

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кафедра прикладного матеріалознавства
та технології конструкційних матеріалів**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

за напрямом підготовки 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи:

Розробка технологічного процесу виготовлення та зміцнення колінчастого
валу БПЛА

Виконав:

студент Самсонов Данило Андрійович

Керівник:

к.т.н., доц. Дегула Андрій Іванович

Залікова книжка

№ 20510131

Підпис _____

Підпис

дата, підпис

Захищений з оцінкою

Оцінка, дата

Секретар ЕК

_____ Марченко К.С.

Підпис

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів

Спеціальність 6.050403 «Інженерне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант Освітньої програми

“Прикладне матеріалознавство”

_____ Н.А. Харченко

«__» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Самсонову Данилу Андрійовичу Група МТ – 91/0
(прізвище, ім'я, по батькові)

– Тема випускної роботи: “Розробка технологічного процесу виготовлення та зміцнення колінчастого валу БПЛА”.

– Вихідні дані: Креслення колінчастого валу БПЛА.

– Перелік обов'язкового графічного матеріалу.

– Креслення деталі.

– Графік термічної обробки деталі.

– План розробленого термічного відділення.

– Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1. Аналіз умов експлуатації виробів, вимоги до матеріалів.	X			
2	Розділ 2. Огляд літератури.	X			
3	Розділ 3. Характеристика матеріалів деталі.		X		
4	Розділ 4. Розроблення маршрутної технології виготовлення деталі.			X	
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина.				X

5. Дата видачі завдання «__» _____ 2023 р. _____

Керівник _____
(підпис)

_____ к.т.н., доц. Дегула А.І.
(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 64 сторінки, зокрема 13 таблиць, 19 рисунків, список із 23 використаних джерел на 3 сторінках.

Мета роботи – вибір оптимальної марки сталі й розроблення перспективної маршрутної технології виготовлення колінчастого валу безпілотного літального апарату (БПЛА).

Методи досліджень: металографічні дослідження структури сталей, вимірювання твердості.

Колінчастий вал - один з найбільш відповідальних і дорогих конструктивних елементів двигуна внутрішнього згоряння. Він перетворює зворотно-поступальний рух поршнів в крутний момент. Колінчастий вал приймає періодичні змінні навантаження від сил тиску газів, а також сил інерції рухомих і обертових мас. Виготовляють колінчаті вали найчастіше з вуглецевих і легированих сталей або високоміцного чавуну.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено вплив процесів термообробки сталі 40ХФА на структуру й властивості сталі. Розроблено технологію термічної обробки колінчастого валу.

Ключові слова: ВАЛ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, НОРМАЛІЗАЦІЯ, ГАРТУВАННЯ З НАГРІВАННЯМ СВЧ, СТРУКТУРА.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ	5
1.1 Аналіз умов роботи деталі «колінчастий вал БПЛА».....	5
1.2 Причини виходу з ладу деталі «колінчастий вал БПЛА».....	8
Висновки до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	13
2.1 Матеріали для виготовлення колінчастих валів БПЛА.....	13
2.2 Способи зміцнення колінчастих валів БПЛА	15
Висновки до розділу 2.....	21
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ	22
3.1 Вибір матеріалу деталі «колінчастий вал БПЛА».....	22
3.2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу.....	23
Висновки до розділу 3.....	28
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	29
4.1 Маршрутна технологія виготовлення і термічної обробки деталі.....	29
4.2 Призначення режиму термічної обробки деталі.....	37
4.3 Контроль якості колінчастих валів.....	39
4.4 Технологія гальванічного хромування деталей.....	40
Висновки до розділу 4.....	45
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ...	47
5.1 Вибір основного і допоміжного обладнання для деталі.....	47
5.2 Розрахунок обладнання термічної дільниці.....	53
5.3 Розробка планування термічної дільниці.....	56
Висновки до розділу 5.....	61
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	64

ВСТУП

Колінчастий вал – один з найбільш відповідальних і дорогих конструктивних елементів двигуна внутрішнього згорання. Застосовуються колінчасті вали в поршневих двигунах, компресорах, насосах і т.д. Він перетворює зворотно-поступальний рух поршнів в крутний момент. Колінчастий вал приймає періодичні змінні навантаження від сил тиску газів, а також сил інерції рухомих і обертових мас. Кількість колінчастих валів в поршневих машинах в основному дорівнює числу циліндрів.

Виготовляють колінчасті вали найчастіше з вуглецевих і легованих сталей або високоміцного чавуну. Колінчастий вал двигуна, як правило, цілісний конструктивний елемент, тому правильно його називати деталлю. Вал виготовляється зі сталі з допомогою кування або чавуну шляхом лиття. На дизельних і турбірованих двигунах встановлюються більш міцні сталеві колінчасті вали.

Мета і завдання дослідження: вибір оптимальної марки сталі й розробка перспективної маршрутної технології виготовлення колінчастого валу безпілотного літального апарату.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Провести патентно-літературний пошук марки сталі для виготовлення колінчастого валу з необхідними фізико-механічними властивостями.
2. Розробити технологію зміцнення обраної марки сталі.
3. Дослідити структуру і твердість робочих поверхонь деталі на різних стадіях обробки.
4. Провести вибір обладнання і розробити план термічної дільниці.

Методи досліджень: металографічні дослідження структури покриття і основи сталей, вимірювання твердості.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ

ЕКСПУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛІВ

1. 1 Аналіз умов роботи деталі “колінчастий вал БПЛА”

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) — повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються відповідною програмою або за допомогою спеціальної станції керування, що знаходиться поза повітряним судном [1].

Нині одним із найперспективніших напрямів розвитку військової авіації визнано створення безпілотних авіаційних комплексів різного призначення з БПЛА багаторазового та одноразового застосування. Активне застосування таких комплексів під час бойових дій у війні з росією показало їхню високу ефективність.

В якості силових установок в сучасних БПЛА застосовують двигуни внутрішнього згоряння і електродвигуни. Кожен із типів двигунів мають свої переваги та недоліки.

Двигуни внутрішнього згоряння хоч і давно використовуються в «малій» авіації мають ряд недоліків (підвищений шум, велика кількість деталей, що труться, необхідність у мастилі і т. д.), враховуючи високу ціну акумуляторів необхідних для електричних БПЛА залишаються актуальними.

В основному на БПЛА встановлюють загартовані мотори відомих марок фірма OS-Max (Японія); мотори марок ASP, Magnum, SC (Китай); фірма Super Tigre (Італія); двигуни Thunder Tiger (Тайвань); фірма Webra (Австралія). Компанії виготовляють дуже великий асортимент двотактних та чотиритактних двигунів з широким діапазоном кубатури – починаючи 1,5 куб.см і закінчуючи 50 куб.см.



Рисунок 1.1 – Двигун OS MAX 35 AX .

Технічний опис двигуна OS MAX 35AX

Двотактний одноциліндровий авіамоделльний двигун OS MAX 35AX з новим карбюратором 21K з діагональним розташуванням голки і новим глушником E-3080, що повністю позиціонується. Двигун прийшов на заміну перевіреним часом OS MAX 25FX і 32SX, і має ті ж посадкові розміри, і практично ту ж вагу (важче на 10г. ніж 32SX) при більшій потужності, що дозволяє встановити двигун для досягнення кращих польотних характеристик, не змінюючи мотораму і кріплення двигуна на фюзеляжі. Рекомендовані виробником повітряні гвинти 10×6, 10×7, 11×6, 12×6.

Технічна характеристика:

Робочий об'єм 5.77 см.

Діаметр циліндра: 20.2 мм.

Хід поршня: 18.0 мм.

Потужність: 0.9 к.с. при 11,000 об/хв. - 1.33 л.с. при 16,000 об/хв.

Робочий діапазон: 2,500 - 19,000 (максимум) об/хв.

Вага (з глушником): 363г. (280г без).

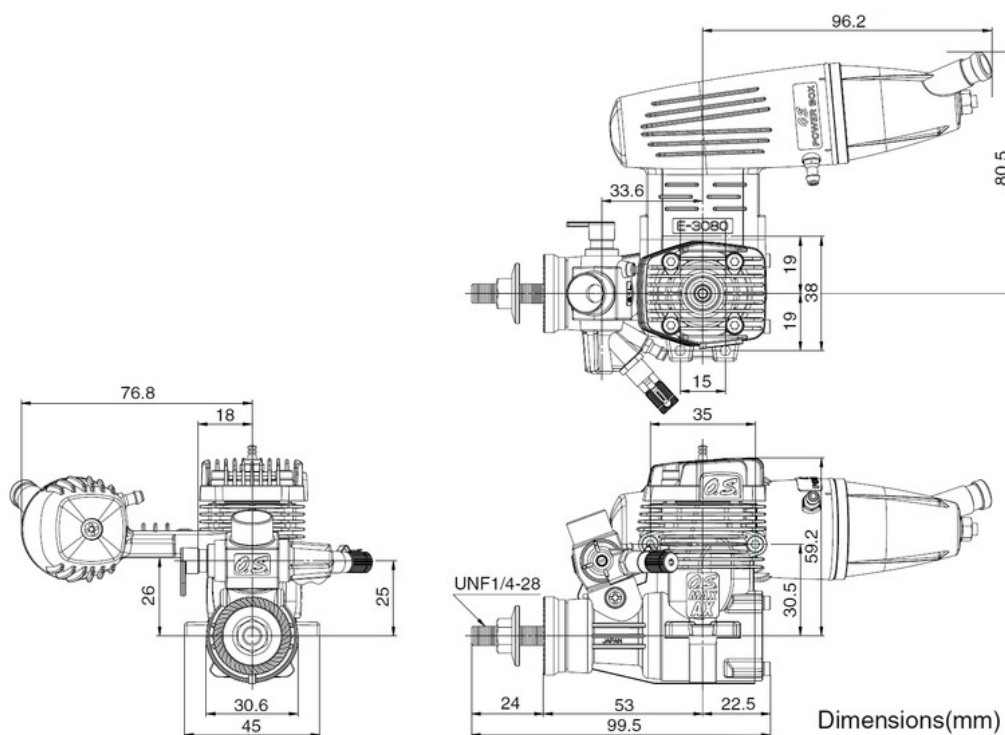


Рисунок 1.2 – Складальне креслення двигуна OS MAX 35 AX.



Рисунок 1.3 – Колінчастий вал двигуна OS MAX 35 AX.

Колінчастий вал (рис. 1.3) є однією з найважливіших деталей двигуна, за його допомогою поступальний рух поршня перетворюється на обертальний рух валу пропелера. Часто за допомогою колінчастого валу здійснюється розподіл всмоктування. У цьому випадку вал робиться порожнистим з радіальним отвором у корінній шийці.

Під час роботи на колінчастий вал діють великі крутні, згинальні та ударні навантаження. Залежно від положення валу (при обертанні) ці

навантаження змінюють свою величину та напрямок. Це істотно позначається на конструктивних формах та виборі матеріалу колінчастих валів.

Вибір матеріалу диктується умовами динамічної міцності та умовами роботи підшипників корінної та мотилевої шийок. Щоб задовольнити першу умову, необхідний дуже міцний і в'язкий матеріал; такими є хромонікелеві сталі.

Друга умова вимагає великої поверхневої твердості шийок, що досягається поверхневою термообробкою, наприклад, цементуванням. Кращим матеріалом для колінчастих валів є цементовані хромонікелієві сталі марок 18ХНВА та 12ХНЗА.

Найбільш міцні вали виходять, якщо їх заготівку кувати. У цьому випадку волокна розташовуються за напрямом вигину деталі. Подальша обробка валу робиться точенням та слюсарно-механічною доробкою.

Для надання більшої міцності та стійкості вали термооброблюють.

Поверхня валу у випадках, коли він обертається в підшипниках ковзання, повинна бути гладкою, полірованою і добре змащуватися горючою сумішшю, що надходить в картер. Для доступу мастила передбачаються спеціальні мастильні канавки у втулках підшипника або картера.

Повітряний гвинт одягається на вал і кріпиться за допомогою шайб та гайки.

1.2 Причини виходу з ладу деталі “колінчастий вал БПЛА”

Однією з причин виходу з ладу валів є знос опорних шийок через пошкодження вкладишів або деформація – викривлення валу через перегрів. В результаті цього збільшуються зазори в підшипниках, в той час як умови змащення погіршуються, природний знос шийок спостерігається при великих навантаженнях на двигун [2].

Одним з основних навантажень, що приводить до поломки деталі є крутильні коливання. Крутильні коливання призводять до постійного

закручування з подальшим розкручуванням вала, що відбувається при роботі двигуна з певною частотою. При збігу частоти крутильних коливань з частотою зовнішніх сил може наступити резонанс, який призведе до різкого збільшення навантажень, що діють на колінчастий вал, і, як наслідок, до його поломки.

Всі ці навантаження і сили, що діють, на колінчастий вал призводять до прояву дефектів і виникненню зношування. Процес зношування деталей супроводжується складними фізико-хімічними явищами і впливом різних факторів, що впливають на них. Залежно від матеріалу і якості поверхні зв'язаних деталей, характеру контакту, навантаження швидкості щодо переміщення процес зношування протікає по-різному. Провідним процесом руйнування є механічне зношування, до якого входить абразивний і втомний знос [3]. Супутніми видами зносу є молекулярно-механічний і корозійно-механічні зноси з усіма своїми різновидами, які в залежності від умов роботи впливають на знос і при певних умовах можуть стати провідними процесами зносу.

