на ззовні незахищеної сталевої перегородки з'являються окисні плівки, які перешкоджають підплавленню перегородки, як наслідок, відбувається неякісне зварювання поверхні чавуном. Мідна перегородка з випробовувальних зразків показала, що з'єднання чавуну та міді є непоганим конструктивним рішенням, при відповідних технологічних можливостях застосування перегородки необхідної товщини. Експериментальні зразки показують, що при взаємодії міді з розплавленим чавуном, мідна пластина формує якісне з'єднання з чавунним розплавом, та утворюється підплавлення мідної пластини шляхом різниць температур плавлення у міді складає 1083°C , а заливання чавуну здійснюється при температурі $\approx 1400^{\circ}\text{C}$. Через меншу температуру плавлення мідної пластини утворюється систематичне підплавлення поверхні перегородки. Металографічний дослід що демонструє перехідний шар, що сформований з неметалевих елементів та подрібнених металевих частинок. Будова мідної пластини з застосуванням її як перегородки в дослідних випробуваннях залишається без змін. Це відбувається на мікрошліфах при порівнянні будови готового зразка, та будову зразка для досліджень. При фактичних характеристиках дослідження прораховано нюанси для сталевих та мідних перегородок, що при підвищених температурах

розплаву в сталевих перегородках зплавляється товщина стінки, тому готовий зразок втрачає якість. Тому для якісного і надійного вдосконалення чавунних виробів оптимальним та окупим варіантом є використання мідних перегородок.



ВИСНОВКИ

Отже, впровадження сучасних технологій у виробничий процес є затребуваним. Особливо із впровадженням інновацій із використанням робототехніки. Тому що даний напрямок знижує трудомісткість, відповідно і собівартість деталей. Завдяки чому зростає обсяг, відповідно і прибуток підприємства, у зв'язку зі зменшенням виробничих потребностей.

Особливу увагу необхідно робити безпечності та продуктивності наявного обладнання на виробництві. Та прорахувати здатність його безперебійно виготовляти деталі та відсоток рентабельності від виготовлення продукції. Та прийти до висновку, якому обладнанню потрібно зробити поточний капітальний ремонт, а яке при повній амортизації або моральному зносі вивести з експлуатації та коректно розрахувати бюджет на закупівлю нового обладнання. Не менш важливим питанням є розрахунок оптимальної кількості робочих місць та каналів збуту продукції, а також термін окупності одиниці обладнання для того, щоб підприємство не зазнало збитків.

І головним аспектом виробничої діяльності є дотримання виробничого процесу, згідно технологічних стандартів та відповідно вдосконалення технологій, якщо вони стають застарілими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голубенко О.Л., Касьянов М.А., Гунченко О.М., Кожин В.М., Медяник В.О., Сало В.І., Гапонов В.В. / Підручник – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2010. – 456 с.
2. Наукове видання «Вісник аграрної науки Причорномор'я Випуск 4(74), том 1 – 20»
3. <https://www.autoezda.com/ystroustvo/907-nazna4enie-gilz-cilindrov.html> (про призначення гільзи циліндра двигуна);
4. <https://agrodoctor.ua/ru/dvigatel/122799-gilza-zagotovka-cilindra-dvigatelya-31358323-perkins-bepco-.html> (про будову гільзи циліндра двигуна);
5. «Охорона праці в галузі. Автомобільний транспорт. Підручник» О. Войналович, Є. Марчишина, Д. Кофто, вид-во Центр навчальної літератури, 2018 – 695 с.
6. «Охорона праці в галузі машинобудування» І. Пистун, Р. Стець, І. Трунова, вид-во Університетська книга, 2011 – 557 с.
7. «Локальне охолодження теплонапружених деталей ДВЗ" О.Тринев, вид-во Кондор, 2018 – 107 с.
8. «Монтаж металургійного обладнання», А. Жук, Г. Малышев, Н. Желябіна, К. Таратута, вид-во Кондор, 2018 – 382 с.
9. «Теорія механізмів і машин», Я. Киницький, вид-во «Наукова думка», 2002 – 659 с.
10. «Взаємозамінність, стандартизація, технічні вимірювання та сертифікація транспортних засобів», В. Малишев, В.Косенко, С. Кадомський вид-во Університет "Україна", 2017 – 292 с.
11. «Основи матеріалознавства» Високос С. М., Глушко Ю. Ю., Пеховка М. В., Сашко В. О., Терещенко Т. М, Ресурсний центр «ГУРТ», Навчальний посібник, 2019 рік – 104 с.
12. ЧАВУНИ. Навч. посібник / Кафедра технічних систем і технологій тваринництва ім. Б. П. Шабельника, Харків. - 2020. – 155 с.

