

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра прикладного матеріалознавства та технології
конструкційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ:
В.о. завідувача кафедри
Гапонова О. П.

дата, підпис

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
за напрямом підготовки 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи: «Вибір матеріалу та маршрутної технології виготовлення рами
квадрокоптера»

Виконав:
студент **Рева Богдан Сергійович**

Керівник:
Дегула Андрій Іванович

Залікова книжка № 18510277

дата, підпис

підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:
Сидоренко Ю.Ю.

оцінка, дата

дата, підпис

Суми
2020

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. П. Гапонова

«__» _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ
БАКАЛАВРА**

Рева Богдан Сергійович

1. Тема проекту (роботи) «Вибір матеріалу та маршрутної технології виготовлення рами квадрокоптера» затверджена Наказом по університету від «07» квітня 2020 р. № 0513-III

2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Розділ 1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів		
	Розділ 2. Огляд літератури		
	Розділ 3. Характеристика матеріалів деталі		
	Розділ 4. Розробка маршрутної технології виготовлення виробу		
	Розділ 5. Вибір обладнання для проведення операцій термічного оброблення		

6. Дата видачі завдання _____

Студент _____
(підпис)

Керівник проекту _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота: складається з 67 сторінок, 5 розділів, 18 рисунків, 8 таблиць, 31 літературних джерел.

Мета роботи – вибір матеріалу та маршрутної технології виготовлення рами квадрокоптера

Завдання:

- проаналізувати умови роботи деталі;
- провести аналіз літературних джерел щодо визначення перспективних способів зміцнення деталі;
- раціонально обрати матеріал для виготовлення деталі;
- розробити технологічний процес, термічну обробку виробу;
- підібрати основне обладнання для термічного відділення та планування термічного відділення.

В ході роботи була обрана марка конструкційної сталі, розроблена маршрутна технологія виготовлення виробу, запропоновано декілька режимів обробки виробу, обране основне обладнання для проведення термічного оброблення, розроблений план ділянки для проведення термічного оброблення деталей.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КВАДРОКОПТЕР, ВИГІН, РАМА, ДЮРАЛЮМІНІЙ, СТАРІННЯ, ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ, ВЛАСТИВОСТІ.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.....	7
1.1 Умови роботи рами квадрокоптера	10
1.2 Причини виходу з ладу виробу.....	12
Висновки.....	16
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	17
2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення виробу	17
2.2 Методи поліпшення	19
Висновки.....	24
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ.....	25
3.1. Вибір матеріалу виробу	25
3.2 Вплив легувальних елементів.....	27
3.3 Методи дослідження матеріалів	29
Висновки.....	36
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ.....	37
4.1 Отримання заготовки виробу	37
Висновки.....	43
РОЗДІЛ 5 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ.....	44
5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі	44
5.2 Структура та властивості матеріалу після термічної обробки.....	46
5.3 Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки	49
5.4 Розрахунок обладнання.....	56
5.5 Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується.....	57
5.6 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці.....	59
Висновки.....	61
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ВСТУП

Актуальність теми розвитку дронів полягає в застосуванні їх для моніторингу природних ресурсів, охорони оточуючого середовища, атмосферних досліджень, сфери медіа та розваг, спортивної фотографії, створення фільмів про живу природу, досліджень, боротьби з локальними витоками газу та хімічних речовин, а також могли б бути запрограмовані щоб діяти як бджоли для штучного запилення рослин.

Для вирішення озвучених завдань найбільш ефективні квадрокоптера в силу надійності, простоти конструкції, стабільності, компактності і маневреності. Вони можуть використовуватися як недороге і ефективний засіб для отримання фото і відео зображень з повітря, в тому числі і інфрачервоних знімків, а також знімків, отриманих з використанням тепловізора, і інших мультиспектральних знімків.

Метою роботи є розроблення технології виготовлення та термічної обробки рами квадрокоптера зі сплаву D16T.

До завдань досліджень відносяться наступні: проведення аналізу літературних джерел (підручників, тез доповідей, наукових публікацій, статей), з метою вивчення результатів, які стосуються вдосконалення вибору матеріалів, зменшення впливу дефектів, розроблення маршрутної технології виготовлення та термічної обробки деталі.

Методи досліджень. Макро- та мікроаналіз, вимірювання твердості за методами Брінелля.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

Безпілотні літальні апарати є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання і створення нових робочих місць. Термін «безпілотний літальний апарат» включає як великі літаки, аналогічні за розміром і складністю пілотованому літаку так і невеликі електронні пристрої для персонального використання.[1]

Сьогодні технології з використанням дронів застосовуються в агрогосподарствах для точного, своєчасного і ефективного внесення добрив та пестицидів, для інспектування безпеки інфраструктурних об'єктів, таких як залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, автодороги. Впроваджуються технології попередження катастроф та пом'якшення їх наслідків, наприклад, обльоти затоплених територій та підтримка пожежогасіння. [2]

Актуальність теми розвитку дронів полягає в застосуванні їх для моніторингу природних ресурсів, охорони оточуючого середовища, атмосферних досліджень, сфери медіа та розваг, спортивної фотографії, створення фільмів про живу природу, досліджень, боротьби з локальними витоками газу та хімічних речовин, а також могли б бути запрограмовані щоб діяти як бджоли для штучного запилення рослин.[3]

Для вирішення озвучених завдань найбільш ефективно квадрокоптера в силу надійності, простоти конструкції, стабільності, компактності і маневреності [4]. Вони можуть використовуватися як недороге і ефективний засіб для отримання фото і відео зображень з повітря, в тому числі і інфрачервоних знімків, а також знімків, отриманих з використанням тепловізора, і інших мультиспектральних знімків [5].

З вище сказаного випливає, що на конструкцію квадрокоптера накладені деякі обмеження [6]. Зокрема, рама повинна мати достатню міцність при

порівняно невеликій вазі і повинна забезпечувати виконання завдання навіть в поганих погодних умовах.

Крім цього, повинна забезпечуватися достатня вантажопідйомність для підйому апаратури в повітря, рама повинна мати достатні габаритами для закріплення такої апаратури.[5]

Необхідне вдосконалення законодавства а також зусилля з розробки та впровадження технологій, для того щоб інтегрувати дрони у загальний простір цивільної авіації, та підвищити рівень впевненості у безпеці та дотриманні прав приватності.

Враховуючи різноманіття БПЛА важливою є їх класифікація. На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик існуючих безпілотних літальних апаратів запропоновано їхню класифікацію, за основними ознаками [3]:

- використання;
- тип системи керування;
- правила польоту;
- клас;
- тип;
- тип крила;
- спосіб зльоту/посадки;
- тип двигуна;
- паливна система;
- тип паливного бака;
- кількість використань;
- категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії);
- радіус дії;
- висота;
- функціональне призначення.

Розглянемо БПЛА типу «коптер». Коптери класифікуються за кількістю приводних двигунів. Існують три-, квадро-, гексо-, окто- та мультикоптери (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Квадрокоптер, гексокоптер та октокоптер відповідно [3]

Найбільш поширеними коптерами для розваг та аматорської відеозйомки є квадрокоптери. Також вони є найбільш поширеними для моделювання.

Проведений на базі закордонної літератури і публікацій [22] аналіз показав, що найчастіше в якості центральної платформи для сполучення променів використовується комбінація листових деталей. Як матеріали використовуються скло або вугілля пластики, листовий алюміній, деревно-стружкові вироби, стандартні пластики типу PLA і ABS, і ін. Для променів використовується досить широкий спектр конструкторських рішень:

1. Комплексна конструкція з листових матеріалів, кілька складна в порівнянні з іншими конфігураціями, але має більшу міцністю, проста в ремонті і виготовленні.
2. Конструкція складної форми з пластика (лиття, 3D друк) не вимагає попереднього складання, але вимагає повну заміну при поломці.
3. Профільна конструкція круглого або квадратного перетину з платформою для установки двигуна на кінці. Найбільш проста в технічному обслуговуванні але менш міцна.
4. Цільно-литі з пластика або композиту конструкції відрізняються більшу міцність і обтічність, проте дуже трудомісткі у виготовленні і ремонті.

Проаналізувавши зазначені варіанти, було прийнято розробляти раму на основі листових матеріалів. Її переваги [6]:

1. Листові композитні матеріали і прокат широко випускаються промисловістю;
2. Обробку заготовок легко проводити в гнучких виробничих системах (ГПС) на верстатах з ЧПУ (фрезерний, лазерний або гідроабразивний розкрій). При цьому, всі деталі виготовляються на одному обладнанні за одну установку;
3. Свобода вибору зручної для подальшої експлуатації геометричній конфігурації;
4. При правильно підібраних матеріалах, геометрії і з'єднань, можна отримати міцність вище, ніж в інших реалізаціях.

Основні недоліки - витрати часу на складання (в порівнянні з цільно-литими рамами) і застосування великої кількості різьбових з'єднань (збільшення вартості).

1.1 Умови роботи рами квадрокоптера

Одним з ключових чинників працездатності є забезпечення необхідної міцності, тобто здатності витримувати навантаження без руйнування [3]. В даному випадку було важливо забезпечити міцність конструкції не тільки в стандартних умовах експлуатації, але і в умовах непередбачених ситуацій, найбільш несприятлива з яких - перевантаження в результаті навантаження надмірно великим додатковою вагою і, як наслідок, можлива поломка і вихід рами з ладу. Для моделювання такої ситуації було запропоновано докласти в центрі конструкції нескінченну масу. В цьому випадку, рама не може піднятися в повітря і працює на вигин, у зв'язку з чим можна замінити нескінченну масу в центрі на закладення. Практично, це уособлює те, що променю не дають зрушити в горизонтальній площині інші промені (так як на них діють такі ж навантаження, а конструкція симетрична. У даній ситуації, одержувані навантаження на промінь будуть максимально можливими, оскільки вони обмежені тягою на кінці променя, в будь-якій реальній ситуації навантаження будуть набагато меншими. А значить, при забезпеченні міцності рами в модельованій ситуації, автоматично забезпечується і міцність в будь-якому практичному застосуванні.[5]

Схематичне зображення конструкції рами і діючих на неї в процесі експлуатації силових факторів наводиться на (рис. 1.1). На раму нанесені підйомна сила $F_{\text{тяг}}$, сила тяжіння $m_{\text{двг}}g$ від гвинтів і електродвигунів, а так же сила тяжіння $m_{\text{нагр}}g$ від використовуваної апаратури і батарей. Як спрощення передбачається, що маса від них зосереджена строго в центрі всієї конструкції.[10]

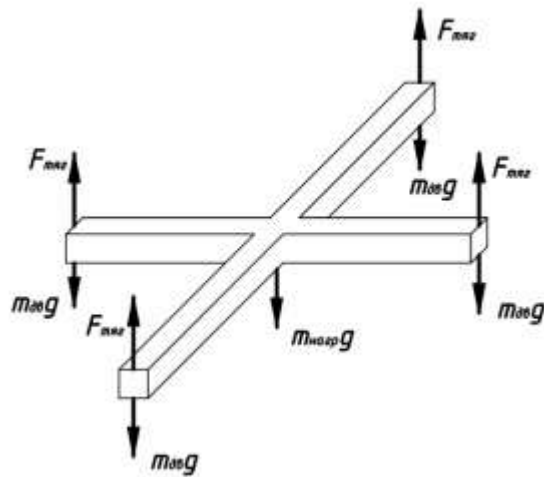


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення навантаження рами [10]

Друге припущення - рама і навантаження, до неї, вважаються ідеально симетричними. У зв'язку з цим було вирішено розглядати один промінь з зусиллями і чверть центральної платформи з відповідною частиною центральної навантаження, а так само утримують факторами від інших частин (замінюються на закріплення-закладення, що також є аналог нескінченної маси не дає злетіти) (рис. 1.2).

Третє припущення - всі навантажуючі силові фактори зберігають свій напрямок і після виникнення деформацій (ідеалізація сил).

І, нарешті, четвертим і п'ятим припущеннями є, відповідно, гіпотези про суцільності і однорідності матеріалу. останні три допущення є стандартними припущеннями опору матеріалів [20].

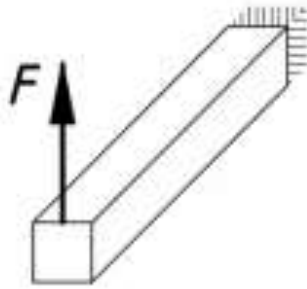


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема аналізу міцності [10]

1.2 Причини виходу з ладу виробу

Розрахунок на міцність проводився в програмі кінцево-елементного аналізу Ansys (з використанням ANSYS Workbench). Даний програмний продукт дозволяє автоматизовано провести всі розрахунки, пов'язані з міцністю розробленої конструкції. При цьому можливо використовувати в якості основи зроблену заздалегідь тривимірну модель розраховується об'єкта. Розрахунок проводився Кінетостатическій. Задаються використовувані в проекті матеріали (в тому числі і змінювані, для порівняння).[5]

Характеристики даних матеріалів були внесені в базу даних бібліотеки в блоці Engineering Data.