Встановлено три групи зношування в машинах: механічне, молекулярно-механічне і корозійно-механічне. Розглянемо механічне зношування і його підвиди, тому, що аналізована нами деталь найбільше піддається факторам, властивим для механічного зносу. З наведених видів зношування для колінчастих валів БПЛА характерно абразивне зношування захоплювання, корозійно-механічне і втомний знос [4].

Наприклад, абразивне зношування є підвидом механічного зносу. Абразивне зношування виходить в результаті ріжучої або дряпаючої дії твердих тіл і частинок. При цьому перебіг зношування не залежить від проникнення абразивних частинок на поверхні тертя. Зміна розмірів деталей при абразивному зношуванні залежить від ряду факторів: матеріалу і механічних властивостей деталей, ріжучих властивостей абразивних частинок, питомого тиску і швидкості ковзання при терті [5].

За своєю природою і механізмом протікання абразивного зношування близько підходить до явищ, які мають місце при різанні металів, відрізняючись специфічними особливостями геометрії абразивних частинок і малим перетином стружки. Абразивне зношування широко поширене при терті деталей машин, особливо працюючих в абразивному середовищі, а також при терті деталей, відновлених різними способами наплавлення, металізація, хромування. На руйнування поверхні колінчастого вала дуже сильно впливає втомлююче зношування, яке виникає при терті, коченні і чітко проявляється на робочих площинах.

Руйнування поверхневих шарів відбувається внаслідок утворення мікроскопічних тріщин, які під час роботи розвиваються в одиночні і групові тріщини і западини. Глибина тріщин і западин залежить від механічних властивостей металу деталей, величини питомих тисків при контакті і розміру контактних поверхонь. Абразивному зношуванню на колінчастих валах, перш за все, піддаються шатунні і корінні шийки і вкладиші підшипників ковзання. Також на знос поверхні колінчастого вала дуже сильно впливає втомний знос.

Втомний знос – особливий тип руйнування поверхні викликаний повторно діючими циклами напруги, амплітудне значення якого не перевищує межі пружності матеріалу. При втомному зношуванні деталей, між якими відбувається тертя виникає мікропластичні деформації стиснення і зміцнення поверхневих шарів металу. В результаті зміцнення виникають залишкові напруги стиснення. Повторно-змінні навантаження перевищують межу текучості металу при терті кочення, викликають явища втоми, які руйнують поверхневі шари [6].

Руйнування поверхневих шарів відбувається внаслідок утворення мікро- і макроскопічних тріщин, які в міру роботи розвиваються в одиночні і групові поглиблення і западини. Глибина тріщин і западин залежить від механічних властивостей металу деталей, величини питомих тисків при контакті і розміру контактних поверхонь. Розглянемо молекулярно-механічне

і корозійно-механічне зношування які грають не останню роль при зносі валу БПЛА.

Молекулярно-механічне зношування відбувається в результаті одночасного механічного впливу і молекулярних або атомарних сил. До цього види зношування відносяться зношування при заїданні в результаті схоплювання глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і впливу нерівностей, що утворилися на сполучену поверхню.

Корозійно-механічне зношування відбувається при терті матеріалу, який вступив в хімічну взаємодію з середовищем. Корозійно-механічним видам зношування відносяться окисне зношування і зношування при фреттинг-корозії [7].

При експлуатації колінчастого вала дуже часто відбувається виникнення зносу схоплюванням. Знос схоплювання першого роду виникає при відсутності змащення і захисної плівки окислів при терті з малими швидкостями і питомими тисками, що перевищують межу текучості металу в місцях дійсного контакту. Схоплювання відбувається в результаті великої пластичної деформації поверхневих шарів металу і утворення металевих зв'язків між контактними ділянками поверхонь.

Схоплювання другого роду виникає при терті ковзання з великими швидкостями відносного переміщення і значними питомими тисками, при інтенсивному підвищенні температури в поверхневих шарах металів, між якими відбувається тертя. При схоплюванні відбуваються не допустимі пошкодження поверхонь тертя в результаті виникнення металевих зв'язків їх деформації і руйнування з відділенням частинок налипання і намазування поверхні контактів.

Висновки до розділу 1

У розділі розглянуто конструкція сучасного двигуна OS MAX 35 AX. Даний двигун є потужним одноциліндровим агрегатом. Одним з основних елементів двигуна - є колінчастий вал.

Колінчастий вал БПЛА - деталь, яка піддається різним навантаженням в ході експлуатації. Одним з основних навантажень, що приводить до поломки деталі є крутильні коливання. Крутильні коливання призводять до постійного закручування з подальшим розкручуванням вала, що відбувається при роботі двигуна з певною частотою. При збігу частоти крутильних коливань з частотою зовнішніх сил може наступити резонанс, який призведе до різкого збільшення навантажень, що діють на колінчастий вал, і, як наслідок, до його поломки. У сучасних двигунах для запобігання виникнення резонанса застосовують різні конструктивні елементи в конструкції колінчастого вала і для виготовлення використовують високоміцні сталі і чавуни.

Також однією з причин поломки колінчастого валу БПЛА може бути знос робочих поверхонь деталі в результаті тертя. Зносу на поверхні колінчастого вала піддаються корінні і шатунні шийки і поверхні кріплення моховика і зірочки. Для зменшення впливу зносу в колінчастому валу передбачена подача мастила в зону тертя через спеціальні отвори.

Колінчастий вал двигуна БПЛА повинен бути виготовлений з матеріалу який забезпечить високу твердість і зносостійкість робочих поверхонь, підвищену контактну витривалість, а такоже в'язку, м'яку серцевину для того, щоб сприймати (гасити) знакоперемінні напруги, які діють на деталь.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Матеріали для виготовлення колінчастих валів БПЛА

Колінчасті вали БПЛА виготовляють із сталей 45, 45А, 45Г2 і 50Г. Для дизелів, що працюють в умовах високого наддуву, можуть застосовуватися леговані сталі 18Х2Н4МА, і 18Х2Н4ВА, з підвищеними межами плинності і міцності. Зарубіжні фірми використовують для виготовлення колінчастих валів такі сталі, як 40Х, 38ХМ, 40Х2НМ. Колінчасті вали шести і восьми циліндрових чотирикратних двигунів виготовляються з марганцевої сталі 50Г, а дванадцяти циліндрових з хромованадієвої сталі 40ХФА [8].

Набули великого поширення колінчасті вали, відлиті з високоміцного чавуну з кулястим графітом, модифікованого магнієм; перлітного ковкого чавуну; легovanого нікельмолібденового чавуну. Найбільше застосування знайшли колінчасті вали двигунів з магнієвого і перлітного ковких чавунів. Графіт в структурі чавуну покращує антифрикційні якості і знижує знос шийок.

В бензинових двигунах найбільшого поширення набули ковані колінчасті вали з вуглецевої сталі.

Застосування чавуну з кулястим графітом для виготовлення колінчастих валів. Внаслідок складної конфігурації колінчасті вали працюють в умовах великої нерівномірності розподілу напружень, які є змінними в часі і різними за величиною. Руйнування колінчастих валів, що спостерігаються в практиці, носять втомний характер, з'являючись після певної кількості циклів навантаження [9].

Виходячи з цього, до матеріалу, що використовується для виготовлення колінчастих валів, висувають високі вимоги в частині забезпечення загальної статичної міцності, високих втомній і циклічній міцності і хорошої зносостійкості.

Завдяки високим технічним вимогам, що пред'являються до колінчастих валів, їх виготовляли, як правило, кованими з легованої сталі зі складною термічною обробкою. Виготовлення великих сталевих кованих колінчастих валів було пов'язано із застосуванням унікального ковальсько-пресового і верстатного обладнання. З появою чавуну з кулястим графітом виявилось можливим виготовляти колінчасті вали литими з цього чавуну.

Переваги литих колінчастих валів полягають в тому, що їм можна надати найбільш бажану форму, виготовляти їх порожнистими і тим самим отримати більш рівномірний розподіл напружень і максимально наблизити литу заготовку за формою і розмірами до готового валу. При переході з кованих колінчастих валів на литі різко скорочується витрата металу, зменшується трудомісткість механічної обробки і знижується собівартість валів [9,10].

При заміні кованих колінчастих валів на вали отримані литтям з високоміцного чавуну різко скорочується тривалість циклу термічної обробки, а в деяких випадках вдається повністю виключити термічну обробку. Також скорочується тривалість загального циклу виготовлення колінчастого вала.

Чавун з кулястим графітом як матеріал для виготовлення колінчастих валів вдало поєднує в собі високу міцність при розтягненні, стисненні, вигині і крученні, високу циклічну міцність, приблизно в 2 рази перевищує циклічну міцність сталі; високу міцність від втоми і зносостійкість завдяки наявності в його структурі включень графіту [10].

Втомна міцність порожніх колінчастих валів в порівнянні з суцільними значно вище (майже вдвічі). Крім того, втомна міцність може бути значно підвищена шляхом зміцнюючої обробки колінчастих валів, термічної обробки виливків і легування чавуну.

2.2 Способи зміцнення колінчастих валів БПЛА

Для підвищення експлуатаційних характеристик поверхні валів зміцнюються методами дифузійного хромування або напиленням іншими легуючими елементами.

Хромування. Нанесення хрому або його сплаву на металевий виріб для надання поверхні комплексу фізико-хімічних властивостей: високого опору корозії, зносостійкості, жаростійкості, високих механічних і електромагнітних властивостей. Залежно від характеру взаємодії поверхні виробу з хромом процес хромування здійснюється різними способами, серед яких найбільш поширений електролітичний і дифузійний (металізація) (табл. 2.1.).

Таблиця 2.1

Переваги і недоліки способів нанесення покриттів на деталі [16]

Найменування процесу	Товщина шару, мм	Переваги	Недоліки
Наплавлення	Необмежено	Можливість у широких межах змінювати хімічний склад поверхневого шару	Утворення тріщин, жолоблення, пористість, наявність жужільних включень, зниження міцності від втомленості
Гальванопокриття	до 1,5	Підвищення твердості, зносостійкості	Погана припрацьовуваність і змочування маслом, зниження міцності від втоми
Металізація напилюванням	до 5	Можливість у широких межах змінювати хімічний склад поверхневого шару	Пористість до 10%, зниження міцності від втомленості, слабе зчеплення перенесеного і основного металу та ін.
Конденсоване іонне бомбардування	до 0,05	Нанесення зносостійких покриттів; можливість відновлення зношених	Імовірно значна відмінність складу покриттів з багатоконпонентних анодів

		поверхонь деталей	від складу катода (матеріал, що наноситься) через сильну розбіжність коефіцієнтів випару компонентів
Електроерозійне легування	0,002 - 2,0	Підвищення жаро, зносо- і корозійної стійкості виробів; міцне зчеплення перенесеного і основного металу; відсутність повідців; можливість нанесення чистих металів і їхніх сплавів; проведення процесу в локальних місцях	Підвищення шорсткості, зниження міцності від втомленості, виникнення в поверхневому шарі залишкових розтягуючих напруг

Дифузійне хромування

Як відомо [17], в залежності від фізико-хімічних характеристик активної фази (або середовища), яка містить хром, розрізняють чотири методи дифузійного хромування: твердий, з парової фази, газовий і рідкий.

Твердий метод застосовують тоді, коли пружність парів насичуємого металу при температурі процесу менше, ніж у хрома.

Газовий метод хромування заснований на взаємодії газової фази, яка містить хром, пов'язаний в хімічні сполуки, з поверхнею насичуємого металу. В якості активної газової фази виступають різні галогеніди хрому (CrCl_2 , CrF_2 , Cl_2 та ін.).

При рідкому методі хромування активною фазою, що бере участь у передачі хрому до оброблюваної поверхні, є розплав солі, яка містить хром, або розплав хрому. В першому випадку на межі розділу метал - розплав солі відбувається електрохімічна реакція, завдяки якій виявляється можливим

процес насичення, у другому - насичення здійснюється безпосередньо з розплаву рідкого металу (табл.2.2) [15, 16].

Борисенко Г.В., Васильєв Л.А., Волошин Л.Г. та ін. вважають, що з двох способів газового хромування - неконтактного і контактного – другий найбільш простий і зручний для виробництва, а також забезпечує високу якість хромування.