13. «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО», Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548.

14. Дан Л. О. Ливарне виробництво : навчальний посібник для студентів металургійних спеціальностей / Л. О. Дан, Л. О. Трофімова ; М-во освіти і науки України, ПДТУ. Каф. технології і комп'ютеризації ливарного виробництва. - Маріуполь : ПДТУ, 2013. - 207 с.

15. Міністерство освіти України Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Навчально-методичний посібник з курсу "Матеріалознавство і обробка металів", Тернопіль 2016.

16. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник - Львів: "Новий Світ-2000", 2012.-358 с.

17. В.М. Клименко, О.П Шиліна, А.Ю.Осадчук К 49 Технологія конструкційних матеріалів. / Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 97 с.

18. Маталін А. А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технологии машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1985. – 496 с.

19. Наукові основи складання машин: Навчально-методичний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2004. – 131 с.

20. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових та дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 частинах. – ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації/укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 59 с.

21. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю. М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування, НТУУ «КПІ», 2017. – 286 с.

22. «Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування: підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

23. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні. Підручник / Грабченко А.І., Везуб М.В., Внуков Ю.М. та ін. — Житомир: ЖДТУ, 2003. — 455 с.

24. Дерібо, О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.

25. https://dl.khadi.kharkov.ua/pluginfile.php/156851/mod_resource/content/1/Lab_2.pdf

26. https://uk.wikipedia.org/wiki/сірий_чавун

27. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ледебурит>

28. <https://uk.wikipedia.org/wiki/евектика>

29. https://uk.wikipedia.org/wiki/Легований_чавун

30. ОСНОВИ СЛЮСАРНОЇ СПРАВИ: навчальний посібник / Боброва Т. Б., Високос С. М., Глушко Ю. Ю., Сашко В. О., Терещенко Т. М., Ресурсний центр «ГУРТ», 2019 – 51 с.

31. «Технологічні основи машинобудування» до виконання лабораторних робіт і самостійної роботи: навчальний посібник для студентів інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського Уклад. : С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, А.А. Субін та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 112 с.

32. Кашук В. А., Верещагин А. Б. Справочник шлифовщика.—М.: Машиностроение, 1988.— 480 с

33. Лоскутов В. В. Шлифование металлов. 4-е изд. переработанное. Москва — Свердловск, Машгиз, 1962. 280 стр.

34. Эфрос М. Г., Миронюк В. С. Современные абразивные инструменты/Под ред. З. И. Кремня. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.— 158 с
35. Технологія токарної обробки: Підручник/Г.М.Стискін, М.П.Ревнівцев, В.А.Мелещик.-К.:Либідь,1998 -176с.
36. <https://uahistory.co/pidruchniki/dyatlenko-labor-training-for-boys-7-class-2015/24.php>
37. <https://narodna-osvita.com.ua/6141-priyomi-sverdlnnya-otvorv-u-sortovomu-prokat-ta-listovomu-metal.html>
38. <https://uk.google-info.org/418590/1/roztochuvannya.html>
39. <https://lider.zp.ua/product/rastochnye-raboty-ua/>
40. <https://metinvest-smc.com/ua/articles/chto-takoe-chugun-kharakteristiki-metalla-osobnosti-proizvodstva-i-primeneniya/>
41. <http://ua.worldironsteel.com/news/the-difference-between-gray-cast-iron-and-whit-30664985.html>
42. <https://bud-base.com/article-chavun-ta-virobi-z-nogo>
43. Гарбер М. Е. Износостойкие белые чугуны. Свойства, структура технология эксплуатации / М. Е. Гарбер. – М.: Маш-ние, 2010. – 280 с.
44. Повышение износостойкости хромомарганцевых чугунов/ Могилатенко В. Г., Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е. // Металлообработка. Оборудование и инструмент. – 2008.
45. Коба, Д.Р. Застосування евристичних прийомів при проектуванні верстатних пристроїв [Текст] / Д.Р. Коба, П.В. Кушніров // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 20–23квітня 2021р.) / редкол.: О.Г. Гусак, І.В. Павленко. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – С. 39.