Після підготовчих операцій, в програму була імпортована заздалегідь спроектована тривимірна модель променя в масштабі 1:1. Програмне забезпечення ANSYS дозволяє автоматично відстежити дотичні деталі конструкції і призначити для них сполучення типу «контакт з тертям». В даному випадку це змінювати не потрібно, оскільки гвинти зі стійками встановлюються з зазором і працюють на зрушення, також як і інші дотичні і встановлюються один в одного елементи конструкції. потім модель була розбита на кінцеві елементи методом замітання, якість сітки 71%. при моделюванні описаної раніше ситуації, тривимірна модель конструкції променя рами повинна бути закріплена по площинах розрізу центральної платформи з виключенням всіх можливих рухомих частин. Була задана вертикальна сила на осі установки повітряного гвинта і електродвигуна, що дорівнює сумі максимальної тяги однієї гвинто-моторної групи і сили тяжіння, що діє на неї (тяга зі статті [6]):

$$F = F_{\text{тяги}} - m_{\text{дв}} * g = m_{\text{тяги}} * g - m_{\text{дв}} * g = 0.6425 * 9.81 - 0.0651 * 9.81 = 5.6644 \text{ Н}$$

Результати проведеного розрахунку на міцність (максимальні значення величин) по матеріалами наведені в таблиці 1.1. Програмна похибка проведених обчислень склала 0,2%.

Таблиця 1.1.

Результати розрахунку за матеріалами в ПО ANSYS [6]

Основний матеріал	Повна деформація, мм	еквівалентна пружна деформація, мм / мм	еквівалентне навантаження, МПа
Склотекстоліт	0,51	0,0017	8,63
Дюралюміній	0,13	0,0007	8,60
Оргскло	2,77	0,0038	8,21

Оцінити результат розрахунку можна по граничним допустимим характеристикам для кожного з призначених матеріалів, що і було зроблено. Згідно ГОСТ, для призначеної марки склотекстоліти величина межі міцності становить 157 МПа. Згідно результатам розрахунку, максимальне навантаження склало 8,63 МПа. Це означає, що запас міцності по склотекстоліти дорівнює:

$$[n]_{\text{КАСТ-В}} = \sigma_{\text{пред}} / \sigma_{\text{max}} = 157 / 8.63 = 18.19$$

Для дюралюмінію Д16Т становить 320 МПа, а межа міцності - 450 МПа. Оцінка ведеться за межею текучості, так як при досягненні цієї точки почнеться руйнування конструкції. Згідно з результатами розрахунку, максимальне навантаження 8,60 МПа. Значить, запас міцності в цьому випадку дорівнює [18]:

$$[n]_{\text{Д16Т}} = \sigma_{\text{пред}} / \sigma_{\text{max}} = 320 / 8.60 = 37.21$$

Для листового оргскла СО-95-К виконаного з ПММА межа плинності становить 40 МПа, а межа міцності - 70 МПа. Згідно з результатами розрахунку, максимальна напруга 8,21 МПа. Значить, запас міцності в цьому випадку дорівнює:

$$[n]_{CO95K} = \sigma_{\text{пред}} \sigma_{\text{max}} = 40 \cdot 8.21 = 4.87$$

Крім розгляду параметрів міцності одержуваної конструкції, також потрібно враховувати як масу конструкції, так і максимальні деформації в ній при його використанні. Квадрокоптер із занадто важкою рамою просто не зможе злетіти, а надмірне деформації в променях здатні погіршити його аеродинамічні характеристики [24]. Зведену таблицю результатів розрахунку на міцність можна бачити нижче (табл. 1.2).

Діаграма розподілу напружень наведена на (рис. 1.3). З ним, навіть в самій несприятливу екологічну ситуацію розроблена конструкція рами буде забезпечувати необхідну міцність і не зруйнується, перебуваючи весь час у межах пружності.

Таблиця 1.2.

Результати аналізу розрахунку на міцність,
деформації та ваги конструкцій [29]

Основний матеріал	Повна деформація, мм	Запас міцності	Повна вага конструкції, г
Склотекстоліт	0,51	18,19	859
Дюралюміній	0,13	37,21	1282
Оргскло	2,77	4,87	638

Виходячи с наведених даних можливо зробити висновок, що даний виріб працює в умовах механічних навантажень, саме тому для рами потрібно підібрати матеріал який матиме самі збалансовані характеристики.

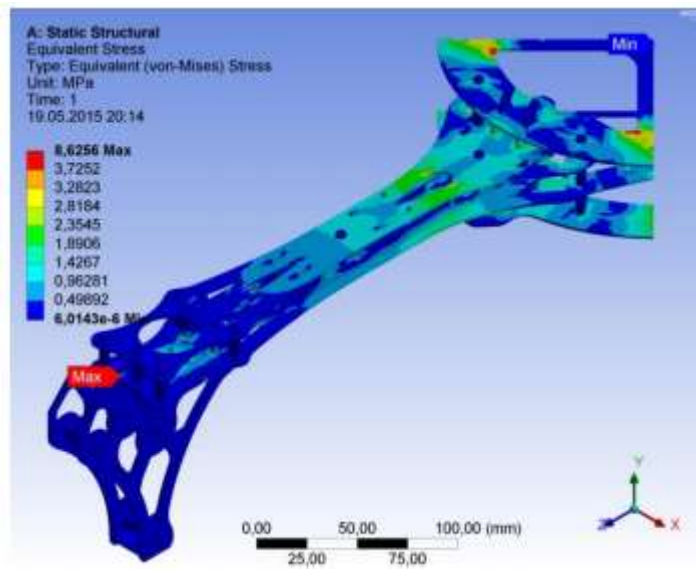


Рисунок 1.3– Еквівалентні навантаження рами [29]

СумДУ

Висновки

Безпілотні літальні апарати є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання і створення нових робочих місць.

Актуальність теми розвитку дронів полягає в застосуванні їх для моніторингу природних ресурсів, охорони оточуючого середовища, атмосферних досліджень, сфери медіа та розваг, спортивної фотографії, створення фільмів про живу природу, досліджень, боротьби з локальними витоками газу та хімічних речовин, а також могли б бути запрограмовані щоб діяти як бджоли для штучного запилення рослин.

З вище сказаного випливає, що на конструкцію квадрокоптера накладені деякі обмеження. Зокрема, рама повинна мати достатню міцність при порівняно невеликій вазі і повинна забезпечувати виконання завдання навіть в поганих погодних умовах.

Крім цього, повинна забезпечуватися достатня вантажопідйомність для підйому апаратури в повітря, рама повинна мати достатні габаритами для закріплення такої апаратури.

Необхідне вдосконалення законодавства а також зусилля з розробки та впровадження технологій.

Одним з ключових чинників працездатності є забезпечення необхідної міцності, тобто здатності витримувати навантаження без руйнування.

Виходячи с наведених даних можливо зробити висновки, що даний виріб працює в умовах механічних навантажень, саме тому для рами потрібно підібрати матеріал який матиме самі збалансовані характеристики.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Технології виготовлення та методи зміцнення виробу

Виходячи з вище сказаного, технологія виготовлення рами квадрокоптера являє собою збирання з окремих частин, отриманих за рахунок вирізання з листового металу. Однак є велика кількість дефектів котрі можливі в листовому прокаті [8].

У злитках, зазвичай вихідної заготівлею для виробництва деформованих напівфабрикатів, часто зустрічаються характерні для литого матеріалу дефекти:

- 1) різнозернистість;
- 2) ліквіційна неоднорідність;
- 3) усадочна і газова пористість;
- 4) окисні і шлакові включення.

Якість алюмінієвих напівфабрикатів багато в чому залежить від вихідної структури зливка, яка визначається формою і розміром зерна. Зерно в зливку є дендрит будова, якого і розмір визначається умовами кристалізації. між гілками дендритів розташовуються виділення інтерметалідних фаз, які можуть бути дрібними або великими в залежності від товщини гілок дендритів. Чим тонше гілки, тим дрібніше інтерметаліди. Розмір зерна в зливку залежить від багатьох факторів. Чим більше температура перегріву розплаву при литті і чим вище його чистота, тим крупніше зерно. Подрібнення зерна сприяє зниженню температури розплаву і введення в сплав добавок тугоплавких металів, що утворюють дрібнокристалічні виділення.

Вплив структури зливка на властивості деформованих напівфабрикатів пояснюється тим, що виділилися при кристалізації інтерметалідним з'єднання при деформації дробляться, але їх кінцевий розмір, впливає на механічні властивості, залежить від розміру цих з'єднань в литій структурі. [20]

Реальні умови кристалізації злитків у виробництві ведуть до утворення нерівноважної литої структури. її особливості полягають в наступному:

- 1) легуючі елементи і домішки нерівномірно розподілені по обсягом дендритних структури, периферійні зони збагачені елементами, що знижують

температуру плавлення алюмінію (Si, Zn, Mg, Si, Mn) і збіднена елементами, що підвищують його точку плавлення (Cr, Zr, Ti);

2) в литому металі можуть бути присутніми фази, яких не повинно бути при рівноважній кристалізації, наприклад, фази, що входять до склад нерівноважної евтектики;

3) фази, що утворюються в результаті евтектичної реакції, розташовуються по межах дендритів, а взаємодіють з алюмінієм по перитектичній реакції - в центрі зерна.

Хімічний склад литого металу також неоднаковий як по перетину зливка, так і в межах одного зерна. Це явище називається зональною і дендритною ліквідацією і також є результатом нерівноважної кристалізації. На поверхні зливка зазвичай утворюється тонкий шар з дуже високим вмістом легуючих елементів, що є результатом зворотного зональної ліквідації. Він усувається фрезеруванням поверхні зливка. дендритна ізоляція може бути усунена гомогенізаційним відпалом.[26]

Усадочна і газова пористість в незначних розмірах може заварюватися при гарячій пластичній деформації, однак великі пори, а також окисні і шлакові включення часто є причиною внутрішніх розшарувань в готових напівфабрикатах. Розміри їх можуть змінюватися від часток міліметра до декількох сантиметрів і є невиправним браком.

Саме тому для якісного виготовлення виробу потрібно проводити термічну обробку та інші види для запобігання браку.

Обробка тиском алюмінієвих сплавів викликає зміни механічних, фізичних і хімічних властивостей, що є наслідком тих структурних перетворень, які описані вище. При холодній пластичній деформації властивості міцності зростають, тобто підвищується межа міцності, границя текучості і твердість (рис. 2.1). При цьому відносне подовження і відносне звуження зменшуються. Зміцнення залежить в першу чергу від температури, ступеня деформації та хімічного складу сплаву. Крім того, велику роль відіграє структурний стан перед деформацією, спосіб деформування. [12]

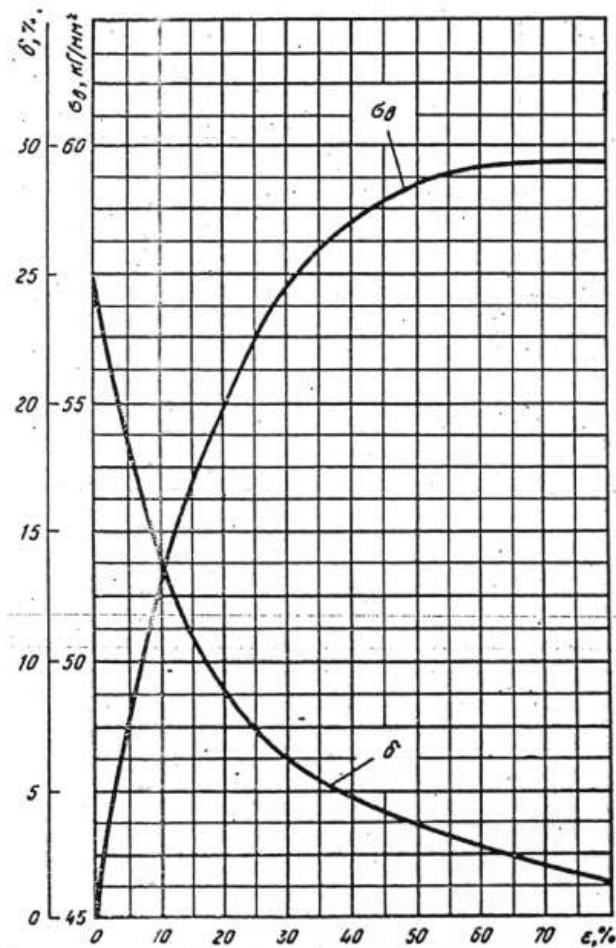


Рисунок 2.1– Вплив ступеня деформації на механічні властивості сплаву Д16Т [12]

2.2 Методи поліпшення

Термічна обробка одна з найважливіших стадій технологічного процесу виробництва напівфабрикатів. Її застосовують як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей металу між операціями обробки тиском і як остаточну для додання металу комплексу механічних, фізичних і хімічних властивостей. [13]

Для алюмінієвих сплавів найбільше застосування мають три види термообробки: відпал, загартування і старіння. [17]

Відпал - термічна обробка, яка полягає в нагріванні металу або сплаву до певної температури, витримці і подальшому, як правило, повільному охолодженні. Він призначений для приведення структури металу в стійке рівноважний стан. Не рівноважний стан структури може бути наслідком лиття або пластичної деформації. Тому в залежності від призначення відпал поділяють на

гомогенізований, рекристалізаційний і відпал для зняття зміщеного стану, отриманого в результаті термічної обробки.