Таблиця 2.2

Характеристика шару з різним вмістом вуглецю після газового хромування неконтактним (при 1200°C, 6 годин) та контактним (при 1100°C, 8 годин) способом [17]

Вміст вуглецю в сталі, %	Неконтактний спосіб				Контактний спосіб	
	фазовий склад шару *	Cr %	C %	H _μ , МПа	фазовий склад шару *	H _μ , МПа
0,25	Cr ₂₃ C ₆	95,5	5,0	16450	Cr ₂ (N, C)	15140
	α + Cr ₂₃ C ₆	7,3	1,0	4000	α + Cr ₂₃ C ₆	4580
	α	-	-	-	α	1920
0,47	Cr ₂₃ C ₆	90,0	5,9	16500	Cr ₂ (N, C)	>15500
	α + Cr ₂₃ C ₆	7,1	1,0	5000	Cr ₂₃ C ₆	17800
	α	-	-	-	Cr ₇ C ₃	17800
0,65	Cr ₂₃ C ₆	77,6	5,0	17500	Cr ₂ (N, C)	17500
	Cr ₇ C ₃	9,2	1,0	5800	Cr ₂₃ C ₆	18000
	α + Cr ₇ C ₃	-	-	-	Cr ₇ C ₃	18000
0,85	Cr ₂₃ C ₆	81,5	5,0	17800	Cr ₂ (N, C)	16000
	Cr ₇ C ₃	-	1,0	20000	Cr ₂₃ C ₆	18000
	α + Cr ₇ C ₃	8,4	-	-	CrC ₃	18000
1,03	Cr ₂₃ C ₆	93,5	5,0	18000	Cr ₂ (N, C)	16000
	Cr ₇ C ₃	-	1,0	-	Cr ₂₃ C ₆	18000
	α + Cr ₇ C ₃	-	-	-	Cr ₇ C ₃	18000

* Фази розташовані в порядку віддалення від поверхні вглиб шару

Хромування вуглецевої сталі

Вплив температури і тривалості газового хромування неконтактним способом в середовищі H₂ + HCl на товщину покриття на залізі і сталях з різним вмістом вуглецю наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Вплив температури і тривалості газового хромування неконтактним способом в середовищі $H_2 + HCl$ на товщину шару на сталях

	Армко-залізо	Сталь 45	Сталь У8
Cr, %	33/26	79/82	82/71
H_{50} , МПа	6250/2700	15600/18300	16700/16700
h, мкм	50-70/60-90	32/40	30/25

Електроерозійне легування сталі хромом

Метод електроерозійного легування (ЕЕЛ) був розроблений Б. Р. Назаренком і Н. І. Назаренком у 1943 році одночасно з методом розмірної електроерозійної обробки [16].

Процес ЕЕЛ починається із зближення електрода-інструменту з деталлю, і при відстані між ними, що дорівнює або менше пробивної починається розвиток імпульсного розряду, що у більшості випадків триває і завершується при контакті електродів. Згідно з [19] модель ЕЕЛ подається в такий спосіб (рис. 2.1).

При зближенні електродів напруженість електричного поля збільшується. При деякій відстані між електродами вона буде достатньою для виникнення електричного розряду. Через виникаючий канал наскрізної провідності пучок електронів ударяється об тверду металеву поверхню анода (рис. 2.1, а). Енергія руху зупинених електронів виділяється в поверхневих шарах анода. У результаті цього від анода відокремлюється крапля розплавленого металу, що рухається до катода, випереджаючи анод (рис. 2.1, б).

У процесі відділення від анода крапля, що летить, встигає нагріватися до високої температури, закипає або «вибухає». Ланцюг струму переривається, стискувальні зусилля електромагнітного поля зникають і тому частинки, що утворилися, летять широким фронтом (рис. 2.1, в).

Розплавлені частинки, досягнувши катода, з'єднуються з ним і частково впроваджуються в його поверхню (рис. 2.1, г). Слідом за частинками рухається електрод, включений у систему, що встигла накопичити енергію.

Механічний удар електрода по розпеченій масі матеріалів проковує отримане покриття (рис. 2.1, д), що значно збільшує його однорідність і щільність [21,22]. Далі анод рухається нагору, а па поверхні катода залишається щільно з'єднаний з ним шар матеріалу анода (рис. 2.1, е).

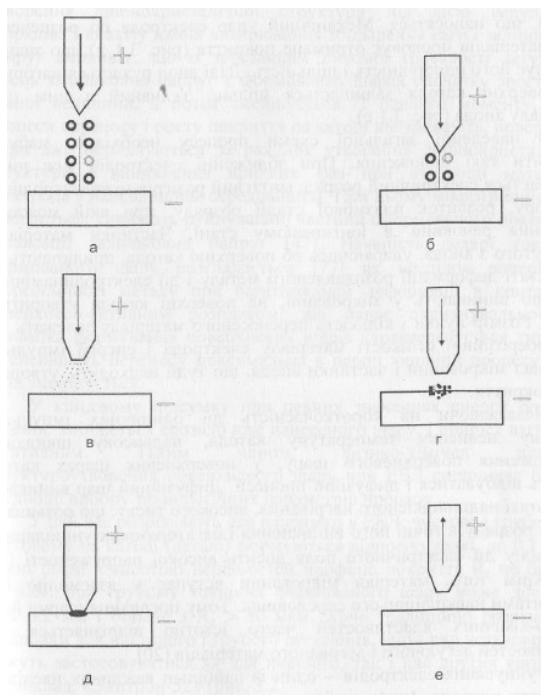


Рисунок 2.1 – Модель процесу ЕЕЛ [21].

У процесі ЕЕЛ на поверхні анода і катода утвориться шар зміненої структури, що при впливі на нього матеріалів травлення, що використовуються для виявлення мікроструктури матеріалів електродів, залишається «білим», тобто структура його не виявляється. Твердість шару, як правило, значно перевищує твердість матеріалів електродів (рис. 2.2). У ньому діють напруги, що перевищують внутрішні напруги в електродних матеріалах анода і катода [16].

У більшості випадків дифузійний шар по глибині перевищує верхній білий, а глибина проникнення елементів анода в катод може становити від декількох до ста мікрометрів [24]. Крім цього, іноді спостерігають третю

зону - зону термічного впливу (ЗТВ). Для загартованих деталей підшар може стати зоною відпуску (зоною зниженої твердості).

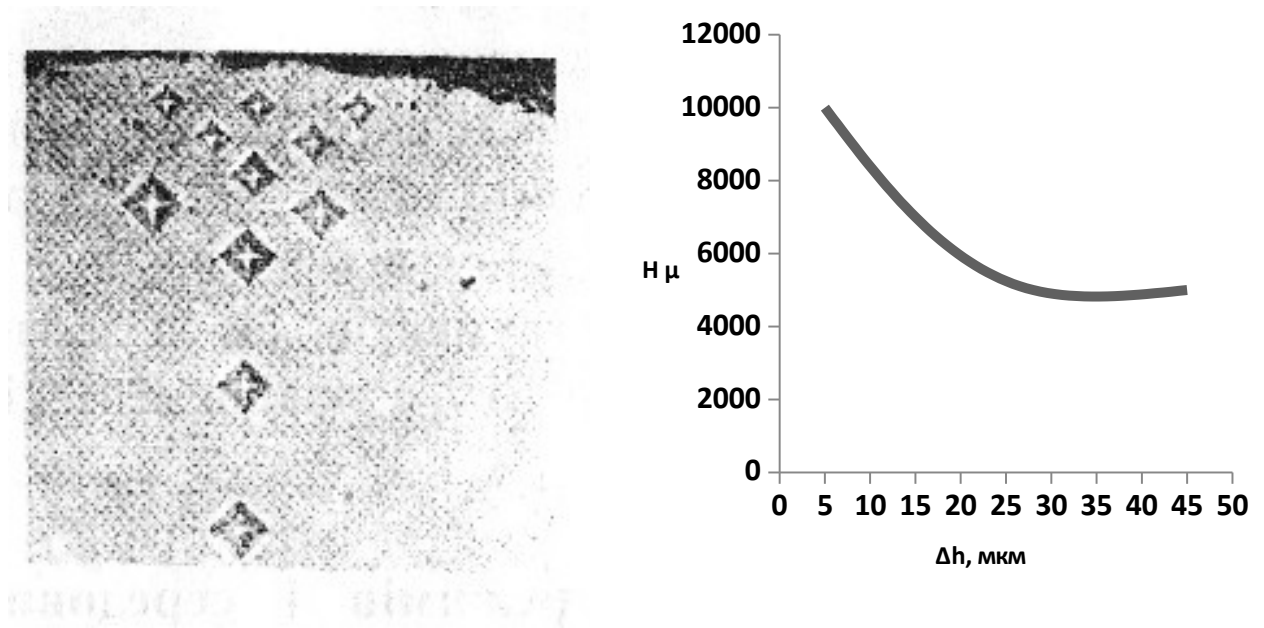


Рисунок 2.2 – Мікроструктура і розподіл мікротвердості по глибині шару при ЕЕЛ сплаву ХН58МБЮД твердим сплавом ВК8, х 400

У табл. 2.4 наведені зведені дані щодо зміни шорсткості поверхні, а також кількості перенесеної речовини для зразків сталі 45 і 12Х18Н10Т залежно від режиму ЕЕЛ хромом протягом 2 хв.

Таблиця 2.4

Шорсткість поверхні (R_a) і збільшення ваги катода (ΔP_K) при ЕЕЛ сталі 45 і 12Х18Н10Т хромом

Матеріал основи	Матеріал електрода	С, мкФ	Режим ЕЕЛ			
			1	3	5	7
Сталь 45	Хром	20	0/1,5	5,0/1,9	12,0/2,4	19,0/2,8
		300	15,0/2,8	19,0/3,4	25,0/4,6	41,0/6,2
12Х18Н10Т		20	0/1,5	7,0/1,7	15,0/2,1	25,0/2,5
		300	17,0/2,5	23,0/3,1	29,0/4,2	45,0/2,5

Примітка. В чисельнику наведений приріст ваги, $\text{г} \cdot 10^4/\text{см}^2$, у знаменнику – шорсткість, мкм.

Порівняльне дослідження структури і властивостей зміцненого шару в середовищі повітря і аргону показує, що істотного впливу нейтрального середовища в порівнянні з окисним не виявлено [17].

Висновки до розділу 2

В даному розділі висвітлені наступні питання:

1. Розглянули матеріали для виготовлення колінчастого валу двигуна БПЛА.

2. Проаналізували існуючі методи нанесення хрому або його сплаву на металевий виріб для додання поверхні комплексу фізико-хімічних властивостей: високого опору корозії, зносостійкості, жаростійкості, високих механічних і електромагнітних властивостей. Залежно від характеру взаємодії поверхні виробу з хромом, процес хромування здійснюється різними способами, серед яких найбільш поширений електролітичний і дифузійний (металізація).

3. Виконано аналіз в області використовуваних матеріалів і технологій зміцнення колінчастих валів.

4. Запропоновано ефективні методи і матеріали для отримання гладкої, чистої і зміцненої поверхні з щільним поверхневим шаром і володіє підвищеною термічною і механічною стійкістю.

5. Досліджено вплив нанесення хромових покриттів гальванічним методом на властивості сталей.

6. Проаналізовано вплив хромових покриттів отриманих дифузійним методом на властивості сталей.

7. Вивчили властивості хромових покриттів отриманих електроіскровим легуванням.

8. Провели порівняльну характеристика методів нанесення хромових покриттів: гальванічний метод, дифузійний метод, електроіскрове легування.

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

3.1 Вибір матеріалу деталі “колінчастий вал БПЛА”

Виходячи з умов завдання і технічних вимог виготовлення колінчастого валу двигуна БПЛА можна використати конструкційну хромованадієву типу сталь 40ХФА.

Сталь конструкційна легована 40ХФА – хімічний склад і технологічні властивості застосування наведені в таблицях 3.1-3.2.

Таблиця 3.1

Характеристика матеріалу 40ХФА

Марка:	40ХФА
Класифікація:	Конструкційна легована
Доповнення:	Хромованадієва
Застосування:	шліцеві вали, штоки, гвинти, траверси, вали екскаваторів, вали та інші деталі підвищеної зносостійкості.
Закордонні аналоги:	3111-5/1, 42CrMO4, 708M40

Таблиця 3.2

Хімічний склад в % матеріал 40ХФА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
0.37 - 0.44	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.03	до 0.035	0.8 - 1.1	0.1 - 0.2	до 0.25

3. 2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу

Відповідно до класифікації, запропонованою Н. Т. Гудцовим, усі домішки (хімічні елементи), що містяться в сталі, можна розділити на чотири групи [10]:

1. Постійні і звичайні домішки. До цієї групи відносяться марганець і кремній, а також і алюміній, який як кремній і марганець, застосовується в якості розкислювача. Ці елементи є присутніми у будь-якій сталі, тому що введення їх в метал потрібне при виробництві сталі : до постійних (звичайним) домішок слід віднести сірку і фосфор, тому що повністю звільниться від них при масовому виробництві сталі неможливо. Зміст цих елементів знаходиться зазвичай в межах: 0,3-0,7% Mn; 0,2-0,4% Si; 0,01-0,02% Al; 0,01-0,05% P; 0,01-0,04% S.

2. Приховані домішки. Це кисень, водень, азот, присутні у будь-якій сталі в дуже малих кількостях. Методи їх хімічного визначення складні, тому зміст цих елементів в звичайних технічних умовах не вказується.

3. Випадкові домішки. До цієї групи відносяться домішки, що потрапляють в сталь з шихтових матеріалів або випадково.

4. Легуючі елементи. Елементи, що спеціально вводяться в сталь в певних концентраціях з метою зміни її будови і властивостей, називаються легуючими елементами.

Отже, сталі, в які для набуття необхідних властивостей спеціально вводять легуючі елементи, називають легованими сталями (леговані сталі іноді називають спеціальними) [15].

Система залізо-хром

Хром має одну модифікацію, яка кристалізується в об'ємно-центрованих гратках, ізоморфною Fe_{α} . Хром знижує обидві точки алотропічного перетворення заліза, але оскільки точка A_1 знижується швидше, ніж A_3 , то врешті-решт обидві точки зливаються, область замикання при 13% Cr (рис. 3.1).

Поблизу співвідношення Cr:Fe 1:1 утворюється нестійка хімічна сполука FeCr, що означає зазвичай як α -фаза. Верхня температура існування цього з'єднання дорівнює 815°C .

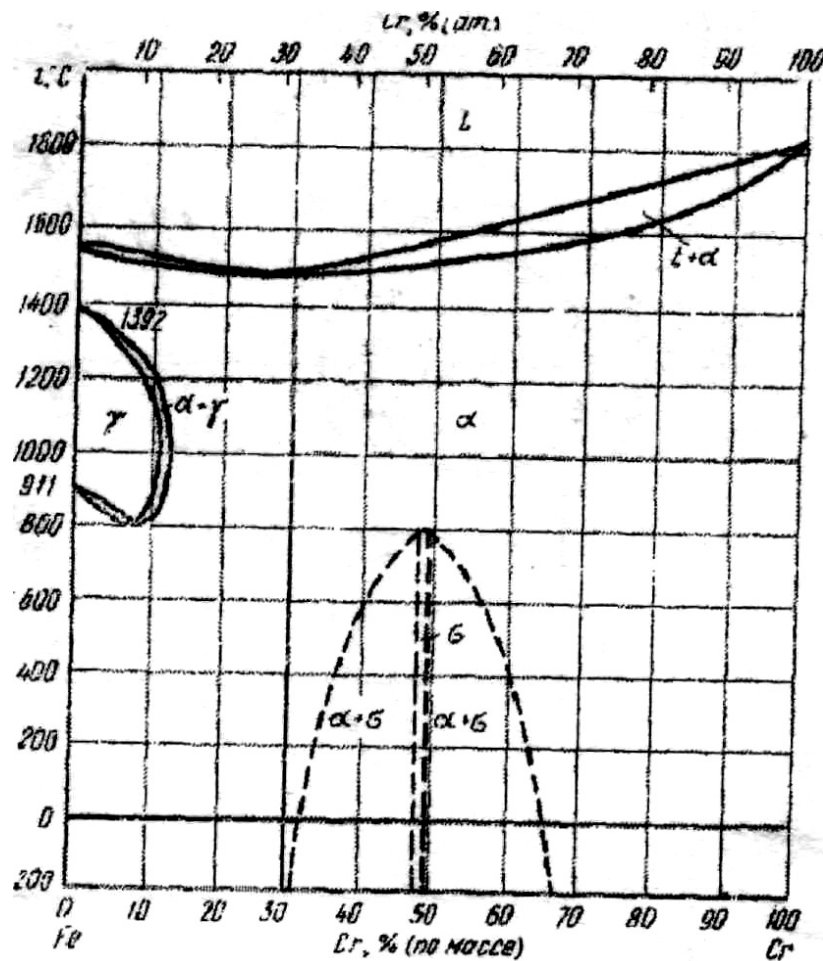


Рисунок 3.1 – Система Fe-Cr [16].

Вплив легуючих елементів на ферит

Розчинення легуючих елементів на $\text{Fe}\alpha$ відбувається в результаті заміщення атомів заліза атомами цих елементів. Атоми легуючих елементів, відрізняючись від атомів заліза розмірами і будовою, створюють в ґратках напругу, яка викликає зміну її періоду. Усі елементи, що розчиняються у фериті змінюють параметри ґраток фериту в тим більшій мірі, чим більше відрізняються атомні розміри заліза і легуючого елементу. Елементи з атомним радіусом, меншим, ніж у заліза зменшують параметри ґраток, а з великим – збільшують (нікель є виключенням).

Хром зменшує в'язкість значно слабкіше перерахованих елементів, а нікель не знижує в'язкості фериту (рис. 3.2).

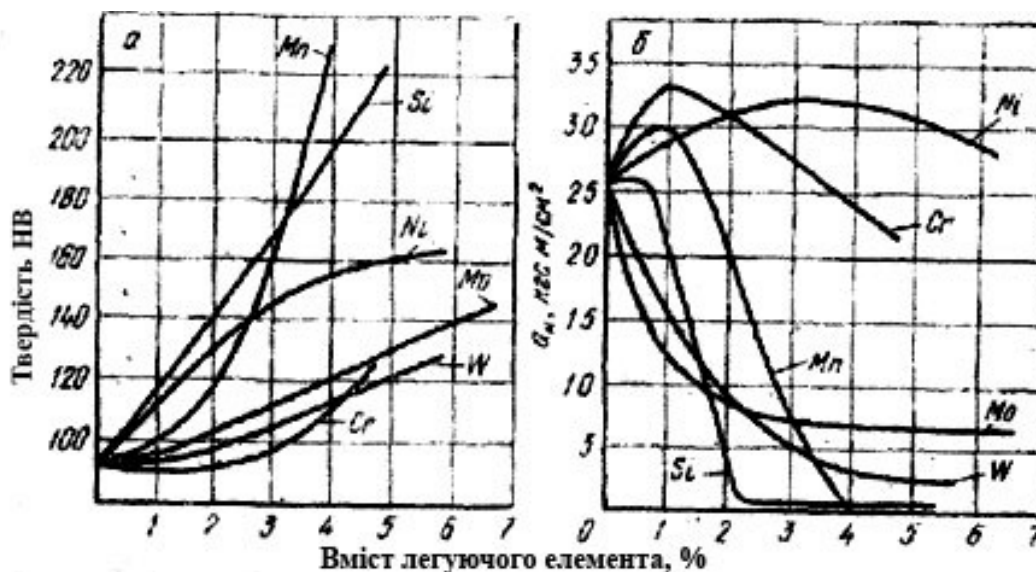


Рисунок 3.2 - Вплив легуючих елементів на властивості фериту:
а - твердість, б - ударна в'язкість.

Вплив елементів на поріг холодноламкості

Характеризує схильність сталі до крихкого руйнування. Наявність хрому в залозі сприяє деякому підвищенню порогу холодноламкості, тоді як нікель інтенсивно знижує поріг холодноламкості, зменшуючи тим самим схильність заліза до крихких руйнувань (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Вплив легуючих елементів на поріг холодноламкості.

Хром не знижує в'язкості, але слабо зміцнює ферит. Або, сильно зміцнюючи ферит, різко знижують його в'язкість (марганець, кремній). Подібний вплив марганцю і кремнію відзначається за наявності $Mn > 14-1.5\%$ і $Si > 0.5\%$.

Зміцнення при утворенні голчастого фериту обумовлене "фазовим" наклепом; γ -зміцнення супроводжується об'ємними змінами, а оскільки воно (в результаті переохолодження) здійснюється при зниженій температурі, то фази зазнають наклепу. У результаті перетворення блокова будова сплаву сильно подрібнюється при наведенні значної напруги II роду [16].

Таблиця 3.3

Вплив легуючих елементів на структуру і властивості

Елемент	Схильність до перегрівання	Температура нормалізації, відпалу, загартування	Величина зерна	Міцність і твердість	Пластичність в холодному стані	Опір окисленню при нагріві	Міцність при високих температурах
Кремній (Si)	Мало впливає, але сприяє знеуглецюванню	Підвищує	Трохи зменшує при низькому вмісті; збільшує при 2%	Підвищує	Мало змінює при вмісті до 2,5%; при більшому вмісті - різко знижує	Підвищує	Дещо підвищує
Марганець (Mn)	Дещо підвищує	Зменшує	Дещо збільшує	Підвищує найпомітніше в низько- і середньо-вуглецевих сталях	При вмісті до 2% в низько- і середньо-вуглецевій сталі не знижує, у високовуглецевій знижує	Не змінює	Не змінює
Хром (Cr)	Зменшує	У доєвтектоїдній сталі знижує, а в заєвтектоїдній підвищує	Мало впливає	Підвищує, особливо після термічної обробки	У сталях перлітового класу мало знижує. Ударна в'язкість в мало- і середньо-вуглецевій сталі мінімальна при вмісті 2,5%	Підвищує особливо при високому вмісті	Підвищує
Молібден (Mo)	Зменшує, але сприяє знеуглецюванню	Підвищує	Сильно зменшує	Підвищує	Мало впливає	Знижує	Помітно підвищує
Вольфрам (W)	Зменшує	Підвищує	Зменшує	Підвищує	Ударна в'язкість після термообробки вища, ніж в сталі без вольфраму	Мало впливає	Підвищує
Ванадій (V)	Зменшує	Підвищує	Сильно зменшує	Підвищує	Підвищує	Трохи знижує	Підвищує до 400 - 500

Висновки до розділу 3

В третьому розділі було розглянуто хімічний склад і фізико-механічні властивості обраної марки сталі 40ХФА для виготовлення колінчастого валу двигуна БПЛА.

Виходячи з умов завдання і технічних вимог виготовлення колінчастого валу двигуна БПЛА можна використати сталь конструкційна легована хромованадієва сталь 40ХФА.

Обрана марка сталі 40ХФА застосовується для виготовлення наступних деталей: шліцеві вали, штоки, гвинти, траверси, вали екскаваторів, вали та інші деталі підвищеної зносостійкості.

Розглянули типи домішок:

- постійні і звичайні домішки. До цієї групи відносяться марганець і кремній, а також і алюміній, який як кремній і марганець, застосовується в якості розкислювача;

- приховані домішки. Це кисень, водень, азот, присутні у будь-якій сталі в дуже малих кількостях;

- випадкові домішки.

Провели аналіз впливу легуючих елементів на властивості фериту та на поріг холодноламкості.

Розглянули вплив легуючих елементів на структуру і властивості сталі.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1 Маршрутна технологія виготовлення і термічної обробки деталі

Для отримання деталей на виробництві проектують технологічний процес, який є поєднанням технічних, економічних і деяких організаційних завдань, що вирішуються при виготовленні тієї чи іншої деталі.

При розробці технологічного процесу потрібно враховувати всі вимоги до деталі, розробити креслення і технічні умови виготовлення, при мінімальних затратах і невисокій собівартості [17].

При розробці технологічного процесу розробляють маршрутну технологію виготовлення деталі.

Вона повинна містити в собі:

- послідовність технологічних операцій (від початку до кінця);
- обладнання для проведення вказаних операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі колінчастого валу зазначена у таблиці 4.1.

Маршрутна технологія виготовлення деталі – це сукупність послідовних операцій від початку до кінця виготовлення виробу.

Етапи отримання деталі

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

- Етап 1. Отримання сталі;
- Етап 2. Отримання заготовки;
- Етап 3. Попередня термічна обробка;
- Етап 4. Чорнова механічна обробка;

- Етап 5. Остаточна термічна обробка;
- Етап 6 Чистова механічна обробка;
- Етап 7. Вихідний контроль.

Таблиця 4.1

Маршрутна технологія виготовлення колінчастого валу

№ операц	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, навуглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери

1	2	3	4	5	6
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверт. піч	Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугової печі	Електродугова піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч	Завальні машини
		6	Безперервне розливання	Установка безп. лиття	-
Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання прокату	1	Нагрівання слябу під гарячу обробку тиском	Термічна дільниця	Методична піч
		2	Взламування окалини та обтискання слябу	Вертикальний окалино-ламах	Обертові валки
		3	Прокатування слябу	Прокатний стан	Прокатні валки
		4	Розрізання проката	Прокатний стан	Ацителен-кисневі різак
2.2	Отримання заготовки	1	Різка штанги на довжину заготовки з попереднім підігрівом до 450-550° С	Нагрівальна шахтна піч	Пресс-ножиці
2.3	Нагрів заготовки	2	Нагрівання заготовки до 1220-1340° С	Полуметодична піч	-
2.4	Попереднє штампування	3	Попереднє штампування при 1000° С (мінімальна температура)	ГКМ	Штамп
2.5	Остаточне штампування	4	Остаточне штампування	ГКМ	Штамп
2.6	Обрізка задир і ризини	5	Обрізка задир і ризини (допускається задирок не більше 2,5 мм)	ГКМ	Штамп

2.7	Правка	7	Виправлення заготовки в двох струмках (гаряча)	Правильний гідравлічний прес	Правильний штамп
-----	--------	---	--	------------------------------	------------------

1	2	3	4	5	6
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Повний відпал	1	Повний відпал (температура печі 820-850° С, час витримки 1-2 години, охолодження на повітрі з 350-400 ° С)		Пристосування для підвісу деталі в печі
3.2	Контроль	1	Контроль твердості (діаметр відбитка 4,3—4,7 мм)	Твердомер Бринеля	Вимірювальна лупа
3.3	Очищення	1	Очищення заготовки травленням або дробом	Травильний агрегат, дробометна камера	-
3.4	Правка	1	Холодна правка	Правильний гідравлічний прес	-
3.5	Контроль	1	Остаточний контроль	Спеціальні контрольні пристосування	-
Етап 4. Механічна обробка,					
4.1	Фрезерна	1	Фрезерування торців вала	Автоматичний двосторонній фрезерний автомат	Спеціальні фрези
4.2	Центрувальна	1	Обробка центрових отворів	Двосторонній свердлильний автомат	Центрувальні свердла
4.3	Фрезерна	1	Фрезерування базових площ на щоках вала	Двошпindelний фрезерний автомат	Спеціальні фрези