Відпал застосовується для підвищення пластичності і зниження міцності сплавів з метою полегшення подальшої холодної обробки тиском, для усунення залишкових напруг, що викликають викривлення деталей а також для підвищення їх корозійної стійкості.

Температура нагріву, тривалість витримки, швидкість нагріву і охолодження вибираються в залежності від природи сплаву і вимог що пред'являються до рівня механічних властивостей сплаву. Як правило, бажано досягати максимально високій швидкості нагрівання деталей і напівфабрикатів при відпалі, щоб уникнути зростання зерна. Однак при нагріванні тонкостінних деталей складної форми швидкість нагрівання слід обмежувати, щоб уникнути жолоблення, викликаного нерівномірним нагріванням.[17]

Гартування і старіння застосовуються тільки для термічно зміцнюючи алюмінієвих сплавів. Гартування необхідна для отримання пересиченого твердого розчину легуючих елементів в алюмінії, що створює можливість подальшого підвищення міцності при старінні. Після гартування сплави, володіючи підвищеною міцністю по порівняно з відпаленого станом, зберігають високу пластичність.

Процес старіння полягає у витримці загартованого сплаву при температурах, при яких відбувається розпад пересиченого твердого розчину і виділення з нього надлишкових фаз.

Загартований сплав, що знаходиться в метастабільному стані, переходить в більш стійке, але далеко не рівноважний стан. Міцність і твердість сплаву після старіння досягає своїх максимальних значень.

Гартуванням називається термічна обробка, яка полягає в нагріванні сплаву до заданої температури, витримці і наступному швидкому охолодженні з метою отримання метастабільного стану, тобто отримання пересичені твердого розчину на основі алюмінію, здатного до подальшого зміцнення при старінні.

При нагріванні під гартування протікає процес дифузійного переходу легуючих елементів з надлишкових фаз в твердий розчин, викликає розчинення

надлишкових фаз, утворених в результаті взаємодії легуючих елементів (Si, Mg, Zn, Si, Ti) один з одним і з алюмінієм. Тривалість витримки при нагріванні під загартування обумовлюється як природою, розміром і характером розподілу розчинних надлишкових фаз в твердому розчині на основі алюмінію, так і швидкістю розчинення, яка визначається коефіцієнтом дифузії легуючих елементів в алюмінії, підвищується з ростом температури. Чим вище температура, тим більше швидкість розчинення.[14]

Природне старіння дюралюмінію полягає в вилежуванні сплаву після гарту протягом 4-5 діб при кімнатній температурі. В цей час в твердому розчині протікають дифузійні процеси, пов'язані з виділенням зон Гюньє-Престона [15], збагачених атомами міді і когерентно пов'язаних з ґратками алюмінію. При цьому не відбувається знеміцнення сплаву і при будь-якому збільшенні тривалості йому притаманний певний комплекс механічних і фізичних властивостей (тимчасовий опір розриву 440 МПа, відносне подовження 15-20%).

При підвищенні температури старіння до 150 °С і вище (штучне старіння) в місцях з підвищеною концентрацією міді формуються зміцнюючі інтерметалідні фази. При збільшенні температури старіння або часу витримки відбувається помітне зростання зміцнюючих фаз і їх коагуляція і знеміцнення сплаву.

Однією з різновидів деформаційно-термічного зміцнення сплаву Д16 є застосування імпульсної (вибуховий) обробки в поєднанні з загартуванням і старінням сплаву [16]. Максимальний зміцнюючий ефект при цьому більший після штучного старіння при температурах 120-150 °С обробленого ударними хвилями сплаву Д16Т (рис. 2.2).

Встановлено, що в залежності від ступеня пластичної деформації дюралюмінієвого сплаву легуючі елементи Si і Mg можуть як виділяти з α -твердого розчину, так і розчинятися в ньому, що супроводжується відповідно утворенням і руйнуванням зміцнюючих зон. При цьому зони Гюньє-Престона і інтерметалідні фази виділяють переважно на дефектах кристалічної решітки і рівномірно розподілені за обсягом зерна.

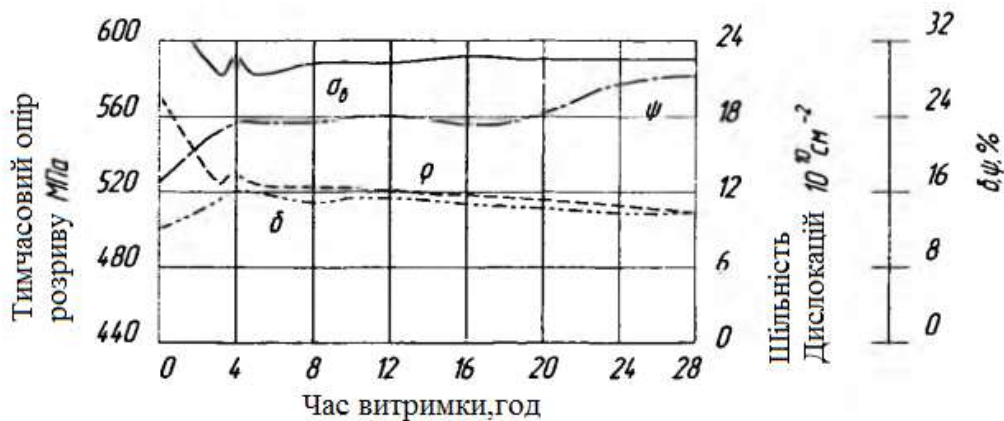


Рисунок 2.2– Властивості сплаву Д16Т після старіння при 150 °С [16]

Аналогічна картина спостерігається при старінні сплаву Д16 при температурі 175 °С протягом 12-14 год (рис.2.3). при більшому часу витримки тимчасовий опір розриву монотонно падає, незначно зменшується відносне подовження (рис. 2.3).

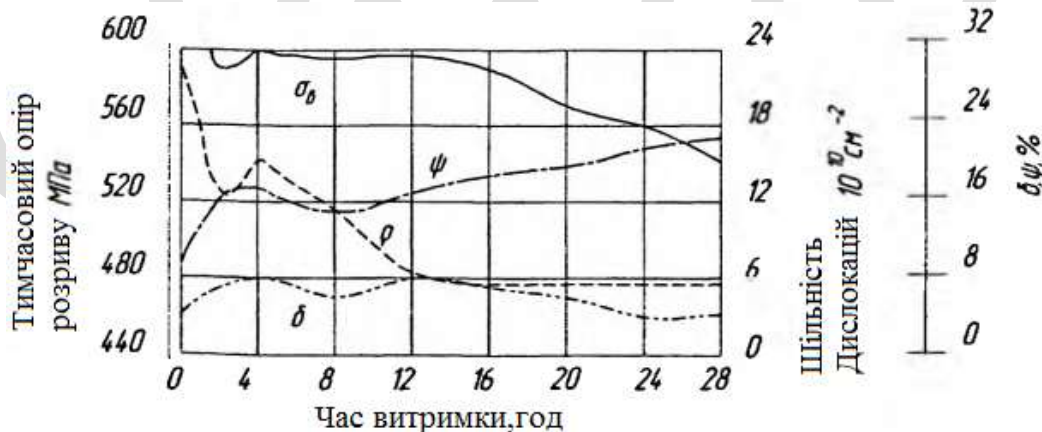


Рисунок 2.3– Властивості сплаву Д16Т після старіння при 175 °С [16]

Старіння сплаву Д16 при температурі 200 °С (рис. 2.4) призводить до різкого зниження σ_b , пов'язаного як зі зменшенням щільності дислокацій, так і з утворенням і зростанням S і θ -фаз, максимальне значення яких відзначається при $t = 2-3$ ч. При збільшенні часу витримки до 10 год і більше відбувається стабілізація властивостей матеріалу, чисельні значення яких відповідають властивостями сплаву Д16 після гарту і штучного старіння:

$$\sigma = 470-490 \text{ МПа}, \delta = 4-6\%.$$

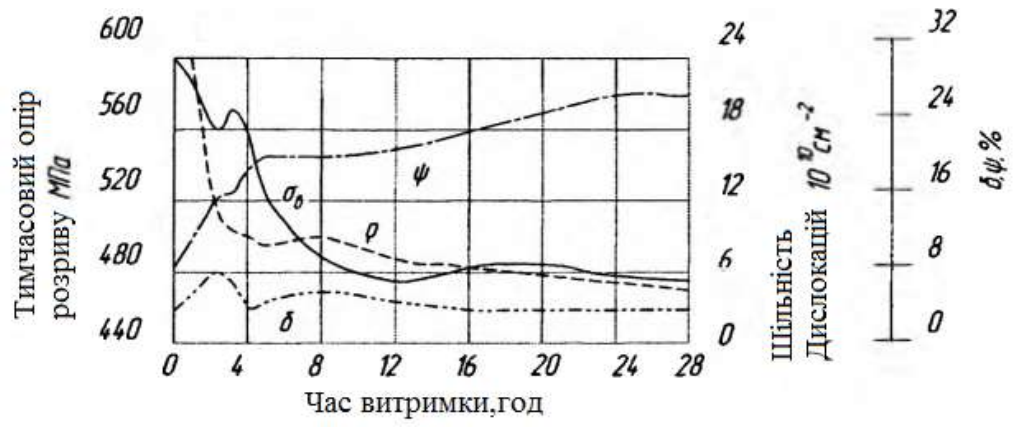


Рисунок 2.4– Властивості сплаву Д16Т після старіння при 200 °С [16]

СумДУ

Висновки

Виходячи з вище сказаного, технологія виготовлення рами квадрокоптера являє собою збирання з окремих частин, отриманих за рахунок вирізання з листового металу. Однак є велика кількість дефектів котрі можливі в листовому прокаті.

Якість алюмінієвих напівфабрикатів багато в чому залежить від вихідної структури злитка, яка визначається формою і розміром зерна. Розмір зерна в зливку залежить від багатьох факторів. Чим більше температура перегріву розплаву при литті і чим вище його чистота, тим крупніше зерно.

Саме тому для якісного виготовлення виробу потрібно проводити термічну обробку та інші види для запобігання браку.

Перспективними методами поліпшення є обробка тиском алюмінієвих сплавів. При холодній пластичній деформації властивості міцності зростають, тобто підвищується межа міцності, границя текучості і твердість.

Також до таких методів відноситься обробка вибухом з подальшим виморочним режимом старіння.

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛІ

3.1. Вибір матеріалу виробу

В процесі проектування було вирішено використовувати в якості деталей рами листові матеріали. В якості таких можуть бути використані:

- пластики (напр. Листи оргскла);
- композитні матеріали (склопластики і вуглепластики);
- металопрокат (алюмінієвих сплавів, чорний прокат і ін.);
- деревно-стружкові вироби (напр. Фанера).

Провівши аналіз характеристик зазначених вище матеріалів [2], а також аналіз використання їх в уже існуючих виробах [13]. Він показав, що:

1. деревно-стружкові матеріали застосовуються в основному тільки на стадії прототипування;
2. металопрокат є прийнятним і досить часто вживаним рішенням (В основному алюмінієві сплави);
3. пластикові матеріали крихкі і використовуються в відповідальних конструкціях набагато рідше, в порівнянні з металами;
4. композитні матеріали - другий широко використовуваний матеріал для виготовлення рам, і використовується також часто, як і листи алюмінію (Підвищена міцність при малому значенні маси).

У підсумку, для подальшого виготовлення рами було обрано листовий дюралюміній Д16Т по ГОСТ 4784-97 1,5 мм;

Вибір же матеріалу для стандартних кріпильних виробів (стійки і гвинти) проводився виключно з міркувань найменшої маси. Тому матеріалом для них був призначений нейлон, як володіє меншою щільністю в порівнянні з металевими матеріалами.[18]

Дюралюмінієвий сплав Д16Т відноситься до найбільш затребуваним. Його хімічний склад суворо регламентує ГОСТ 4784-97(таблиця 3.1.).

Хімічний склад в% матеріалу Д16 [19]

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей	-
до 0.5	до 0.5	0.3 - 0.9	до 0.1	до 0.15	90.9 - 94.7	3.8 - 4.9	1.2 - 1.8	до 0.25	прочие, каждая 0.05; всего 0.15	Ti+Zr < 0.2

На механічні властивості металу Д16Т (таблиця 3.2.) може зробити негативний вплив надмірний вміст заліза. Воно не розчиняється в алюмінії, а кристалізується у вигляді негнучких пластин, впливаючи істотно на пластичність і міцність. Домішки заліза здатні також знизити максимальний рівень міцності, що досягається при старінні, за рахунок зв'язування міді. Тому ГОСТ жорстко обмежує вміст заліза в дюралюмінії часткою, що не перевищує 0,5-0,7%.

Таблица 3.2.

Механічні властивості Д16Т [19]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	d_5 , %
412	284	10

Так що сплав з алюмінію Д16Т спочатку загартований, а потім природно зістарений для додання максимальної міцності. Його відрізняє підвищена пластичність, легкість в механічній обробці. За допомогою плакірування можливо поліпшити корозійну стійкість і зварюваність металу.[18]

Металопрокат, який з нього отримують, має:

- високою міцністю;
- стабільною структурою;
- підвищену опірність найменшій деформації при експлуатації;
- малу вагу;
- легкість обробки на верстатах, фрезерувальних або токарних.

У цьому полягає його головна перевага.

Саме через своїх чудових властивостей цей дюраль знайшов широке поширення в самих різних виробничих сферах: в машинобудуванні, паливної, хімічної, суднобудівної, авіаційної промисловості, а також в будівництві. З Д16Т виготовляють транспортні деталі, дорожні знаки, вуличні таблички і обшивку. Він є і в конструкціях суден, труб для буріння, космічних та інших літальних апаратів.

Тим більше, що для виробів, виготовлених зі сплаву Д16Т, не потрібно термообробки додатково, і розмір заготовки не зменшиться після гартування.

3.2 Вплив легувальних елементів

Крім основних легуючих елементів, в дюралюмінії присутні невеликі кількості домішок. Деякі з них (залізо і кремній) мають на вихідному первинному алюмінії, інші (цинк і нікель) потрапляють в сплави при переплаву відходів, треті (берилій, титан і цирконій) вводять в сплави спеціально в якості технологічних добавок.

У сплавах типу дюралюмін залізо утворює сполуки, які надають окрихчення. Залізо з'єднується з міддю і зменшує кількість розчинної міді, яка упрочняєт сплав при старінні.

Кремній в цих сплавах збільшує схильність до утворення тріщин при зварюванні і лиття, особливо великих злитків, знижує пластичність заклепок з усіх сплавів. Для нейтралізації шкідливого впливу кремнію при лиття і зварюванні вміст заліза в сплавах має в 1,1-1,5 рази перевищувати вміст кремнію. Для отримання високої пластичності литого і деформованого матеріалу, а також для підвищення в'язкості руйнування вміст заліза і кремнію має бути мінімальним.

Цинк у невеликі кількості (0,1-0,5%) не впливає на механічні властивості при кімнатній температурі і значно знижують їх жароміцність. Домішка цинку в кількості 0,1-0,3% збільшує схильність до утворення тріщин при лиття і зварюванні.

Берилій в невеликих кількостях (близько 0,005%) оберігає сплави з високим вмістом магнію (1,5% і більше) від окислення при литті і термічній обробці, не впливаючи на механічні властивості як при кімнатній, так і при

підвищених температурах. Берилій входить до складу окисної плівки, що складається в цих сплавах головним чином з окису магнію, сприяє її зміцненню і, отже, зменшує подальше окислення сплаву. Більш високий вміст в сплавах берилію (0,1- 0,5%) вимагає особливих запобіжних заходів при плавці і лиття з-за його токсичності.

Хром, як і марганець, підвищує температуру рекристалізації сплавів. Виділення часток, що містять хром, мають голчасту форму і в більшій мірі, ніж марганцевисті, знижують характеристики руйнування. Хром в присутності марганцю, заліза і титану може випадати у вигляді грубих складових фази CrAl_7 . У промислові сплави типу дюралюмін хром не додають.

Титан, в алюмінієвих сплавах застосовується в основному для подрібнення зерна литого металу. Природу здатності титану подрібнювати лите зерно пояснюють утворенням в розплаві зародків, що слугують центрами кристалізації. За даними одних авторів, ці зародки - алюмінідів титану, за даними інших авторів, - карбід титану. У присутності бору такими зародками будуть частинки боріда титану.

Цирконій в невеликих кількостях, так само як і титан, є модифікатором. Додаток цирконію практично не впливає на властивості міцності холоднодеформованих напівфабрикатів із сплавів, що містять марганець, і дещо підвищує їх у сплавів без марганцю. Цирконій аналогічно марганцю, але при значно меншому вмісті підвищує температуру рекристалізації сплаву, що сприяє отриманню нерекристалізованої структури і високої міцності гарячепресованих напівфабрикатів.

Вплив цирконію як антирекристалізатора в сплаві Д16 при утриманні менше 0,1% незначно. При концентрації цирконію більше 0,15% відзначається поява первинних інтерметаллідів з цирконієм, збільшується кількість дефектів, виявлених ультразвуковим контролем. Цирконій знижує опір корозії під напругою. Невеликі кількості бору (0,005-0,01%) подрібнюють зерно алюмінію і його сплавів. Ефект модифікування збільшується в присутності невеликих кількостей титану (0,01%). Ці два елементи утворюють з'єднання TiB_2 .

3.3 Методи дослідження матеріалів

Основними методами контролю деталей, що пройшли термічну обробку, є:

- а) візуальний огляд поверхні деталей;
- б) рентгено просвічування;
- в) перевірка геометричних розмірів;
- г) визначення механічних властивостей;
- д) металографічний аналіз.

Зразки, що характеризують якість деталей даної плавки, повинні піддаватися термічній обробці разом з деталями.

У разі невідповідності механічних властивостей вимогам технічних умов деталі можуть бути піддані вторинній термічній обробці. При незадовільних результатах випробування після повторної термічної обробки виробляють випробування на зразках, вирізаних з деталі. Загальна кількість термообробок допускається не більше трьох. [34]

Найбільш типові види дефектів при термічній обробці деталей і методи їх запобігання або усунення наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Типові види дефектів при термічній обробці деталей і методи їх запобігання або усунення. [17]

Вид дефекта	Причина утворення дефекту	Метод усунення дефекту
Викривлення	1. Нерівномірне і швидке нагрівання.	1. Застосовувати відповідні пристосування для нагріву і гартування деталей.
	2. Незадовільна укладання деталі на піддон нагрівальної печі.	2. Для великих виливків циліндричної форми застосовувати хрестовини або скріплюють планки.
	3. Пластична деформація при дії залишкових напружень, що викликають жолоблення деталей при тривалому їх зберіганні на складі.	3. Змінити спосіб гартування, застосувавши гарячі тиглі охолодження. Піддавати деталі рихтуванню безпосередньо після гарту (до їх старіння)
Неповне гартування	Недостатня витримка деталей в печі. Знижена температура нагріву. Знижена швидкість гартування	Повторна термічна обробка
нерівномірне гартування	Нерівномірне прогрівання і охолодження деталей	Застосовувати повторну загартування зі збільшенням часу витримки деталей в печі і більш швидке їх охолодження при загартуванню
Утворення тріщин, виявлених після	1. Відхилення за хімічним складом. 2. Складність конфігурації і	1. Перевіряти хімсклад деталей. 2. Збільшити радіус заокруглень в перехідних

гартування	разностенность деталей. 3. Висока швидкість нагріву і охолодження	місцях стінок деталі. 3. Змінити швидкість нагріву і охолодження. Шляхом зміни перетину стінок деталей або постановки ребер жорсткості домогтися максимального перерозподілу внутрішніх напружень
Перепад	1. Завищення температури нагріву під загартування. 2. Наявність в деталях масивних ділянок та недостатньо рівномірний підйом температури.	1. Періодично перевіряти температуру "в різних зонах печі." 2. Знизити швидкість нагріву деталей
	3. Нерівномірність температури в різних зонах печі	3. Ввести режим ступеневої нагрівання під загартування
Незадовільні механічні властивості	1. Відхилення від оптимального хімічного складу 2. Порушення режиму термічної обробки	1. Уточнити хімічний склад сплаву. 2. Уточнити режим термічної обробки

Перевитрата деталей при термічній обробці, що визначається візуально і при мікродослідженні, характеризується наступним [34]

1. Для сплавів на основі системи алюміній - магній:
 - а) поверхню зразка або деталі має почорніння точки (або горбки), наявність яких свідчить про сильному ступені перепаду;
 - б) по межах зерен твердого розчину спостерігається оплавлення евтектики.
2. Для сплавів на основі системи алюміній - кремній:
 - а) спостерігаються укрупнені, скоагульованого частки кремнію і ділянки дуже дрібнозернистої структури, що характеризують оплавлення евтектичних скупчень;
 - б) для сплавів системи алюміній - кремній - мідь - магній, крім того, спостерігаються по межах зерен оплавлені ділянки евтектики.
3. Для сплавів на основі системи алюміній - мідь:
 - а) периферійна частина зламу зразка має світлішу блискучу зону;
 - б) всередині зерен α -твердого розчину спостерігаються округлі участю оплавлення евтектики:
 - в) межі зерен потовщені, по ним спостерігаються виділення оплавленої і розтікається евтектики.

На закінчення відзначимо, що для всіх алюмінієвих сплавів сильна ступінь перепалу характеризується помітним викривленням деталей і появою евтектичних скупчень у вигляді горбків або бульбашок на поверхні деталей або зразків.

За значеннями твердості можна визначити стан матеріалу і відповідність його термічної обробки технічними умовами і ГОСТ 2685-75.

Визначення твердості за методом Брінелля здійснюється вдавненням сталеві кульки певного діаметра в випробуваний зразок під дією заданого навантаження протягом певного часу. [34]

Твердість – це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пластичному деформуванню або руйнуванню при місцевій контактній дії. У техніці використовують різноманітні методи вимірювання твердості. Найпоширенішими є методи Брінелля, Роквелла, та Віккерса, а також вимірювання мікротвердості. Ці методи ще називають методами втискання. Крім них, використовують методи подряпинок, відбивання, ультразвуковий та ін. Для багатьох сплавів виявлена залежність між твердістю та іншими механічними, технологічними й експлуатаційними характеристиками матеріалів (міцність, зносостійкість, пластичність, здатність оброблятися тиском, різанням тощо).

Таким чином, знаючи твердість матеріалу, можна оцінити й інші його характеристики. Суттєвою перевагою експериментальних методів визначення твердості є те, що всі вони неруйнівні, тобто для їх реалізації не потрібно виготовляти спеціальні зразки, а величина твердості визначається на поверхнях готових деталей без їх пошкодження (рис. 3.1).

Переваги методу Брінелля – простота випробувань і порівняно висока точність отримуваних результатів; – проста залежність між твердістю HB та границею міцності матеріалів; – можливість визначення твердості сплавів, які мають неоднорідну макроструктуру, наприклад, чавуну.

Недоліки методу Брінелля – обмежене застосування (до HB 4500 МПа), зумовлене можливою деформацією сталеві кульки; – неможливість випробування тонких виробів (товщиною менше 2...3 мм) та тонких поверхневих шарів (менше 1 мм); – наявність на деталі відносно великого відбитка (діаметром

до 6 мм), який залишається після випробувань, що може привести до непридатності деталі для подальшої експлуатації.[34]

При вираженні числа твердості по Брінеллю розмірність (кгс / мм²) опускається. Зразок для випробування повинен мати дві плоскопаралельні боку; поверхню однієї з них повинна бути відшліфована так, щоб краю відбитка були досить виразні для більш точного вимірювання його діаметра.

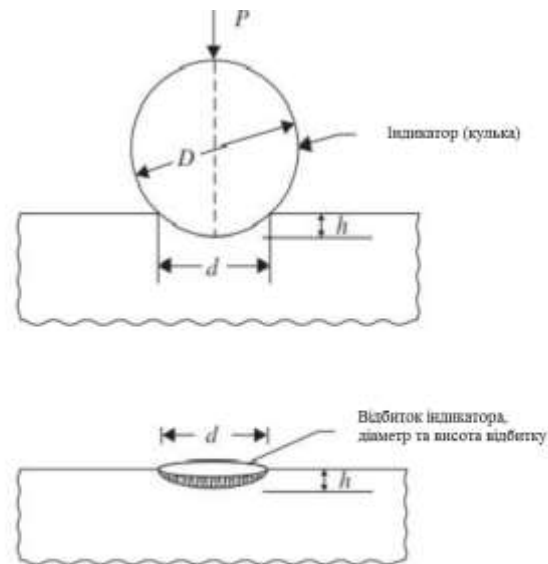


Рисунок 3.1– Схема визначення твердості за Брінеллем [34]

Щоб не проводити аналітичних обчислень за формулами на практиці часто користуються стандартною таблицею, в якій наведена залежність числа твердості НВ від отриманих даних. Якщо використовувати міжнародну систему одиниць СІ, приймаючи значення зусилля у Н, площі лунки в м², то значення НВ отримаємо в Па. В такому випадку в конструкторській і технологічній документації вказують значення твердості та її розмірність, наприклад: НВ 4500 МПа. Допускається позасистемна розмірність зусилля в кгс, площі в мм². Тоді отримують розмірність твердості кгс/мм². При вказуванні значення твердості таку розмірність умовно опускають, наприклад НВ 270. Для пластичних матеріалів, схильних до повзучості (зростання пластичної деформації під дією постійного навантаження), випробування на твердість проводять з деякою витримкою при постійному навантаженні. Її час зростає зі зростанням пластичності металу. [37]

Діаметр кульки і навантаження встановлюються відповідно до наведених нижче даними (Таблиця 3.4).

Товщина випробуваного зразка повинна бути не менше десятиразової глибини відбитка. Якщо після отримання відбитка бічні або нижня сторони зразка опиняться деформованими, випробування вважається недійсним. У цьому випадку випробування має бути здійснене кулькою меншого діаметра при відповідній навантаженні.

Діаметри отриманих відбитків повинні знаходитися в межах: $0,2D < d < 0,6D$; в іншому випадку випробування недійсне.

Центр відбитка повинен знаходитися від краю зразка на відстані не менше діаметра кульки, а від центру сусіднього відбитка - на відстані не менше двох діаметрів кульки. Діаметр відбитка вимірюється з точністю до 0,05 мм при випробуванні кулькою діаметром 10 і 5 мм і з точністю до 0,01 мм - при випробуванні кулькою діаметром 2,5 мм.