4.4	Токарська чорнова	1	Первинне обточування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки	Спеціальний багаторізцевий автомат	Спеціальні різці
4.5	Токарська чистова	1	Остаточне обточування тих же поверхонь	Спеціальний багаторізцевий автомат	Спеціальні різці
4.6	Правка	1	Правлення корінних шийок щодо осі центрових отворів	Гідравлічний прес	-
4.7	Шліфувальна	1	Попереднє шліфування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки	Спеціальний шліфувальний напівавтомат	Абразивний круг
4.8	Токарська	1	Підрізка щоки і противагі	Спеціальний напівавтомат	Спеціальні різці
4.9	Промивка	1	Промивання вала водним розчином (триполіфосфат - 5%, поташ - 35%, вода - 60%) при температурі 80°C	Мийна машина	-
4.10	Сверлильна	1	Свердління каналу впуску топлива і нарізування різьби	Спеціальний свердильний автомат	Спеціальний інструмент
4.12	Фрезерна	1	Фрезерування впускного отвору	Спеціальний фрезерний автомат	Спеціальні фрези
4.13	Слюсарна	1	Зняття фасок, зачистка задирок	Пневмозачистні машинки	Зенкери, шарошки
4.14	Промивання	1	Промивання вала і продування каналів	Установка для промивання і продування	-
Етап 5. Остаточна термічна та ХТ обробка					
5.1	Об'ємне гартування	1	Нагрів 810-830 °С, час нагріву 20 хв. Охолодження в баку з індустриальним маслом	Піч	Прийомлення для підвісу деталей в печі
5.2	Контроль	1	Контроль твердості (56-58 HRC)	Твердомір, Роквелл	-

5.3	Мийка	1	Промивка деталей	Мийна машина	Содовий розчин
5.4	Високотемпературний відпуск	1	Відпуск 550-650 °С, час нагріву 30 хв. Охолодження - повітря	Піч	Пристосування для підвісу деталей в печі
5.5	Гартування СВЧ		Гартування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки. Нагрів - 900°С. Охолодження - спреєром	Генератор СВЧ	Спеціальний індуктор
5.6	Гальвоническо е хромирование	1	Гальваническое покритие хромом корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки	Гальвонічна ділянка	Спеціальне пристосування
5.7	Контроль	1	Контроль твердості	Твердомір, Роквелл	-

Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Шліфувальна	1	Остаточне шліфування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки	Спеціальні шліфувальні напівавтомати 3 многочисленними налагодженнями	Образівні кола
6.2	Балансування	1	Динамічне балансування	спеціальний балансувальний автомат	Свердло
6.3	Правка	1	Остаточна правка шийок	Правильний прес	-
6.4	Поліровка	1	Попереднє і остаточне полірування всіх шийок	Спеціальний полірувальний суперфінішний верстат	-
6.5	Промивання	1	Промивання вала	Мийна машина	-
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1.	Вихідний контроль	1	Остаточний контроль якості обробки вала	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба

Вихідний матеріал для заготівлі – сталь 40ХФА. Заготовка колінчастого вала виготовляється з штанги квадратного перетину 40x40 мм, довжиною 150 мм, вагою 0,95 кг. Відхід на угар, задирки і рицину становить 40%. Вимоги, що пред'являються до якості поковки: штампувальні ухили максимум 5° необумовлені радіуси - не більше 3 мм; поверхні вала, що не підлягають обробці, повинні бути чистими (без окалини, заходів, плен, розшарувань і тріщин); не допускається усунення дефектів зачеканюванням і зварюванням [13].

Заготівля піддається термообробці, це регламентує твердість, знімає внутрішню напругу, що забезпечує більш продуктивну і якісну механічну обробку. При виготовленні горячештампованих заготівель колінчастих валів потрібно забезпечити особливо високе ущільнення металу в місцях найбільших напруг (по корінним і шатунним шийкам) за рахунок якісної проковки.

В умовах великосерійного і масового виробництва заготівлі сталевих колінчастих валів штампуються на кувальних пресах, це забезпечує більш високу продуктивність (до 2 разів) в порівнянні зі штампуванням на молотах. Крім того, штампування на пресах підвищує точність заготівлі за рахунок зменшення штампувальних ухилів і дозволяє знизити припуски на механічну обробку (на 30-40%) за рахунок кращого обтиску металу в штампах і підвищення точності форми заготовки.

Фрезерування торців, центрування вала і обробка базових площ на щоках вала виконуються на автоматичних верстатах.

Токарська обробка корінних шийок, переднього і заднього кінців валу виробляється на спеціальному багаторізцевому напівавтоматі.

При шліфуванні корінних шийок застосовується підтримуючий гідравлічний люнет. Шліфування проводиться на спеціальних шліфувальних напівавтоматах з багатокамневими накладками.

Свердління каналів викликає значні труднощі із-за малих діаметрів отворів і великої їх глибини. Перетин каналів має переходи по діаметру, і

канали повинні бути суворо координовані. При свердлінні таких отворів важко відводити стружку: часто ламаються свердла.

Загартування колінчастого вала проводиться впродовж 20 хвилин. Твердість після гартування HRC 62-52. Мікроструктура загартованого шару повинна являти собою мартенсит дрібно- або середньогольчатої будови або троостомартенсит. Охолодження деталі при гартуванні поєднане з додатковою промивкою.

Корінні шийки вала шліфуються на спеціальних напівавтоматах з багатокамневим налагодженням. Деталь встановлюється по центровим отворам.

Обробка отвору, нарізування різьблення виконуються на напівавтоматичному верстаті.

Динамічне балансування виконується на автоматичному станку. Дисбаланс усувається за рахунок висвердлювання металу з противаги [17].

При балансуванні колінчастого вала всі його внутрішні порожнини і канали заповнюються маслом, виходи каналів закриваються технологічними пробками. Динамічне балансування дозволяє визначити величину діючих нерівноважених сил по торцях валу і координати їх кутового положення. За результатами балансування задається програма висвердлювання зайвого металу. Попереднє усунення дисбалансу здійснюється радіальним свердлінням отворів діаметром 3 мм на певну глибину в крайніх противагах вала.

Конструкцією колінчастого вала повинні бути передбачені дві площини для усунення дисбалансу, які мали б достатні припуски для видалення необхідного металу без порушення міцності вала.

4.2 Призначення режиму термічної обробки деталі

Якість, експлуатаційна надійність промислових виробів – машин, механізмів, приладів та ін. – знаходиться в безпосередній залежності від відповідних властивостей їх елементів – деталей, з'єднань і вузлів.

Конструкційні властивості останніх пов'язані, в свою чергу, з властивостями матеріалу [18].

Для сучасного машинобудування та інших галузей металообробки характерні високі вимоги до властивостей матеріалів, обумовлені зростаючою інтенсивністю навантаження машин при одночасній тенденції зменшення маси. Цим високим вимогам не можуть відповідати незміцнені термічною обробкою матеріали.

Головна мета термічної обробки виробів (заготовок, деталей, вузлів), що надходить в термічний цех або дільницю полягає в отриманні необхідних властивостей матеріалів.

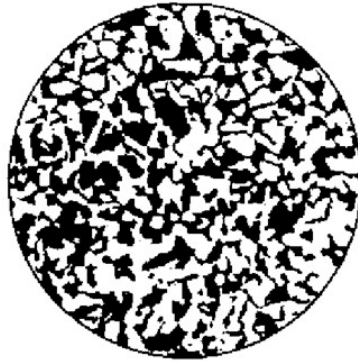
Якість термічної обробки визначають наступні основні критерії:

- забезпечення необхідних властивостей матеріалів;
- зведення до мінімуму побічних явищ – зміна інших параметрів деталей і виробів;
- забезпечення високих техніко-економічних показників термічної обробки.

Пропонований варіант термічної обробки деталі зі сталі 40ХФА складається з наступних операцій:

1. Попередня термічна обробка – відпал для зняття напружень після отримання деталей і перед механічною обробкою. Проводимо при температурі 830-850°C з витримкою 1-2 години, охолодження з піччю до 350-400°C, далі на повітрі.

Структура сталі після відпалу – перлит + феррит (рис. 4.1), суміш евтектоїда перлита (близько 60%) і твердого розчину вуглеця в α -залізі (феррит). Твердість 170 НВ.



x200

Рисунок 4.1 – структура сталі 40ХФА після відпалу – перлит + феррит.

2. Остаточна термічна обробка – гартування + відпуск при температурі 810- 830 °С і охолодження – масло індустріальне, витримка при температурі гартування 20 хвилин.

Структура загартованої сталі 40ХФА – мартенсит гартування – пересичений твердий розчин вуглеця в α - залізі (рис. 4.2). Товщина загартованого шару залежить від глибини прогартуваності (твердість 58-60 HRC). Не загартована серцевина – перліто-ферритна 22-26 HRC.



x200

Рисунок 4.2 – структура загартованої сталі 40ХФА – мартенсит.

Відпуск високотемпературний 550-650°С, витримка 30 хвилин. Структура після високотемпературного відпуску – троосто-сорбіт – дисперсна зерниста суміш феррита і цементита (рис. 4.3) з твердістю 30-35 HRC.

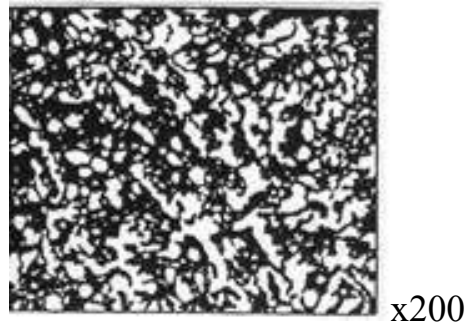


Рисунок 4.3 – Структура сталі 40ХФА після високотемпературного відпуску –троосто-сорбіт.

Гартування СВЧ корневих і шатунних шийок колінчастого валу при температурі 900°C , витримка при температурі гартування 1-2 хвилини. Після гартування СВЧ поверхня має структуру мартенсита гартування з твердістю 48-55 HRC.

Графік режиму термічної обробки колінчастого валу зі сталі 40ХФА представлений на рисунку 4.4.

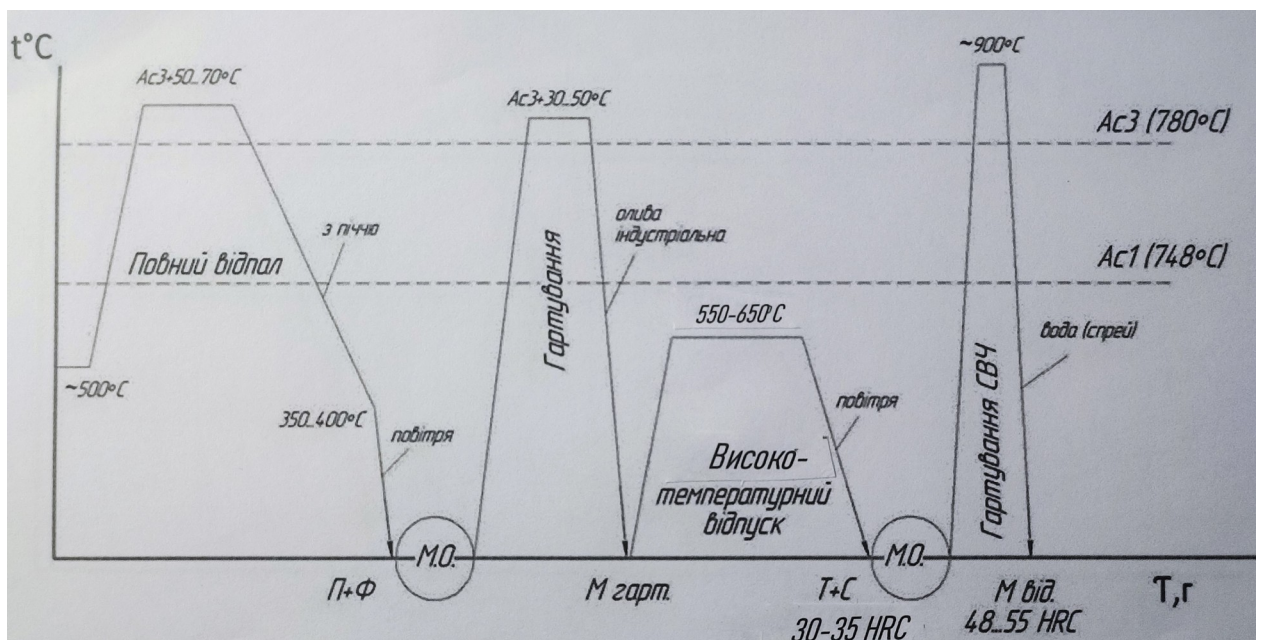


Рисунок 4.4 – Графік термічної обробки сталі 40ХФА.

4.3 Контроль якості колінчастих валів

Якість обробки вала багаторазово контролюється. Проміжний контроль запобігає потраплянню бракованих деталей на наступні операції обробки і допомагає керувати процесом виготовлення валів. Контроль колінчастих валів є трудомісткою роботою, тому що у валу в цілому контролюється близько 10 різних показників якості і він має велику кількість поверхонь з високою точністю розмірів, форми і взаємного розташування.