Таблиця 3.4

Норми для досліджень [17]

Інтервал твердості по Брінеллю	31,8-130		
Співвідношення між навантаженням Р і діаметром кульки D	P=10D ²		
Товщина випробуваного зразка, мм	>6	6-3	<3
Діаметр кульки, мм	10	5	2,5
Навантаження Р, кгс	1000	500	62,5
Витримка під навантаженням, с	30	30	30

Діаметр відбитка вимірюється в двох взаємно перпендикулярних напрямках і визначається як середньоарифметичне з двох вимірів. Різниця вимірів не повинна перевищувати 2%. [34]

Для проведення випробувань на твердість, ми беремо твердомір по Брінеллю ТС-Б-Ц1.

Визначення твердості металевих виробів за шкалою Брінеля; визначення твердості металів, що відрізняються за властивостями від сталей (наприклад, кольорових металів, сплавів, чавуну та ін.) без використання додаткових калібрування; контроль якості термічної обробки металевих деталей; повірка заходів твердості; калібрування портативних твердомірів за показаннями твердоміра NOVOTEST ТС-Б;

Твердомір по Брінелю (рис 3.2) забезпечує автоматичне електронне управління навантаженням, що дозволяють максимально спростити роботу з твердоміром, при цьому істотно підвищивши точність і продуктивність контролю. Стационарний твердомір NOVOTEST ТС-Б-Ц1 має високу випробувальну точність, широку область вимірювання, автоматичної навантаженням, автоматичним вибором часу, і автоматичним розвантаженням

Твердомір Брінеля ТС-Б-Ц1 прекрасно підходить для визначення твердості по Брінелю незагартованої стали, чавуну, кольорових металів і підшипників з м'яких сплавів і т.д., а також для вимірювання більш твердих матеріалів і зміцнених сталей. [34]

Відповідає вимогам ГОСТ 9012-59, В / Т 231.2, ISO 6506-2 і ASTM E10

Твердомер в будь-який момент може бути укомплектований системою вимірювання відбитків і таким чином модернізований до твердоміра з автоматичним виміром діаметра відбитка і відображенням значення твердості (без використання перерахункових таблиць).



Рисунок 3.2– Твердомір Брінеля ТС-Б-Ц1 [34]

СумДУ

Висновки

В процесі проектування було вирішено використовувати в якості деталей рами листові матеріали. У підсумку, для подальшого виготовлення рами було обрано листовий дюралюміній Д16Т по ГОСТ 4784-97 1,5 мм;

Вибір же матеріалу для стандартних кріпильних виробів (стійки і гвинти) проводився виключно з міркувань найменшої маси. Тому матеріалом для них був призначений нейлон, як володіє меншою щільністю в порівнянні з металевими матеріалами.

Дюралюмінієвий сплав Д16Т відноситься до найбільш затребуваних. Його хімічний склад та механічні властивості наведені в розділі.

Д16Т спочатку загартований, а потім природно зістарений для додання максимальної міцності. Його відрізняє підвищена пластичність, легкість в механічній обробці.

В розділі описано вплив легувальних елементів на даний сплав та на його властивості.

Також нами було розібрано та представлено найбільш типові види дефектів при термічній обробці деталей і методи їх запобігання або усунення.

На закінчення відзначимо, що для всіх алюмінієвих сплавів сильна ступінь перепалу характеризується помітним викривленням деталей і появою евтектичних скупчень у вигляді горбків або бульбашок на поверхні деталей або зразків.

В розділі представлено методи дослідження сплаву при виготовленні та їх опис.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБУ

4.1 Отримання заготовки виробу

Проаналізувавши зазначені варіанти, було прийнято розробляти раму на основі листових матеріалів. Її переваги [2]:

1. Листові композитні матеріали і прокат широко випускаються промисловістю;
2. Обробку заготовок легко проводити в гнучких виробничих системах (ГПС) на верстатах з ЧПУ (фрезерний, лазерний або гідроабразивний розкрій). При цьому, всі деталі виготовляються на одному обладнанні за одну установку;
3. Свобода вибору зручної для подальшої експлуатації геометричній конфігурації;
4. При правильно підібраних матеріалах, геометрії і з'єднань, можна отримати міцність вище, ніж в інших реалізаціях.

Основні недоліки - витрати часу на складання (в порівнянні з цільно-литими рамами) і застосування великої кількості різьбових з'єднань (збільшення вартості).

Технологічний процес виготовлення рами квадрокоптера починається з розробки в програмному забезпеченні САПР SolidWorks. Спочатку були зняті всі геометричні характеристики форм і розмірів використовуваної на борту апаратури [6], розроблялася геометрія основних посадочних місць для неї і електродвигунів. потім були обрані елементи кріплення для скріплення аркушів матеріалу між собою і для додання майбутньої конструкції додаткової міцності. При цьому, були вивчені переліки таких елементів за довідниками [3] і обрані установчі шестигранні стійки (ГОСТ 20865-81 і ГОСТ 20862-75) і гвинти (ГОСТ 17473-80). Вибрані елементи широко випускаються зі стандартними типорозмірами як в металевому, так і в неметалічному виконанні, що дозволяє при необхідності знизити вагу конструкції.

Після вибору стандартних кріпильних виробів, була розроблена центральна платформа, як найбільш важлива частина для установки датчиків положення, камери і т.д.

Основними етапами техпроцесу були:

1. посадочних місць для подальшого кріплення променів і для установки стійок і гвинтів, а також для установки керуючої апаратури і можливих розширень у вигляді підвісу з камерою, інфрачервоного датчика і т.п. також оцінювався габарит найбільших компонентів (напр. акумуляторна батарея), які визначають мінімальний розмір платформи;

2. вирізів для можливо більшого зменшення маси в найменш критичних, з точки зору міцності, місцях;

3. пазів для виходу деталей, на які буде встановлена віброзахисна платформа. Віброзахисна платформа не є частиною основної рами, але розробляється паралельно їй і являє собою невелику дворівневу конструкцію, на яку встановлюються датчики, гостро реагують на вібрації від електродвигунів. вона встановлюється всередині несучої рами, шляхом підвішування на гумових шнурах круглого перетину, що дозволяє виключити безпосередній контакт між електродвигунами та датчиками, зменшуючи перешкоди (рис. 4.1). [6]

Потім була спроектована основна частина променя, на якому встановлюються контролери оборотів і електродвигуни. Промені сприймають в польоті найбільші навантаження, через що було вирішено використовувати конструкцію з чотирьох взаємно перпендикулярних листових деталей (рис. 4.1). З'єднання зроблено за допомогою пар пазвиступ, а також додаткового кріплення стійками і гвинтами. Таке рішення дозволяє міцно утримувати всі чотири деталі один щодо одного, чинячи опір при цьому їх вигину по горизонталі і вертикалі. Повна довжина променів призначалася з міркувань не перетину слідів обертання повітряних гвинтів поруч розташованих променів між собою, а також формування достатнього простору між слідом обертання гвинта і центральною платформою для можливих розширень. [3]

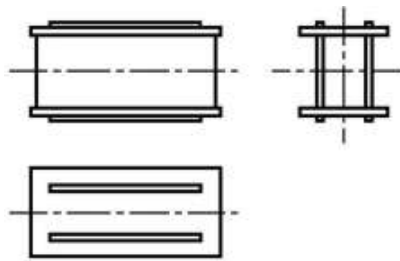


Рисунок 4.1– Конструкція променя з 4-рьох листових деталей [3]

Після цього була додана розроблена раніше для приєднання майданчика для установки електродвигуна і частини кріплення до центральної платформи. Для додаткової фіксації, використовуються виступи в вертикальних компонентах променя, які заходять в розроблені раніше пази в центральній платформі (рис. 4.2). співвісність осі установки на майданчику і самого електродвигуна необхідно витримати по 8-ий ступеня точності (допуск в діаметральному вираженні 40 мкм) [10] для відповідності рами призначеним заздалегідь аеродинамічних характеристик [25].

По завершенні цього етапу, розроблялася конструкція опорної частини променя, на яку квадрокоптер буде приземлятися. Її вертикальний розмір призначався з міркувань наявності вільного простору величиною 45 мм між землею і акумулятором. У підсумку, була створена тривимірна модель квадрокоптера в зборі, з установкою всіх електронних вузлів, кабелів і повітряних гвинтів (рис. 4.2).

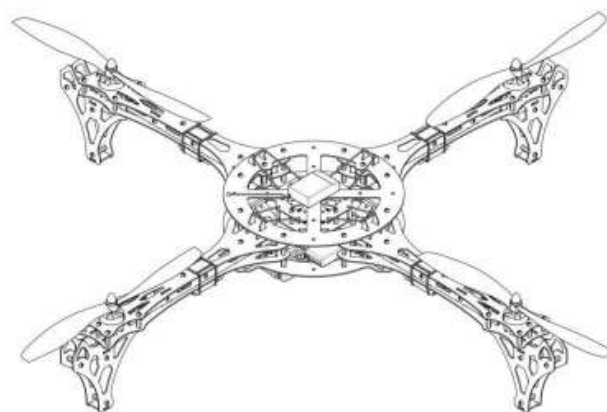


Рисунок 4.2– Ескіз конструкція рами квадрокоптера (з апаратурою) [25]

У підсумку, для подальшого виготовлення рами було обрано листовий дюралюміній Д16Т по ГОСТ 4784-97 1,5 мм;

Вибір же матеріалу для стандартних кріпильних виробів (стійки і гвинти) проводився виключно з міркувань найменшої маси. Тому матеріалом для них був призначений нейлон, як володіє меншою щільністю в порівнянні з металевими матеріалами.

Штамування деталей з листового металу - під таким процесом розуміють виробництво готової продукції, різноманітних деталей і напівфабрикатів з металів методом деформування вихідної сировини під тиском.

Подібну технологію знали ще наші далекі предки, які за допомогою елементарного штампування виготовляли зброю, різноманітні прикраси та предмети для домашнього вжитку.

Конструкції з штампованого металу характеризуються рядом особливих властивостей, що, в принципі, і зумовило популярність даної технології. До її переваг відносять такі можливості [13]:

- механізація і автоматизація виробничих процесів, які досягаються за допомогою впровадження потужних роторно-конвеєрних ліній устаткування;
- виготовлення будь-яких по геометричним параметрам і формам готових до застосування виробів і різноманітних напівфабрикатів;
- виробництво високоточних за розмірами деталей, які взаємозаміняють один одного без необхідності їх додаткової обробки за допомогою ріжучого інструменту та обладнання.

Побудова технологічних процесів виготовлення деталей листовим штампуванням в значній мірі залежить від призначення деталі, марки і товщини матеріалу, з якого вона виготовляється, а також виду операцій, за допомогою яких передбачається виготовлення деталі. Для встановлення методів отримання та послідовності операцій необхідно провести аналіз конструктивних особливостей деталі і закладеної в конструкцію деталі точності [14]. Розробка технологічного процесу листового штампування складається з наступних етапів:

1. Аналіз технологічності деталі (дослідження форми, співвідношення розмірів, обсягу випуску, можливості штампування матеріалу).

2. Встановлення необхідних операцій для отримання заданої деталі.
3. Визначення розмірів заготовки.
4. Складання карти розкрою, визначення коефіцієнта використання металу.
5. Технологічні розрахунки на всіх операціях.
6. Вибір обладнання.
7. Розробка розгорнутого технологічного процесу.

Вихідними даними при розробці технологічного процесу є креслення деталі, на якому вказані розміри і допуски на розміри всіх елементів деталі, допуски на розташування елементів, шорсткість поверхонь і допустимі значення розмірів і допусків на розміри в конкретних умовах штампування. Останні наводяться в заводських стандартах і довідкової літературі, причому в різних джерелах можуть відрізнятися, так як враховують умови конкретних підприємств.

За формою деталі і вимогам до неї визначають основні операції, які дозволяють її виготовити з плоскою заготовки. Листові деталі ділять на 3 групи: плоскі, гнуті, просторові. При виготовленні плоских деталей використовують в основному розділові операції: відрізки, вирубування, пробивання, різання, зачистку. Можуть додатково застосовуватися правка, калібрування, видалення задирок, термічна обробка. розділові операції можуть виконуватися в простих одноопераційних штампах, а також в суміщених і послідовних.

При виготовленні гнутих деталей використовують розділові операції (в основному для отримання плоскої заготовки і отворів в деталі), різні способи гнуття для отримання її форми, а при необхідності - правку, калібрування, термообробку, видалення задирок.

При виготовленні просторових деталей застосовують: розділові операції - для отримання заготовки, отворів в деталі, остаточних розмірів висоти або діаметра фланця; витяжку; формувальні операції (формовку розтягуванням, рельєфну формування, отбортовку, обтиск, роздачу) для отримання форми деталі; при необхідності - калібрування, правку, термообробку, зачистку задирок.

Більшість технологічних процесів виготовлення деталей з листового матеріалу в заготівельно-штампувального виробництва складають за такою

схемою: розкрій вихідного листа; виготовлення заготовки; штампування заготовки; доведення деталі до креслярських розмірів.

Розкрій листів зазвичай виробляють на гільйотинних ножицях: типовий план різання листів на смуги складається з наступних операцій: настройка ножів; нарізка листа на смуги; зняття задирок. У наладку гільйотинних ножів входить установка бічного і заднього упорів. При розкрої листа на окремі картки, з яких в подальшому виготовляють заготовки, до зазначених вище операцій додаються: настройка ножиць; нарізка смуги на картки; зняття задирок. Після складання технологічного плану (схеми) більш детально опрацьовується кожна операція майбутнього техпроцесу. для розкрійних операцій визначають розміри заготовки, ширину смуги, складають 2-3 варіанти розкрою листів, обраних за ГОСТом, з визначенням коефіцієнтів використання матеріалу. для найбільш вигідного варіанту визначають зусилля різання, вибирають по каталогу модель гільйотинних ножиць і складають карту розкрою. [16]

Карту розкрою представляють у вигляді ескізу обраного листа матеріалу із зазначенням розташування на ньому відрізуваних смуг і відходів (приводять їх розміри). Для операцій штампування (вирубки заготовок, пробивання отворів, згинання, витяжки) визначають силові параметри процесу і підбирають по каталогу обладнання. потім приступають до складання розгорнутого технологічного процесу (Таблиця 4.1.).

Таблиця 4.1.

Техпроцес виготовлення виробу

№ Операції	Найменування і короткий опис операцій.	Устаткування
010	Відрізна	Дисковий відрізний 8Г663-100
015	Відрізна в розмір	Токарний 1А616 (переобладнаний під відрізний + спец пристосування)
020	Фрезерна з ПУ.	Фрезерно-вертикальний з ЧПУ ГФ2171
025	Сверлильна	Настільно-сверлильний 1М112
030	Термообробка	Піч для гартування
035	Промивка	Мийний бак
040	Відрізна	Стрічково-пилний SHARK-332
045	Фрезерна ЧПУ.	Фрезерно-вертикальний з ЧПУ ГФ2171
050	Сверлильна	Настільно-сверлильний 2М112
055	Нанесення покриття	Красильний резервуар
060	Промивка	Мийний бак
065	Перевірка якості	Шаблони та міряльний інструмент

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши зазначені варіанти, було прийнято розробляти раму на основі листових матеріалів.

Основні недоліки - витрати часу на складання (в порівнянні з цільно-литими рамами) і застосування великої кількості різьбових з'єднань (збільшення вартості).

Технологічний процес виготовлення рами квадрокоптера починається з розробки в програмному забезпеченні САПР SolidWorks.

Описані основні етапи техпроцесу та їх опис.

Побудова технологічних процесів виготовлення деталей листовим штампуванням в значній мірі залежить від призначення деталі, марки і товщини матеріалу, з якого вона виготовляється, а також виду операцій, за допомогою яких передбачається виготовлення деталі.

Вихідними даними при розробці технологічного процесу є ескіз виробу.

За формою деталі і вимогам до неї визначають основні операції, які дозволяють її виготовити з плоскою заготовки.

Розкрій листів зазвичай виробляють на гільйотинних ножицях: типовий план різання листів на смуги складається з наступних операцій: настройка ножів; нарізка листа на смуги; зняття задирок. У наладку гільйотинних ножів входить установка бічного і заднього упорів. При розкрої листа на окремі картки, з яких в подальшому виготовляють заготовки, до зазначених вище операцій додаються: настройка ножиць; нарізка смуги на картки; зняття задирок.

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

5.1 Призначення режиму термічного та хіміко-термічного оброблення деталі

Дюралюмінію відносяться до сплавів типу твердих розчинів, вони зміцнюються термічною обробкою - загартуванням і старінням. Температура нагріву під загартування $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижче температури плавлення евтектики, тому необхідно ретельно контролювати рівномірність температури у всьому, що нагрівається просторі. Тривалість витримки при температурі гарту залежить від хімічного складу сплаву, типу напівфабрикату і товщини перетину. [12]

Для гарту сплав Д16 до $490-503\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нагрівання до більш високих температур (що перевищують нерівноважний солідус. Окислення і часткове розплавлення металу по межі зерен, що різко знижує міцність і пластичність. При гартуванні дюралюмінію важливо забезпечити високу швидкість охолодження, тому охолодження проводять в холодній воді. Перевищити критичну швидкість загартування сплаву Д16Т ($v_{\text{кр}} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$) при охолодженні в холодній воді вдається по всьому перетину тільки при товщині листів до 10мм і більшому діаметрі для виробів круглої форми, кругла форма перетину сприяє швидшому тепловідводу (рис 5.1).

Тому на практиці доводиться зважати на реальність уповільненої охолодження (навіть зі швидкістю нижче допустимого рівня) центральних шарів масивних виробів при самому інтенсивному охолодженні їх поверхні холодною водою, а також з необхідністю спеціального зниження швидкості охолодження для запобігання викривленню і великих залишкових напружень. Навіть незначний розпад твердого розчину в процесі охолодження з виділенням інтерметалідних фаз по межах зерен знижує опір міжкристалітної корозії. Після гарту значна частина фаз-зміцнювачів розчиняється, підвищуючи легування твердого розчину.

Дюралюміні після гарту піддають природному старінню. Природне старіння найбільш інтенсивно протікає в першу добу після гарту і практично

закінчується протягом 4-5 діб. Зниження температури гальмує старіння, а підвищення її, навпаки, збільшує швидкість процесу, але знижує пластичність і опір корозії. [35]

Однак для листів зі сплаву Д16 нерідко застосовують штучне старіння при 195 °С. У штучно зістареному стані сплави Д16, Д16Т, не схильні до розшарованої корозії і мають високий опір корозійного розтріскування. Пресовані напівфабрикати зі сплавів Д1 і Д16 міцніше, ніж листи, внаслідок прес-ефекту (структурного зміцнення).

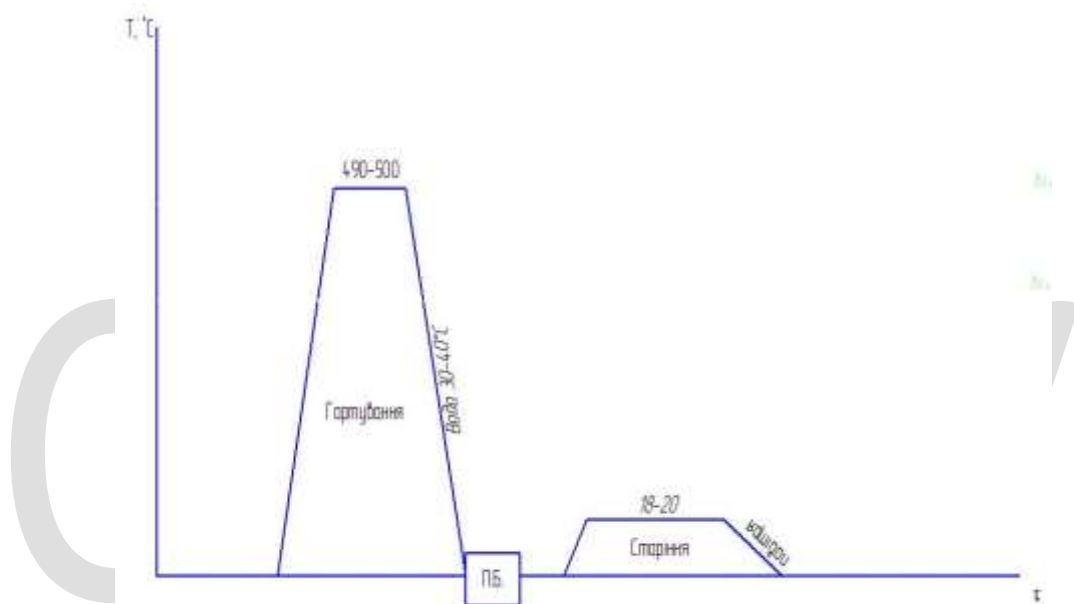


Рисунок 5.1– Термообробка Д16Т.

При охолодженні великогабаритних напівфабрикатів із сплавів Д16Т, товщиною понад 30 мм і деталей складної конфігурації, а також при наявності крупнокристалічного обідка температуру води при гартуванні слід підтримувати в інтервалі 25-40 °С для запобігання появи гартівних тріщин і зменшення викривлення. Обмеження верхньої межі температури гартівної води (40 °С) потрібно для запобігання зниженню корозійної стійкості.

З метою зменшення залишкових напруг після «гартування напівфабрикати піддають правці розтягуванням із залишковою деформацією 1-3%, при цьому після правки на верхній межі вказаного інтервалу в'язкість руйнування і витривалість кілька знижуються. [12]

Сплави типу дюралюмін інтенсивно зміцнюється при природному старінні за рахунок утворення зон Гінье - Престона. Зі збільшенням легування твердого розчину, а також, з підвищенням температури швидкість зміцнення при зонному старінні зростає. В інтервалі температур від -10 до 25 °С швидкість старіння збільшується в два рази при підвищенні температури на 5 °С.

5.2 Структура та властивості матеріалу після термічної обробки

Термічна обробка алюмінієвих сплавів складається з двох циклів - гартування і старіння.

Теоретичні питання, пов'язані з загартуванням алюмінієвих сплавів, відносно прості: в процесі гартування фіксується пересичений твердий розчин. Важливо, щоб охолодження було досить швидким. Необхідна швидкість охолодження при гартуванні визначається швидкістю випадання надлишкових фаз з переохолодженого і пересиченого твердого розчину.

Отриманий після гартування твердий розчин є пересиченим при вмісті в ньому міді більше 0,2%. В такому пересиченому і нестійкому твердому розчині відбуваються зміни, в кінцевому підсумку призводять до виділення фази CuAl_2 і збереженню в розчині лише відповідного рівноважної системі кількості міді (0,2%). Цей процес називається старінням. [35]

Названий процес може відбуватися при кімнатній температурі - природне старіння; при підвищенні температури - штучне старіння.

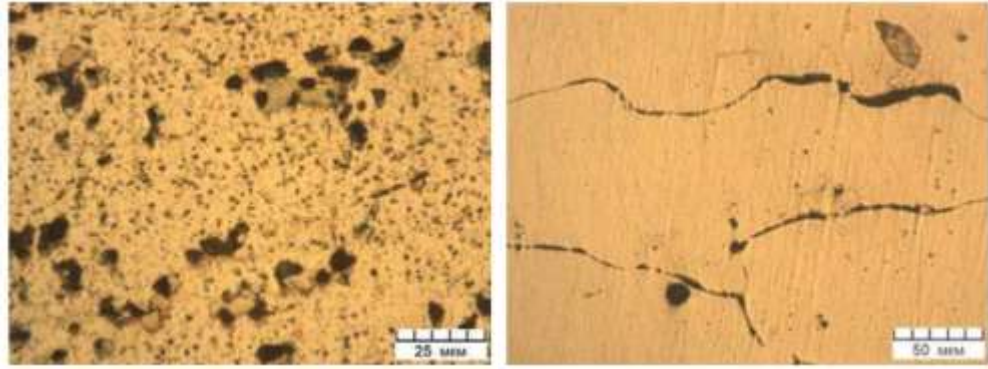
Мікроструктура ілюструє і пояснює фазові зміни, викликані гартуванням (рис. 5.2).

а) в стані поставки; б) після гартування, гомогенний твердий розчин, нагятий до температури гартування привів до повного розчинення включень CuAl_2 , а швидке охолодження при загартуванні зафіксувало пересичений твердий розчин.

Старіння істотно змінює властивості сплаву Al - Cu:

- в відпаленому стані сплав Al + 4% Cu має межу міцності $\sigma_B = 200$ МПа;
- в загартованому стані (при випробуванні відразу після гартування) межа міцності дещо підвищується: $\sigma_B \approx 250$ МПа;

- після старіння межа міцності зростає значно і досягає 400 МПа.



а

б

Рисунок 5.2– Термообробка Д16Т. [35]

Початковий період, який характеризується відсутністю або дуже слабким підвищенням міцності, називається інкубаційним. [35]

Інкубаційний період має важливе технологічне значення, так як в цей момент сплав володіє великою здатністю до пластичної деформації і загартовані деталі можна піддавати різноманітним технологічним операціям, пов'язаним з деформацією (Расклепке заклепок, згинанні, відбортовці і т. п.). Через 2-3 ч здатність пластично деформуватися починає різко зменшуватися і ці операції стають неможливими.