Тому контроль якості вала повинен виконуватися із застосуванням автоматичних пристроїв. В якості таких пристроїв можуть бути індикаторні з налаштуванням для одночасного вимірювання різних розмірів і відхилень, а також пневматичні, електроконтактні і електронні пристрої [14].

Діаметр корінних і шатунних шийок перевіряється на стенді пневмоскопами. Для перевірки стану торців застосовуються електроконтактні пристрої, які не тільки показують ту чи іншу відхилення, але можуть і фіксувати його.

4.4 Технологія гальванічного хромування деталей

Висока твердість, низький коефіцієнт тертя, жаростійкість та хороша хімічна стійкість забезпечують деталям, покритим хромом, високу зносостійкість в особливо важких умовах експлуатації. Хромування широко застосовується для підвищення твердості та зносостійкості різного вимірювального та ріжучого інструменту, деталей приладів і машин, що труться. Залежно від призначення виробів товщина хромового покриття коливається від 5 мкм до кількох сотень.

Електролітичне хромування суттєво відрізняється від інших гальванічних процесів. Виділення хрому проводиться із розчинів хромових кислот, а не із солей хрому.

Важливою особливістю хромування є більш легке виділення водню на катоді, ніж хрому; водень починає виділятися при більш позитивному потенціалі, ніж хром, і вихід струму при хромуванні набагато (в три - п'ять

разів) менше, ніж при осадженнях інших металів. На вихід хрому струмом істотно впливають щільність струму і температура електроліту [20].

Показники процесу та якості покриття при хромуванні значно більшою мірою залежать від режиму електролізу (щільності струму та температури електроліту), ніж при інших гальванічних процесах.

У хромувальних ваннах застосовуються тільки нерозчинні аноди, що вимагає періодичного поповнення втрат хромової кислоти шляхом її безпосереднього введення в електроліт у необхідних кількостях.

Розчини хромової кислоти токсичні, вони потрапляють в очі, що виділяються при електролізі. Це створює необхідність вживання запобіжних заходів для оздоровлення умов праці при роботі на хромувальних ваннах.

При хромуванні деталь є катодом, а в якості аноду застосовуються нерозчинні свинцеві пластини (півкільця). Схема електролітичного відновлення деталей хромуванням показана на рисунку 4.5. До складу універсального електроліту для хромування входять хромовий ангідрид Cr_2O_3 (250 г/л) та сірчана кислота H_2SO_4 (2,5 г/л).

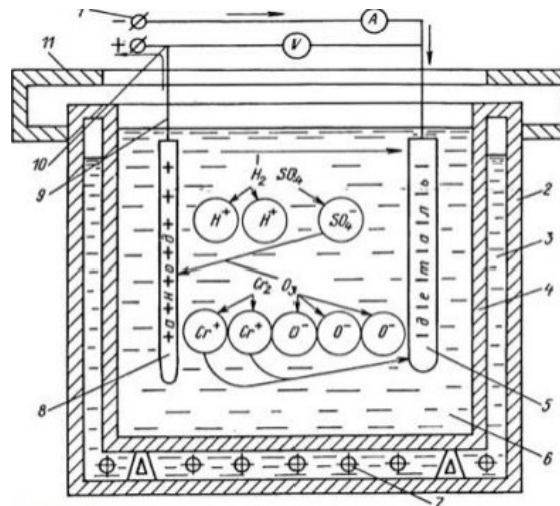


Рисунок 4.5 – Схема електролітичного відновлення деталей

хромуванням: 1 – електрична шина катоду; 2 – зовнішня стінка ванни; 3 – вода для підігріву електроліту у ванні; 4 – внутрішня стінка ванни; 5 – катод

[деталь (-)]; 6 – електроліт; 7 – електропідігрівач; 8 – анод [свинцева пластина (+)]; 9 – підвіска деталі; 10 – електрична шина анода (+); 11 – кришка ванни.

Технологічний процес хромування деталей складається з низки операцій, які необхідно виконувати в наступній послідовності [20]:

1. Механічна обробка. Поверхні деталей, що підлягають хромуванню, слід шліфувати до виведення слідів зношування та полірувати. Після механічної обробки не повинно бути раковин, тріщин і глибоких рисок, оскільки хромове покриття відтворює ці дефекти. Для шліфування та полірування застосовують круглошліфувальні верстати.

2. Миття деталей можна проводити в гасі, уайт-спіриті або дихлоретан, а також кип'ятінням в 10%-ном розчині каустичної соди. Миття ведуть у спеціальних ваннах, а потім обдувають стисненим повітрям.

3. Проводять контроль розмірів, визначення необхідної товщини шару хрому і часу хромування з урахуванням припуску на наступну механічну обробку.

4. Ізоляція місць, що не підлягають хромуванню. Ці роботи проводять на монтажних столах (верстаках), застосовуючи для ізоляції перхлорвініловий лак, лак АК-20, вініпласт або хлорвінілову ізоляційну стрічку. Отвори, які не підлягають хромуванню, закривають свинцевими пробками або іншими кислотостійкими матеріалами.

5. Монтаж деталей на підвісці. Деталі кріпляться на спеціальній підвісці. При цьому необхідно стежити, щоб між деталями та струмопідвідними штангами був надійний контакт. Роботи проводять на монтажних столах.

6. Знежирення. Застосовується видалення жирових забруднень із поверхні деталей [21]. Тривалість знежирення залежить від ступеня забруднення і становить приблизно 3-30 хв.

Склади лужних розчинів для хімічного знежирення деталей зі сталі: натрій їдкий, сода кальцинована, тринатрійфосфат, продукт ОС-20, сітанол ДС-10, миючий засіб МС-31.

Під час хромування, підвіски з деталями поміщають у ванну хромування, підігрівають їх при включеному струмі протягом 5-6 хв, а потім дають повний струм згідно з режимом хромування.

При хромуванні застосовують нерозчинні аноди зі свинцю або сплаву свинцю з 6% сурми. Катодом служить деталь, що відновлюється [19]. Для хромування найчастіше застосовують електроліти, що складаються з водного розчину двох компонентів - хромового ангідриду CrO_3 і сірчаної кислоти H_2SO_4 .

Загальний вид установки електролітичного осадження металу представлений на рис. 4.6.

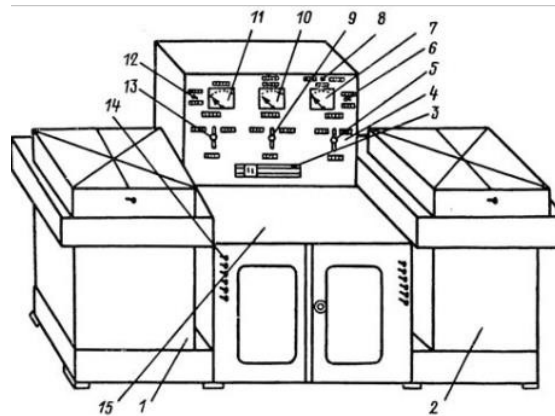


Рисунок 4.6 – Установка для електролітичного

осадження металів ОГ-1349А: 1, 2 – ванни з електролітом; 3 – реостат; 4 – пульт управління; 5, 13 - пакетний перемикач зміни полярності; 6, 12 - вмикачі електропідігріву ванн; 7, 11 – амперметри; 8 – перемикач амперметра з 200 на 20 А; 9 - пакетний вмикач установки в ланцюг електричного струму від випрямлювача; 10 – вольтметр; 14 - вмикачі магазину опорів; 15 - стіл установки.

Хромування деталей проводиться згідно з обраним режимом. Твердість хромових осадів залежить від щільності струму та температури електроліту. Для визначення щільності струму та температури електроліту користуються графіком, представленим на рис. 4.7. Відповідно до графіку задають

твердість, вид осаду (сірий, блискучий або молочний) і визначають щільність струму та температуру електроліту.

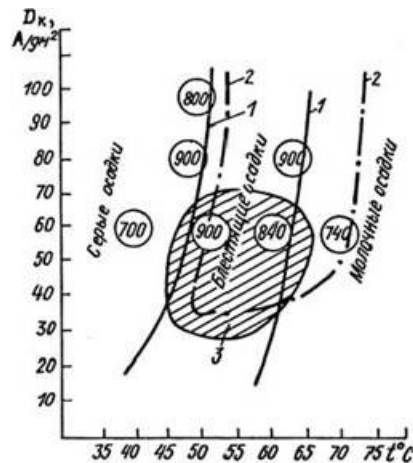


Рисунок 4.7 – Діаграма залежності розташування зон різних хромових осадів від температури електроліту у ванні та щільності струму: 1 - криві, що обмежують зону утворення блискучих осадів у ванні з універсальним електролітом; 2 - крива, що обмежує зону утворення блискучих осадів у ванні з саморегулюючим електролітом; 3 - зона утворення зносостійких осадів (цифри в кружечках показують мікротвердість осажденного хромового покриття).

За густиною струму визначається його сила, необхідна для електролізу. Вона встановлюється за допомогою реостатів гальванічної установки, що показана на рис. 4.7 і контролюється за показаннями амперметра. Температура досягається шляхом увімкнення електричного підігрівача ванни. Розмір хромового осаду залежить від часу осадження хрому [20].

Після закінчення хромування деталі витягуються з ванни, промиваються у проточній воді, демонтуються з підвісок і піддаються термічній та механічній обробці [22].

Електроліти для хромування (табл. 4.2) мають ряд недоліків: низький вихід хрому струмом (12-16%); необхідність частого коригування внаслідок нестійкості складу; малу продуктивність (за 1 годину відкладається шар товщиною 0,1 - 0,03 мм).

Склад електролітів та режими хромування

Призначення покриття	Склад електроліту, г/л		Режим хромування	
	хромовий ангідрид CrO_3	сірчана кислота H_2SO_4	щільність струму $\text{A}/\text{дм}^2$	температура електроліту, град.
Зносостійкі	150-180	1,5-1,8	35-100	55-70
Захисно-декоративні і Зносостійкі	230-260	2,3-2,6	30-45	53-45
Захисно-декоративні	250-400	3,5-4,0	45-55	10-20

Висновки до розділу 4

В четвертому розділі було обрано оптимальну технологію отримання виробу при заданій серійності виробництва та розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі.

Розробка маршрутної технології виготовлення є важливим етапом в створенні проекту отримання виробу. Маршрутну технологію поділяють на декілька етапів до яких входять: отримання сталі, отримання заготовки, попередня термічна обробка, чорнова механічна обробка, остаточна термічна обробка, чистова механічна обробка, вихідний контроль.

Деталь «колінчастий вал» виготовляється з катаної заготовки, шляхом її гарячого штампування і подальшої механічної і термічної обробки. Деталь є відповідальною і високоточною, тому механічна обробка таких деталей налічує до ста операцій включаючи рехтовку, контроль розмірів, балансування і т. д.

Запропонований варіант термічної обробки деталі зі сталі 40ХФА складається з наступних операцій.

Попередня термічна обробка – відпал для зняття напружень після отримання деталей і перед механічною обробкою.

Проводимо при температурі 830-850°C з витримкою 1-2 години, охолодження з піччю до 350-400°C, далі на повітрі. Твердість 170 HB.

Остаточна термічна обробка – гартування + відпуск при температурі 810- 830°C і охолодження – масло індустріальне, витримка при температурі гартування 20 хвилин.

Відпуск високотемпературний 550-650°C, витримка при температурі гартування 30 хвилин. Твердість 30-35 HRC.

Гартування СВЧ коріневих і шатунних шийок колінчастого валу при температурі 900 °C, витримка при температурі гартування 1-2 хвилини. Твердість 48-55 HRC.

Гальванічне хромування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Вибір основного і допоміжного обладнання для деталі

Економічна доцільність впровадження нового технологічного процесу пов'язана з правильним вибором обладнання та енергії для нагріву в наслідок значної питомої ваги амортизації та вартості палива в структурі собівартості термічної обробки.

Вибір обладнання повинен орієнтуватися на використання найбільш потужних печей і їх максимальне завантаження, щоб уникнути роботи печей в холосту [19].

При правильному виборі обладнання зменшується як собівартість термічної обробки, так і питомі капітальні вкладення, що веде до мінімізації витрат.

Для проведення відпалу деталі «колінчастий вал БПЛА» обираємо печі типу СНО-3,5.5.3,5/12,5 (рис. 5.1). Технічні характеристики печі СНО-3,5.5.3,5/12,5 представлені у таблиці 5.1.



Рисунок 5.1 – піч СНО-3,5.5.3,5/12,5.

Таблиця 5.1

Технічні характеристики печі СНО-3,5.5.3,5/12,5

№	Технічні характеристики	СНО-3,5.5.3,5/12,5
1	Номинальна потужність, кВт	12 ±2
2	Параметри електроживлення	3×380 В, 50 Гц
3	Максимальна температура у робочому просторі, °С	1250
4	Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1250
5	Розміри робочого простору, ширина × довжина × висота, мм	350 × 500 × 350
6	Матеріал спіральних нагрівачів	X23Ю5Т
7	Середовище у робочому просторі	Повітря
8	Стабільність регулювання температури в тепловому режимі, без садки, °С	± 3
9	Габаритні розміри, ширина×довжина×висота, мм	1300 × 1500 × 1300
10	Розрахункова маса, кг	900

Для проведення гартування обираємо шахтну піч із захисним середовищем СШЗ-4.6/12,5 (рис. 5.2) Гк и вентилятором.

Електропіч має газощільний корпус. В якості захисної атмосфери зазвичай використовуються аргон, або азот (у балонах). Не допускається наявність у печі агресивного або струмопровідного газу, який може пошкодити елементи печі. У разі такого газу необхідно встановлювати в печі реторту з відповідного матеріалу. Електропіч обладнана системою автоматичного регулювання температури на основі твердотільних безконтактних реле та програмованих цифрових терморегуляторів з інтерфейсом та програмним забезпеченням для зв'язку з комп'ютером та з можливістю запису процесу.



Рисунок 5.2– піч СШЗ-4.6/12,5.

Технічні характеристики печі СШЗ-4.6/12,5 представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Технічні характеристики печі СШЗ-4.6/12,5

№	Технічні характеристики	СШЗ-4.6/12,5 Гк з вентилятором
1	Номинальна потужність, кВт*(одна і дві зони нагріву)	1×20 ±5
2	Параметри електроживлення	3×380 В, 50Гц
3	Номинальна температура у робочому просторі, не більше, °С	1250
4	Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1250
5	Розміри робочого простору, не менше: діаметр×висота, мм	400 × 600
6	Габаритні розміри (діаметр з виступами, висота), ± 10%, мм	1250 × 2700
7	Наявність вентилятора	є

8	Стабільність регулювання температури у встановленому тепловому режимі, без садки, не більше, °С	± 3
9	Нерівномірність розподілу температури за об'ємом камери, без садки, не більше, °С	± 5
10	Тип термопари	ТШП
11	Марка цифрових мікропроцесорних терморегуляторів	ТРП-09-ТП
12	Кількість зон нагріву	2
13	Середовище у робочому просторі	Захисна атмосфера (інертний газ)
14	Матеріал спіральних нагрівачів	Проволока Х23Ю5Т
15	Механізм підйому кришки	Електропідйом
16	Розрахункова маса печі, кг	1050
17	Максимальна маса садки, кг	300

Для проведення середньотемпературного відпуску обираємо піч типу СНО-6.10.4/7,5 (рис. 5.3) з вентилятором.



Рисунок 5.3– піч СНО-6.10.4/7,5.

Технічні характеристики печі СНО-6.10.4/7,5 з вентилятором представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Технічні характеристики печі СНО-6.10.4/7,5

№	Технічні характеристики	СНО-6.10.4/7,5
1	Номинальна потужність, кВт	37 ±5
2	Параметри електроживлення	3×380 В+N, 50 Гц
3	Максимальна температура у робочому просторі, °С	750
4	Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...750
5	Розміри робочого простору, ширина × довжина × висота, мм	600 × 1000 × 400
6	Розрахункові габаритні розміри, мм (ширина × довжина × висота) Висота від полу до пода печі, мм	1550 × 1850 × 2150 800
7	Середовище у робочому просторі	Повітря
8	Стабільність регулювання температури в тепловому режимі, без садки, °С	± 3
9	Нерівномірність розподілу температури за об'ємом камери в постійному тепловому режимі, без садки, °С	± 5

Завантаження деталей на спеціальній підвісці.

Величина садки з урахуванням ваги пристосування 40-50 кг, кількість деталей на підвісці 100 штук – 30 кг (вага однієї деталі близько 0.3 кг).

Для гартування СВЧ застосовуємо високочастотний генератор частотою 90-10000Гц.

Устаткування для охолодження – механізований гартівний масляний бак, деталі в бак переміщують краном разом з пристосуванням.

Обсяг бака визначається з розрахунку 15-25 л індустріальної оливи на 1 кг загартованих деталей при температурі гартування понад 1000°C.

Бак стаціонарний, для охолодження масла встановлено змієвик, що охолоджується водою, можлива циркуляція масла через маслоохолодильник.

У конструкції бака передбачений бортовий відсмоктувач пари і отвори в верхній частині для переливання при переповненні бака.

Розмір бака залежить від максимально можливої величини садки деталей. При величині садки 50кг – передбачаємо бак з робочим простором – 1,2-1,2 м.

Для очищення деталей від масла після гартування встановлюємо мийну машину конвеєрного типу, мийний розчин: гарячий содовий розчин.

В якості підйомно-транспортного обладнання на ділянці встановлюється кран-балка вантажопідйомністю 10 тон.

Для контролю твердості після відпалу застосовуємо прилад контролю твердості Брінелля – ТШ-2 і Роквелл – ТК-2 (в кількості однієї одиниці кожного найменування).

Перевірка твердості 5-7% від партії деталей.

5.2 Розрахунок обладнання термічної ділянки

Для розрахунку потреби основного обладнання складаємо таблицю середньої продуктивності обраних печей на окремих операціях.

Таблиця 5.4

Середня продуктивність печей на окремих операціях в кг/г.

Тип печі	Операція термічної обробки	Середня продуктивність, кг/г
СНО-3,5.5.3,5/12,5.	Відпал	100
СШЗ-4.6/12,5	Гартування	300
СНО-6.10.4/7,5	Відпуск середньотемпературний	120-150

Припускаємо (призначаємо з розрахунку високого коефіцієнта завантаження печей при термообробці), що програма по колінчастим валам 500000 кг (5000 деталей).

Існує два методи розрахунку обладнання:

1) за укрупненими показниками, такий розрахунок застосовується в проектних завданнях, тобто, цей метод задовольняє меті нашого завдання;

2) за нормами часу для кожної деталі програми, розрахунок обладнання більш точний.

Розрахунок за першим методом полягає в тому, що кількість потрібного устаткування визначається виходячи з продуктивності прийнятого обладнання – годинної і питомої. Так як продуктивність печей залежить від тієї операції, яка на ній виконується, то в проектних завданнях спочатку складаємо відомість розподілу деталей програми за операціями.

Потім виробляємо визначення заборгованості печі, тобто кількість годин роботи печі, які потрібні для обробки однієї групи (садки) деталі по програмі. Розрахунок необхідної кількості обладнання за укрупненими показниками виробляємо, користуючись відомостями з таблиці.

При відпалі в печі СНО-3,5.5.3,5/12,5. з продуктивністю 100 кг/год і програмою по колінчастим валам 250000 кг в рік заборгованість складе:

$$\frac{500000}{100} = 5000 \text{ годин}$$

(5.1)

Отже, заборгованість даної печі 5000 годин. Далі визначаємо необхідну кількість печей СНО-3,5.5.3,5/12,5 для відпалу при двозмінній роботі протягом року близько 3200 годин:

$$\frac{5000}{3200} = 1,5625 \text{ печі}$$

(5.2)

Отже, розрахункова кількість печей СНО-3,5.5.3,5/12,5 становитиме дві одиниці при коефіцієнті завантаження:

$$\frac{1,5625 \times 100}{2} = 78 \% \quad (5.3)$$

що задовольняє вимоги за інтенсивністю завантаження печі.

Далі проводимо розрахунок обладнання на операції гартування колінчастих валів печі СШЗ-4.6/12,5 з продуктивністю 300 кг/год і програмою 500000 кг в рік заборгованість печі становить:

$$\frac{500000}{300} = 1667 \text{ годин} \quad (5.4)$$

Необхідна кількість печей на операції гартування, виходячи з заборгованості печі дорівнює 1667 години. Визначаємо необхідну кількість печей СШЗ-4.6/12,5 для загартування при двозмінній роботі протягом року ~ 3200 годин. Отримаємо:

$$\frac{1668}{3200} = 0,52 \text{ печі} \quad (5.5)$$

Приймаємо, що кількість печей на цій операції дорівнює одному, з коефіцієнтом завантаження:

$$\frac{0,52 \times 100}{1} = 52 \% \quad (5.6)$$

При відпуску в печі СНО-6.10.4/7,5 колінчастих валів з продуктивністю 150 кг/год і програмою 500000 кг в рік.

$$\frac{500000}{150} = 3333 \text{ годин}$$

(5.7)

Необхідна кількість печей на операції відпуск, виходячи з заборгованості печі дорівнює 3333 години. Визначаємо необхідну кількість печей СНО-6.10.4/7,5 для відпуску при двозмінній роботі протягом року ~ 3200 годин. Отримаємо:

$$\frac{3333}{3200} = 1,04 \text{ печі}$$

(5.8)

Приймаємо, що кількість печей на цій операції дорівнює двум, з коефіцієнтом завантаження:

$$\frac{1,04 \times 100}{2} = 52 \%$$

(5.9)

Отже, для проектування ділянки термічної обробки ущільнюючих кілець необхідно мати:

- для відпалу – 2 печі СНО-3,5.5.3,5/12,5;
- для гартування – 1 піч СШЗ-4.6/12,5 ;
- для відпуску – 2 піч СНО-6.10.4/7;
- для охолодження – 1 масляний бак;
- для очищення деталей від масла – мийна машина;
- прилади контролю твердості - твердоміри ТШ-2 і ТК-2 по одній одиниці кожного;
- для транспортування і завантаження деталей в піч – кранбалка вантажопідйомністю 5 тонн.

5.3 Розробка планування термічної дільниці

До складу термічної дільниці входять:

- виробничі площі, на яких розташовується обладнання;
- допоміжні ділянки – склади для виробів, допоміжних матеріалів, майстерні електрика і механіка, приміщення ВТК;
- конторські або службові приміщення;
- побутові приміщення.

Оптимальним варіантом для термічного цеху є одноповерхова будівля прямокутної форми з одним-трьома прольотами. Така компоновка забезпечує найкраще висвітлення і природне видалення шкідливих газів, надлишків теплоти. Якщо будівля входить до складу будь-якого корпусу, то термічну дільницю необхідно розташовувати найбільшою протяжністю вздовж зовнішнього боку корпусу [18].

Ширина будівлі або прольоту вибирається відповідно до стандартного розміру мостових кранів, тобто кратній 3. Найбільш зручна ширина прольотів кратна 6, тобто 12, 18, 24, 30 м і т. д. Відстань між колонами по довжині дільниці (крок колон) рекомендується 6 або 12 м. Опори під колони розраховуються в залежності від маси будівель і допустимого навантаження на ґрунт.

Висота термічного ділянки найчастіше вибирається рівною 7,2; 8,4; 9,6 або 10,8 м.

Будівля термічної дільниці має бути побудована з негорючих матеріалів, які відповідають 1-2-му ступеню вогнестійкості.

Дах цеху виконується з пожаростійких і теплоізолюючих матеріалів з ліхтарем, які призначені для додаткового освітлення дільниці і провітрювання його в теплу пору року.

Підлога термічної дільниці повинна мати тверде і міцне покриття, особливо на проїзній частині і на дільницях складування, не ковзати і добре очищатися від бруду. Підлога на дільницях хіміко-термічної обробки і травлення виконується під ухилом з водонепроникних матеріалів, що дозволяє проводити його очищення за допомогою струменя води [21].

Нормативні дані необхідної площі на одиницю обладнання: для камерних електропечей – виробнича площа на одиницю обладнання – 15 - 25 м, загальна площа – 20 - 35 м.

При виконанні планування необхідно дотримуватися такого правила:

- обладнання розташовують таким чином, щоб забезпечити односпрямоване переміщення виробів усередині ділянки;

- обладнання з великим газо- і виділенням тепла встановлюють найбільш протяжною стороною уздовж зовнішньої стіни будівлі;

- крани наносять умовно пунктирними лініями;

- допоміжне обладнання розташовують у підвалі, приямках глибиною не менше 2,5 м, на міжпролітних ділянках шириною 3 - 6 м, а також на майданчиках, піднятих над підлогою на 3 - 4 м;

- передбачають 1, 2, а іноді і більше проїздів для міжцехового і внутрішньоцехового транспорту. При односторонньому русі ширина проїзду вибирається 2,5 - 3 м, при двосторонньому - 5 м. Крім проїздів необхідно передбачити також проходи шириною 1,5 - 2,5 м;

- ділянки з шкідливими умовами праці (дробоструминні, травильні і т.д.) мають у своєму розпорядженні ізольовані приміщення з хорошою вентиляційною системою;

- обладнання з небезпечними умовами праці (правильні преси, перетворювачі частоти і т.п.) захищають металеві сіткою;

- ретельно дотримуються встановлених відстаней між обладнанням, а також обладнанням і стінками будівлі. Так, відстань між печами безперервної дії має бути не менше 3 - 4 м, а між печами періодичної дії 1,5 - 3 м.

Відстань між невеликими печами періодичної дії допускається 1 - 1,5 м. При цьому для дотримання норм техніки безпеки гартівні баки не слід розміщувати поблизу проходів та проїздів;

- вказують габаритні розміри обладнання, основні розміри (прив'язку) від обладнання до колони, стін і між обладнанням;

- вказують форму і розміри підвалів (прямків) і їх глибину, схематично позначають штриховими лініями майданчик для складування виробів і допоміжних матеріалів, місця ВТК;

- резервуари для зберігання палива, масел, бак для аварійного зливу масла розташовують за межами ділянки.