При штучному старінні його швидкість сильно залежить від температури (рис. 5.3):

- підвищення температури прискорює процес;
- отримується максимальна міцність тим нижче, чим вище температура старіння;
- в результаті старіння при температурі вище 150 ° С явно відзначається зменшення сплаву при витримці більше тієї, яка викликає максимальне зміцнення, і тим швидше, чим вище температура;
- при температурах, нижче кімнатної, старіння сповільнюється і при -50 °С можна вважати, що загартований стан практично стійкий і старіння не відбувається. [35]

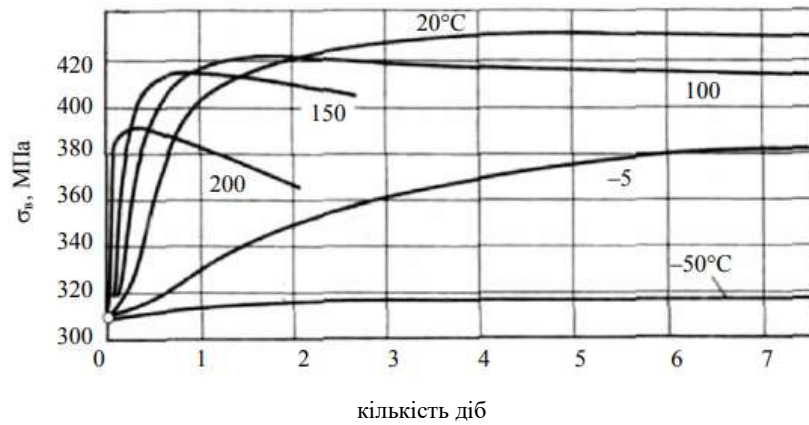


Рисунок 5.3– Криві старіння дюралюмінію при різних температурах [35]

При старінні сплаву Al - Cu протікають наступні процеси.

Друга фаза (Виділення з твердого розчину) чітко виявляється після штучного старіння при температурі вище 200 °C (рис. 5.4), коли сплав не має максимальної міцності. [35]

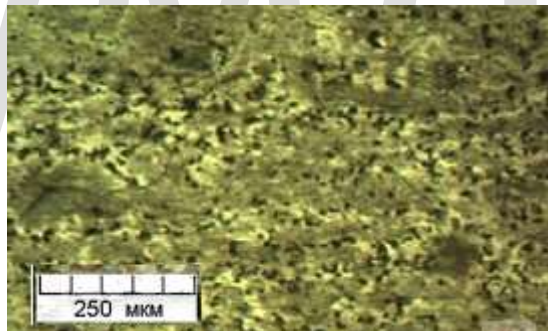


Рисунок 5.3– Структура сплаву Д16Т після старіння [35]

В початковий період старіння (перша стадія старіння) в пересиченому твердому розчині атоми міді, розташовані в свіже загартованому сплаві в випадкових місцях, збираються в певних місцях кристалічної решітки, в результаті всередині кристала утворюються зони підвищеної концентрації розчиненого компонента - Cu, їх називають зони Гинье-Престона (зони Г.-П.). Атоми міді на цій стадії старіння з розчину не виділяються, тому середнє значення параметра решітки не змінюється. В місцях підвищеної концентрації другого компонента - Cu параметр інший, ніж в збіднених, це створює великі

напруги в кристалі і дробить блоки мозаїки, що і призводить до підвищення твердості.

Вміст міді в зонах Г.-П. підвищений, але ще не відповідає формулі CuAl_2 . Зони Г. - П. представляють собою тонкі пластинчасті, дископодібні утворення товщиною в кілька атомних шарів і протяжністю в кілька десятків атомних шарів.

Подальший розвиток процесу старіння полягає в збільшенні зон і підвищенні змісту в них міді до стехіометричного співвідношення фази CuAl_2 ; прийнято перші (маленькі) зони називати зонами Г. - П.-1, а другі (великі) - зонами Г. - П.-2; процес старіння, пов'язаний з утворенням зон Г. - П., називають також зонним старінням, відзначаючи тим самим відміну від наступної стадії старіння - фазовий старіння.

Після утворення зон Г. - П.-2 підвищення температури або збільшення витримки при підвищених температурах, наприклад $100\text{ }^\circ\text{C}$, призводить до перетворення зон Г. - П.-2 в фазу, що позначається через θ' . Це вже виділення, тобто нова фаза, яка має відмінну від твердого розчину і від стабільної θ -фази (CuAl_2) грати, когерентно пов'язану з матричним твердим розчином.

При подальшому підвищенні температури θ' -фаза перетворюється в стабільну θ -фазу (CuAl_2) і відбувається її коагуляція. [35]

5.3 Вибір обладнання для проведення операцій термічної обробки

У промисловості для термообробки деталей і напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів застосовуються головним чином електричні печі і ванни. Ці агрегати відносяться до низькотемпературних, тому що максимальна робоча температура в них лежить нижче $600\text{-}700\text{ }^\circ\text{C}$. [38]

Залежно від необхідної продуктивності і місця в технологічному процесі виробництва напівфабрикатів застосовуються як печі періодичної, так і печі безперервної дії (Методичні). Перші застосовують при невеликій продуктивності і відсутності постійного потоку однорідних деталей які підлягають термообробці. Другі застосовують при поточному виробництві з великою продуктивністю.

Велике значення при термічній обробці кольорових сплавів має точність регулювання температури в робочому просторі печі. Для більшості алюмінієвих сплавів допустимий перепад температури перед гартуванням становить 10-15 ° С, т.к. температура нагріву знаходиться дуже близько від лінії солідусу. Перевищення температури нагріву може викликати часткове розплавлення легкоплавких евтектичних складових сплавів і, як результат - непоправної дефект - перевитрата.

Підтримка необхідної температури в печі забезпечується її відповідною конструкцією і прийнятої схеми регулювання температури. Як правило, печі для термообробки алюмінієвих сплавів мають робочий простір, екрановане від нагрівачів, що дозволяє уникнути прямого нагріву садки та місцевих перегрівів окремих частин деталей. У таких печах передбачається примусова, за рахунок вбудованих вентиляторів, циркуляція атмосфери, яка виключає можливість нерівномірного нагріву по обсягом садки.

Для відпалу, старіння, а також нагрівання під загартування використовуються в основному печі періодичної дії: камерні, шахтні, ковпакові, з висувним подом. Печі безперервної дії (толкательні або конвеєрні) застосовують при великих обсягах виробництва. Для термообробки алюмінієвих сплавів в процесі виробництва стрічки або листів розроблені спеціальні агрегати, що працюють синхронно з прокатним станом. [38]

Класифікацію печей проводять за кількома ознаками. По виду використовуваної енергії (електричні, полум'яні), за ступенем механізації (механізовані, немеханізовані), за призначенням (Гартівні, нормалізаційні і т.п.), за способом завантаження (камерні, шахтні, з висувним подом, конвеєрні і т.д.).

Термообробка листів також вимагає спеціалізованого обладнання. Для гарту використовують спеціальні печі з поштучним охолодженням кожного аркуша або охолодженням цілої стопи. існують також спеціальні агрегати для безперервної термообробки, рухається стрічки. Відпал стрічки, згорнутої в рулон, проводиться в камерних або шахтних печах.

Термообробка довгомірних профілів і труб проводиться в спеціальних печах. Загартування - в вертикальних гартівних печах, а старіння може

здійснюватися в камерних печах або печах-ваннах. Старіння штамповок з алюмінієвих сплавів найчастіше проводять в камерних печах. Основні типи застосовуваних печей і особливості їх конструкції описані в джерелах [34].

Для ефективного використання робочого простору печі деталі і напівфабрикати, що підлягають термообробці, слід групувати в одну садку, використовуючи для цієї мети спеціальні кошики та пристосування. Великогабаритні і довгомірні напівфабрикати підвішуються всередині печі на спеціальних пристроях, які в якщо буде потреба гарту використовують для перенесення їх в гартівний бак. Деталі, схильні до сильного викривлення, потрібно подавати в піч на спеціальних піддонах або пристосування.

Деталі із сплавів, схильних до сильного окислення, необхідно піддавати термообробці в вакуумі або захисній атмосфері. В виробничих умовах для цієї мети часто застосовують термообробку деталей в ящиках з засипанням окисом алюмінію.

При комплектуванні садки необхідно враховувати, що алюмінієві сплави при температурі 500 °С дуже м'які і можуть легко деформуватися. Тому, іноді застосовують багатоповерхові підтримують пристрої, що забезпечують необхідні зазори між деталями. [37]

Для термічної обробки алюмінієвих, магнієвих, титанових сплавів і сталей розроблені і на ряді заводів успішно експлуатуються рециркуляційні печі ПАП, в яких повітря або газ нагрівається без застосування електричних або інших спеціальних нагрівачів до 550-600 °С. Піч ПАП є теплоізолюваною камерою без цегляної кладки з відцентровим вентилятором, що має певний розрахунковий профіль лопаток. Вентилятор, працюючи в замкнутій системі, перетворює майже всю прикладену для його обертання енергію в теплоту, яка передається нагрівається виробам за рахунок конвективного теплообміну.

На більшості машинобудівних заводів термічна обробка алюмінієвих сплавів проводиться в повітряних печах ЕТА або в селітрових ваннах. Нами проведено дослідження умов нагріву різних напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів, що деформуються в печі ПАП-3 в порівнянні з піччю ЕТА-2 і селітрової ванній, близькими за розмірами робочого простору. [38]

Тривалість і рівномірність нагріву повітря і селітри вивчалися за допомогою 12 контрольних термопар, рівномірно розташованих в робочому просторі. Визначення тривалості нагріву різних напівфабрикатів до 500-515 ° С проводилося за допомогою термопар, забитих в центри зразків зі сплаву Д16 (листи товщиною 0,8-10 мм, труби з товщиною стінки 1-4 мм, прутки діаметром 40-200 мм) і сплаву АК6 (поковки товщиною 40-100 мм). Зразки завантажували в печі і в селітрову ванну з садками металу вагою 80-350 кг.

Встановлено, що піч ПАП-3 забезпечує більш рівномірне температурне поле в робочому просторі в порівнянні з піччю ЕТА-2, наближаючись за величиною перепаду температури в робочому просторі до селітрових ванн (Табл. 5.1.).

Таблица 5.1.

Характеристика печей ПАП-3, ЕТА-2 і селітрової ванни. [38]

Вид термічного обладнання	Потужність, кВт	Розмір робочого простору, мм	Максимальна робоча температура, ° С	Швидкість циркуляції повітря, м / сек	Температура нагріву, ° С	Перепад температур, ° С
ПАП-3	55	1100×3100×1600	550	16-18	160	±1,5
					410	±2,0
					500	±3,0
ЭТА-2	129	1200×3200×1500	550	6	550	±5,0
Селітрова ванна	100	1000×3200×1100	540	—	500	±2,0

Нагрівання повітря в печі ПАП-3 від кімнатної до 500 °С відбувається в два рази швидше (4 год), ніж в печі ЕТА-2 (8 год) таких же габаритів, але потужністю, в два рази більшою.

Незважаючи на більше зниження температури в печі ПАП-3 в порівнянні з піччю ЕТА-2 після завантаження садок металу вагою 180-350 кг повітря і в цьому випадку до заданої температури нагрівається в 1,5-2 рази швидше (рис. 5.1, а) . Однак, при завантаженні менших садок (80-160 кг) повітря в печі ЕТА-2 нагрівається до заданої температури в 1,5 рази швидше, ніж в печі ПАП-3 (рис. 5.1, б). Це пояснюється великим запасом тепла в печі ЕТА-2 за рахунок прогрітій

цегляної кладки, що також призводить до меншого зниження температури в печі ЕТА-2 при завантаженні металу в розігріту піч. [37]

При завантаженні металу в селітрову ванну через велику теплової інерції зниження температури селітри мінімальне, а тривалість нагріву до заданої температури максимальне в порівнянні з печами ЕТА-2 і ПАП-3 (рис. 5.1, б).

Нагрівання зразків прутків і поковок в садках вагою 160-350 кг до 515 ° С і зразків листів і труб в садках вагою 80-180 кг до 500 ° С в печі ПАП-3 відбувається в 1,8-2,5 рази швидше (в залежно від товщини), ніж в печі ЕТА-2, незважаючи на більш швидке нагрівання повітря в печі ЕТА-2 при завантаженні малих по вазі садок.

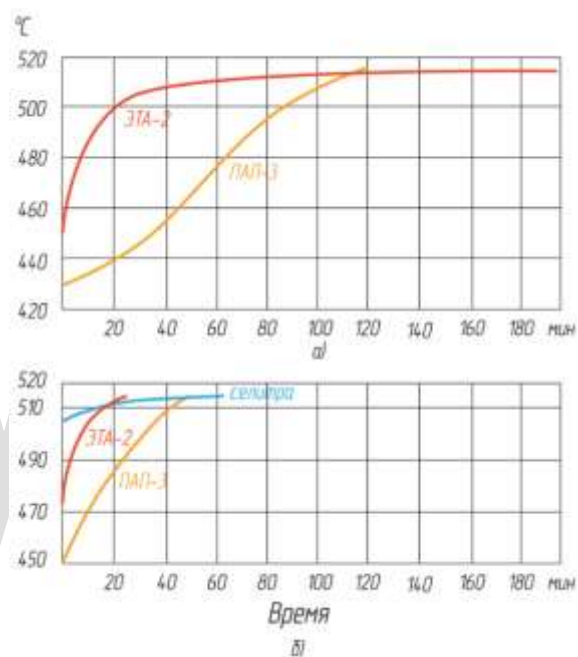


Рисунок 5.1– Кінетичні криві нагрівання повітря в печах ПАП-3, ЕТА-2 і селітри в ванні з моменту завантаження садки до заданої температури 515 °С:

а - садка прутків і поковок вагою 350 кг;

б - садка прутків і поковок вагою 160 кг. [38]

Переваги печі ПАП-3 в рівномірності температурного поля в робочому просторі і швидкості нагріву металу, незважаючи на меншу потужність (в 2 рази) в порівнянні з піччю ЕТА-2, пояснюється великою швидкістю циркуляції повітря, малою тепловою інерцією, наявністю однієї теплової зони і повним відсутністю

теплообміну випромінюванням. Піч ЕТА-2 має три самостійно регульовані теплові зони; теплообмін променисто-конвективний.