- на ділянці слід передбачати не менше двох виходів;

- планування супроводжують специфікацією встановленого обладнання.

На плані ділянки вказують колони з вісями. Розбивочні вісі продовжують за межі планів і на кінцях в колах діаметром 8 мм проставляють їх позначення.

Поздовжні геодезичні осі позначають великими літерами українського алфавіту від низу до верху, а поперечні – арабськими цифрами зліва направо [22].

Місця для розрізів вибирають так, щоб на розрізі було видно виробничі агрегати, які диктують висоту будівлі, підвали, прямки, системи освітлення і аерації цеху, а площини розрізів при перетині з стінами проходили б по прорізів (вікон, дверей, воріт).

Положення площин розрізів відзначають на плані лініями і стрілками, вказують арабськими цифрами (1 - 1, 2 - 2 і т. д.), які проставляють у стрілок ліній розрізів [19].

Устаткування, що потрапляє в розріз, зображують розрізаним, а решта зовнішнім виглядом у вертикальній площині з розмірами.

Розрахунок загальної площі цеху:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{дод}} + P_{\text{прох}} \quad (5.10)$$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна виробнича площа, необхідна для розташування обладнання;

$P_{\text{дод}}$ – додаткова площа необхідна для розміщення технологічного оснащення, деталей до і після термічної обробки, технологічних і допоміжних матеріалів, для організації міжопераційних складів, місць для формування садок і ін.;

$P_{\text{прох.}}$ – площа проходів та проїздів.

Приймаємо $P_{\text{кор}} = 45 \text{ м}^2$ на одиницю обладнання.

$$P_{\text{кор}} = 45 \cdot 7 = 315 \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

Площі ділянки для складування виробів, оснащення $P_{\text{дод}}$ та площа проходів $P_{\text{прох}}$ визначається як частина від $P_{\text{доп.}}$.

$$P_{\text{дод}} = 0,5P_{\text{кор}} = 0,5 \cdot 315 = 157,5 \text{ м}^2$$

$$P_{\text{прох}} = 0,5P_{\text{кор}} = 0,5 \cdot 315 = 157,5 \text{ м}^2$$

тоді $P_{\text{заг}} = 315 + 157,5 + 137,5 = 630 \text{ м}^2$

Довжина цеху визначається за допомогою формули:

$$L = P_{\text{заг}} / B, \quad (5.12)$$

де B – загальна ширина цеху. $B = 18 \text{ м}$

$$L = 630 / 18 = 35 \text{ м}$$

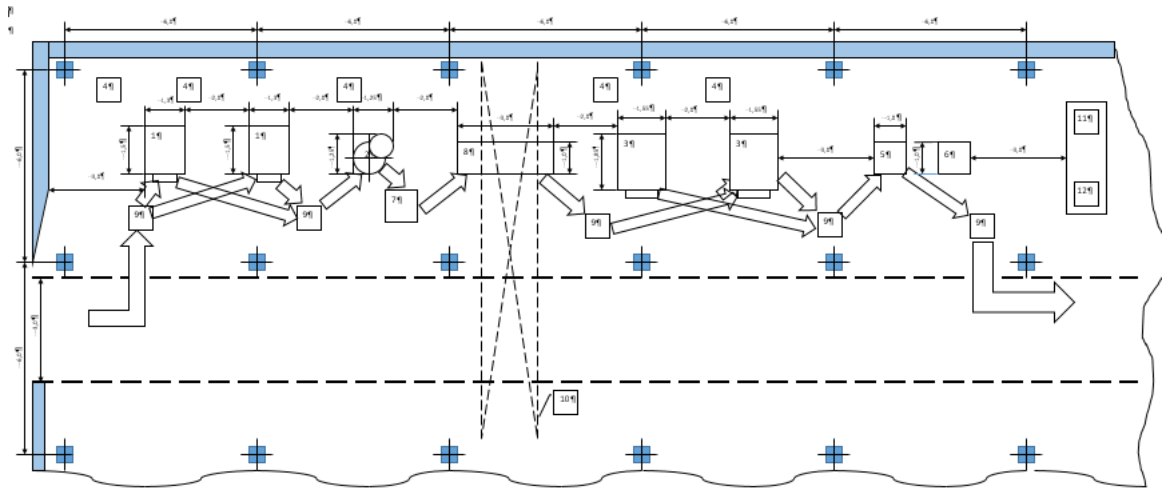


Рисунок 5.4 – Планування термічної дільниці для проведення термічної обробки колінчастих валів БПЛА.

Специфікація обладнання, що застосовується:

Основне обладнання.

1. Піч СНО-3,5.5.3,5/12,5 - 2 шт.
2. Піч СШЗ-4.6/12,5 – 1 шт.
3. Піч СНО-6.10.4/7– 2 шт.
4. Шафа управління.
5. Установка СВЧ
6. Генератор установки СВЧ

Допоміжне обладнання.

7. Гартівна ванна – 1 шт.
8. Мийна машина– 1 шт.
9. Місце для зберігання заготовок – 3 шт
10. Кран-балка – 10 т.

Обладнання контролю.

11. Твердомір ТШ-2.
12. Твердомір ТК-2.

Висновки до розділу 5

У цьому розділі був проведений вибір і розрахунок кількості обладнання термічної ділянки. Вибір обладнання проводився виходячі з річної програми 500000 кг деталей в рік і двозмінну роботу підприємства.

Виконано розрахунок кількості основного, допоміжного та контрольного обладнання.

Згідно будівельних норм, з урахуванням вимог безпеки, умов праці та екологічності виробництва був розроблений план термічної дільниці.

ВИСНОВКИ

У сучасних двигунах виникнення резонансу попереджають застосуванням різних конструктивних елементів в конструкції колінчастого вала і використовують для виготовлення високоміцні сталі і чавуни.

Також однією з причин поломки колінчастого вала може бути знос робочих поверхонь деталі в результаті тертя. Впливу зносу на поверхні колінчастого вала схильні корінні та шатунні шийки і поверхні кріплення моховика і зірочки. Для зменшення впливу зносу в колінчастому валу передбачена подача мастила в зону тертя через спеціальні отвори.

Проведення потентно-літературного пошуку дозволяє зробити висновок, що для виготовлення колінчастого вала БПЛА застосовують конструкційну леговану високоякісну сталь 40ХФА.

В умовах серійного виробництва найбільш раціонально отримувати заготовки колінчастих валів гарячим штампуванням, тому що цей метод наближає форму і розміри заготовки до форми і розмірів готової деталі за рахунок застосування спеціального технологічного оснащення і спеціального устаткування, що знижує відхід металу в стружку при механічній обробці.

При цьому забезпечується вигідне розташування волокон в металі, що підвищує показники міцності деталей.

Заготівля піддається термообробці, це регламентує твердість, знімає внутрішню напругу, що забезпечує більш продуктивну і якісну механічну обробку.

Розглянули хімічний склад і фізико-механічні властивості обраної нами марки сталі 40ХФА для виготовлення колінчастого вала БПЛА.

Вивчено вплив легуючих елементів на фізико-механічні властивості сталі. Наявність хрому в даній марці сталі збільшує міцність і твердість сталі, глибину прогартованості, корозійні властивості сталі.

Наявність ванадію зменшує розмір зерна, збільшує міцність і твердість сталі.

Для проведення експерименту запропоновано використовувати методи мікроскопічного аналізу. Результати експерименту фіксували за допомогою фотографування зразків. У ході проведення досліджень застосовували мікроскопи МІМ - 7.

Було обрано технологію отримання виробу – оптимальну при заданій серійності виробництва та розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі.

Пропонований варіант термічної обробки деталі зі сталі 40ХФА складається з наступних операцій.

Попередня термічна обробка – відпал для зняття напружень після отримання деталей та перед механічною обробкою.

Проводимо при температурі 830-850°C з витримкою 1-2 години, охолодження з піччю до 350-400 °С, далі на повітрі. Твердість 170 НВ.

Остаточна термічна обробка – гартування + відпуск при температурі 810-830 °С, охолодження – олива індустріальна, витримка при температурі гартування 20 хвилин.

Відпуск високотемпературний 550-650 °С, витримка при температурі гартування 30 хвилин. Твердість 30-35 НРС.

Гартування СВЧ корінних і шатунних шийок колінчастого вала при температурі 900 °С, витримка при температурі гартування 1-2 хвилини.

Твердість 48-55 НРС.

Гальванічне хромування корінної шийки, носового конуса і шийки, мотелевої шийки.

Проведено вибір і розрахунок кількості обладнання термічної ділянки. Вибір обладнання проводився виходячі з річної програми 500000 кг деталей в рік і двозмінну роботу підприємства.

Виконано розрахунок кількості основного, допоміжного та контрольного обладнання.

Згідно будівельних норм, з урахуванням вимог безпеки умов праці та екологічності виробництва був розроблений план термічної дільниці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галиахметов, И.Г. Конструкционные материалы центробежных и винтовых компрессоров промышленного применения / И.Г. Галиахметов. – Казань : изд-во «ФЭН», 2004. - 80 с.
2. Шнепп, В.Б. Конструкция и расчет центробежных компрессорных машин / В.Б.Шнепп. - М. : Машиностроение, 1995. - 240 с.
3. Сухотина, А.М. Коррозия и защита химической аппаратуры : справочное руководство; том шестой. Производство хлора и его неорганических соединений / А.М.Сухотина, А.Л. Лабутина. - «Химия», Ленинградское отделение, 1972. - 368 с.
4. Сухотина, А.М. Коррозия и защита химической аппаратуры : справочное руководство; том восьмой. Производство хлора и его неорганических соединений / А.М.Сухотина, А.Л. Лабутина. - «Химия», Ленинградское отделение, 1989. - 395 с.
5. Ульянина, Е.А. Структура и коррозия металлов и сплавов : атлас; справочник / Е.А. Ульянина. - М. : Metallurgia, 1989, - 395 с.
6. Маттссон, Э. Электрохимическая коррозия / Э. Маттссон. - М. : Metallurgia, 1991. - 156 с.
7. Шрейдер, А.В. Сероводородное коррозионное растрескивание и пути защиты от него нефтехимического оборудования / А.В. Шрейдер, В.Г.Дьяков. - М.: ЦНИТЭНЕФТЕХИМ, 1987. – 264 с.
8. Брагін, Б.Ф. Трубопровідний гідротранспорт твердих матеріалів / Б.Ф. Брагін, Г.Н. Делягін, Ф.Д. Маркунтович та ін.; за ред. Б.Ф. Брагіна. – К.: ІСДО, 1993. – т.2. – 327 с.
9. Когаев, В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
10. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.

11. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции : учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. - М.: Стройиздат, 1986. - 320 с.
12. Алехин, В.П. Структурные и энергетические особенности кинетики микропластической деформации в приповерхностных слоях материалов / В.П. Алехин, М.Х. Шоршоров // Трение и изнашивание при высоких температурах. - М. : Наука, 1973. - С. 39-44.
13. Любарский, И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. - М. : Металлургия, 1976. - 176 с.
14. Костецкий, Б.И. Исследование динамического состояния поверхностных слоев при износе металлов / Б.И. Костецкий, Л.И. Бершадский, В.А. Шепельский // Повышение износостойкости и срока службы машин. - К. : УкрНИИТИ, 1970. - С. 98—105.
15. Тарельник, В.Б. Триботехнологія деталей машин: навчальний посібник / В.Б. Тарельник, Є.В. Конопляненко, В.С. Марцинковський, Богдан Антошевський – Суми : МакДен, 2010. – 264 с. ISBN 978-966-2305-00-5.
16. Мазур, В.І. Сплави на основі заліза. Підручник / Мазур В.І., Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 500 с.
17. Борисенко, Г.В., Васильев Л.А., Волошин Л.Г. и др. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г.В. Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г. Волошин и др. - М : Металлургия, 1981. - 424 с.
18. Пат. № 2010886 РФ, МПК С23С10/38, С23С12/00. Способ диффузионного хромирования изделий из углеродистых нелегированных сталей /Г.В. Романенко, В.В. Мамаев. - № 4953961/02; заявл. 20.05.1991; опубл. 15.04.1994. – 3 с.
19. Самсонов, Г.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. - К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
20. Тарельник, В.Б. Способ электроэрозионного легирования / Е.А. Коломыцев, Л.А. Иванов, В.Г. Марченко, В.И. Тарадонов, В.Ф. Руденко,

Ю.А. Серобабин и Г.Н. Анисимов. - № 4484364; заявл. 20.09.1988; опубл. 23.05.92, Бюл. № 19 – 2 с.

21. Богорад, Л. Я. Хромирование : изд. 5 - е, перераб. и доп. - Л. : Машиностроение, 1984. - 97с.

22. Пат. № 2125125 РФ, МПК С25D3/04. Способ электролитического хромирования /В.Ф. Малинин. - № 97121625/02; заявл. 24.12.1997; опубл. 20.01.1999. – 3 с.

23. Бернштейна, М.Л. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник изд. - 3-е изд., перераб. и доп, В 3-х т. Т. I. Методы испытаний и исследования / под ред. М.Л Бернштейна, А. Г. Рахштадта - М.: Металлургия, 1983. 352 с