З метою визначення можливості використання печі ПАП-3 для відпалу алюмінієвих сплавів, що деформуються було досліджено зміну швидкості охолодження разом з піччю з 420 до 200 ° С садки вагою 180 кг листів товщиною 0,8-10 мм сплаву Д16. При охолодженні з 420 до 380 ° С максимальна швидкість охолодження (26 град / ч) досягалася на аркушах товщиною 0,8-1,5 мм.

Для оцінки якості термічної обробки різних напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів, що деформуються в печах ПАП-3, ЕТА-2 і в селітрової ванні досліджувалися механічні властивості: корозійна стійкість, опір корозії під напругою, глибина дифузії міді і магнію про плакують шар листів і електропровідність. Зразки листів товщиною 0,8-10 мм сплавів Д16М і Д16Т, труби з товщиною стінки 1,5 мм, прута діаметром 40 мм сплаву Д16Т, поковки товщиною 70 мм сплаву АК6, а також заклепки діаметром 5 мм сплаву В65 нагрівалися під загартування в печах ПАП-3, ЕТА-2 і в селітрової ванні. Після гарту зразки зі сплаву Д16 піддавалися природного старіння, зі сплаву АК6 і В65 - штучного старіння в печі ПАП-1. Термічна обробка проводилася за стандартними режимам.

Механічні властивості зразків після термічної обробки в зазначених агрегатах, електропровідність, втрати механічних властивостей за рахунок корозії листів товщиною 0,8 і 1,5 мм, а також опір корозії під напругою листів товщиною 5, 10 мм і труб майже однакові.

Глибина дифузії міді і магнію в плакують шар листів товщиною 0,8 і 1,5 мм сплаву Д16 після термічної обробки у всіх випадках не перевищувала 10-15% товщини плакіровки, що не впливає на корозійну стійкість.

Печі ПАП економічніше, більш прості у виготовленні і безпечні при обслуговуванні в порівнянні з повітряними електричними печами і з селітровими ваннами. [38]

У печах ПАП забезпечується більш рівномірне температурне поле в робочому просторі і в 2 рази менша тривалість нагрівання повітря від кімнатної до заданої температури, ніж в печах ЕТА.

Нагрівання різних напівфабрикатів з товщиною перетину 40-200 мм в садках вагою 80-350 кг до 500-515 ° С в печі ПАП-3 відбувається в 1,8-2,5 рази швидше, ніж в печі ЕТА-2 аналогічних габаритів , але в 2 рази більшої потужності.

Механічні властивості, корозійна стійкість, опір корозії під напругою і електропровідність різних напівфабрикатів із сплавів Д16, АК6 і В65, термічно оброблених в печах ПАП-3, ЕТА-2 і в селітрової ванні, не відрізняються.

Число оборотів роторного нагрівача об / хв.

При N = 40кВт 730
При N = 55кВт 1470

2) Потужність головного двигуна 60кВт

3) Потужність агрегату 80кВт.

4) Робоча температура 550 ° С

5) Час початкового розігріву без садки 4.5-5 годин

6) Допустимий перепад температур + - 5 ° С

7) Габарити робочого простір в мм.

довжина - 3000

Ширина - 1100

Висота - 1400

8) Вага садки разом з балкою 500к

9) Габарити агрегату

довжина - 7260

Ширина - 2130

Висота - 6470

10) Вага агрегату - 23000 кг

11) Управління агрегатом

Ручне з пульта управління

Автоматичне по заданому циклу

Рециркуляційний термічний агрегат ПАП-3 призначений для гарту і штучного старіння алюмінієвих сплавів і відпуску титану, а так само для інших

технологічних процесів, що вимагають якісного нагріву в інтервалі робочих температур від 55 °С до 500 °С +/- 5 °С. Максимальна робоча температура = 550 °С(рис 5.2). [38]



Рисунок 5.2– агрегат ПАП-3. [38]

5.4 Розрахунок обладнання

При виготовленні деталей виробу та їх термічній обробці певної кількості потрібна деяка кількість обладнання.

Для проведення термічної обробки на певну кількість виробів в рік потрібно розрахувати кількість необхідного обладнання. В це обладнання входить основне металургійні печі, допоміжне до яких входять: ділянки контролю, проїзди, установки для приготування карбюризатору, майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування, експрес - лабораторії з аналізу матеріалів.

Розрахунок основного обладнання

Встановлюємо річну програму з виготовлення виробу 10000 штук.

Так як ми знаємо кількість всіх деталей виготовлених за рік – це 100000 штук, ми можемо розрахувати масу всіх деталей виготовлених за рік.

$$10000 \cdot 1.2 = 120000 \text{ кг.}$$

Розрахуємо кількість та КПД печей:

- ПАП-3, продуктивність печі гартування = 300 кг/год.

ПО = 120 000 кг; Фд = 1808год; τО = 6 год; кількість садки - 250 штук.

МО = 250 * 0,12 = 300 кг

РО = МО / τО = 300/6 = 50 кг / год

КР = 120 000 / (50 * 1808) = 1,32

η = (1,32 / 2) * 100% = 66,9% - Обираємо 2 печі.

- ПАП-3, продуктивність печі для відпуску = 300 кг/год.

ПО = 120 000 кг; Фд = 1808год; τО = 13 год; кількість садки - 250 штук.

МО = 250 * 0,12 = 300 кг

РО = МО / τО = 300/13 = 23 кг / год

КР = 120 000 / (23 * 1808) = 2,88

η = (2,88 / 3) * 100% = 96,1% - Обираємо 3 печі.

Розраховуємо час нагріву і витримки усього процесу виготовлення деталі:

тн гартування = 5 годин; тв гартування = 50-60 хвилин.

тн відпуску = 2 години; тв відпуску = 13 годин.

Загальний час виготовлення деталі:

τ = τ гартування + τ відпуску = 19 годин.

5.5 Розрахунок площі та особливості приміщення, що проектується

Головними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, ділянки і цеху.

Ділянка виробничий підрозділ, що об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу по виготовленню продукції або обслуговування виробничого персоналу.

Для розміщення проектованої ділянки цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал / м³ на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля прямокутної форми, що забезпечує найбільш ефективно видалення шкідливих речовин звичайним шляхом.

При компонованні термічного цеху в загальному корпусі з іншими цехами виробниками (ковальський, механічний), цех слід розташовувати у найбільш

протяжної сторони, уздовж зовнішньої стіни корпусу з метою рокращення операцій.

Всі елементи будинку термічного цеху відносяться до категорії Т за ознакою пожежонебезпеки і повинні виконуватися з негорючих матеріалів, що відповідають I і II ступенях вогненебезпечності.

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів.

У проєктованому цеху приймаються наступні сітки колон 12 x 18, 12 x 24, для кранових будівель 12 x 24, 12 x 30 для будинків обладнаних кранами. Прольоти 6, 9 і 12 метрів. Висота прольоту приймається в залежності від умов роботи. Для термічної ділянки, яка характеризується значним теплом і не вимагає утеплення покриття, проєктуємо його з азбоцементних листів. На ділянці застосовуємо світло аерозольні ліхтарі "П"-подібного профілю. Покриття підлог на ділянці використовуємо не слизьке, яке легко очищається від забруднень. Для монтажу і ремонту устаткування використовується підвісне обладнання (кран), і транспортні пристрої (кари, навантажувачі).

Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій, установка і монтаж яких ускладнює нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам промислової естетики. Питання раціонального розміщення комунікацій, допоміжного обладнання та складських приміщень може бути вирішене шляхом спорудження, тунелів підвалу або технологічного поверху.

Для визначення геометричних параметрів ділянки необхідно розрахувати її площу.

Загальна площа ділянки за призначенням ділиться на:

- виробничу;
- допоміжну;
- контрольно-побутову.

До виробничо-побутової площі відносяться площі виробництва, на яких проводиться обробка виробів, а також площі для зберігання виробів до і після термічної обробки.

До складу допоміжних площ входять:

- ділянки контролю термічної обробки;
- проїзди для внутрішнього транспортування вантажів;
- площі, займані установками для приготування карбюратору;
- Майстерні механіка і енергетика з ремонту устаткування;
- Експрес - лабораторії з аналізу матеріалів і технологічних параметрів

карбюраторів.

До конторських-побутовим площами належать приміщення контор ділянки. Необхідні площі проектованої ділянки розраховуємо за укрупненими показниками, використовуючи довідкові дані.

Розрахунок площі цеху:

$$S_{ЗАГ} = S_{ПОЛ} + S_{ПРОХ} + S_{ВСП}$$

де $S_{ПОЛ}$ - корисна виробнича площа необхідна для розташування обладнання;

$S_{ПРОХ}$ - площі проходів і проїздів;

$S_{ВСП}$ - допоміжна площа.

$$S_{ПОЛ} = \sum S_i,$$

S_i - площа для даного обладнання.

$$S_{ПОЛ} = 405 \text{ м}^2$$

Допоміжна площа і площа проходів та проїздів встановлюється в розмірі 25-35% від виробничої площі

$$S_{ВСП} = 25 \dots 35\% * S_{ПОЛ} = 30\% * 238 = 142 \text{ м}^2$$

$$S_{ПРОХ} = 25 \dots 35\% * S_{ПОЛ} = 30\% * 238 = 142 \text{ м}^2$$

$$S_{ЗАГ} = 405 + 142 + 142 = 689 \text{ м}^2$$

Отриману $S_{ЗАГ}$ розбивають на сітку колон.

Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами: $42 \times 18 = 756$ (м²).

5.6 Розробка плану розташування обладнання на термічній ділянці

Термічні цехи в своєму складі мають:

- виробничі ділянки;

- допоміжні окремі (склади);
- склади готової продукції, допоміжних матеріалів, пристосовування;
- трансформаторні підстанції;
- службові і побутові приміщення.

Склад площ змінюється в залежності від розміру і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей.

В основу розстановки обладнання на плані і розрізах цеху повинні бути покладені:

1) Намічена компоновочна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних виробів. Виняток може бути тільки для цехів індивідуального і дрібносерійного виробництва, але при цьому загальний вантажопотік повинен йти в одному напрямку.

2) Можливість обслуговування і ремонту устаткування.

3) Організація між операційного транспорту оброблюваних виробів.

При встановленні схеми розташування устаткування необхідно врахувати, що печі повинні розташовуватися уздовж зовнішніх стін.

Ділянки з токсичними, які здійснюють шум обладнанням повинні бути розміщені в окремих приміщеннях, ізольованих від пічного залу.

Проїзди і проходи бажано розміщувати по периметру з обов'язковим розташуванням воріт і дверей у зовнішніх стін.

План термічної ділянки наведено у ДОДАТОК А.

Висновки

Після вивчення технічних умов вибирають основні операції термічної обробки, тип обладнання, інструмент і т.д.

Основні операції включають в себе нагрів виробів для гартування, відпуску, витримки та охолодження. Вибір виду термічної обробки обумовлюється технічними вимогами до поверхонь деталей по фізико-механічними властивостями.

Розроблено графік термічної обробки та підібрано обладнання для проведення термічної обробки.

Виходячи з обсягів продукції в рік розроблено креслення термічної ділянки з урахуванням обсягів та продуктивності обладнання.

СумДДУ

ВИСНОВКИ

Аналіз умов роботи рами квадрокоптера дав змогу раціонально підібрати матеріал та розробити матричну технологію виготовлення виробу.

Виходячи з умов роботи та конструкції рами квадрокоптера запропоновано використання алюмінієвого сплаву Д16Т, що забезпечить оптимальне співвідношення ваги та конструкційної міцності.

Результати огляду літературних джерел дав змогу підібрати оптимальні режими термічної обробки для отримання максимальних властивостей матеріалів.

Для реалізації технологічного процесу було обрано основне та допоміжне обладнання і спроектовано термічну дільницю.

Якість алюмінієвих напівфабрикатів багато в чому залежить від вихідної структури злитка, яка визначається формою і розміром зерна. Розмір зерна в зливку залежить від багатьох факторів. Чим більше температура перегріву розплаву при литті і чим вище його чистота, тим крупніше зерно.

Саме тому для якісного виготовлення виробу потрібно проводити термічну обробку та інші види для запобігання браку.

Перспективними методами поліпшення є обробка тиском алюмінієвих сплавів. При холодній пластичній деформації властивості міцності зростають, тобто підвищується межа міцності, границя текучості і твердість.

Також до таких методів відноситься обробка вибухом з подальшим виморочним режимом старіння.

Дюралюмінієвий сплав Д16Т відноситься до найбільш затребуваних. Його хімічний склад та механічні властивості наведені в розділі.

Д16Т спочатку загартований, а потім природно зістарений для додання максимальної міцності. Його відрізняє підвищена пластичність, легкість в механічній обробці.

В розділі описано вплив легувальних елементів на даний сплав та на його властивості.

Також нами було розібрано та представлено найбільш типові види дефектів при термічній обробці деталей і методи їх запобігання або усунення.

На закінчення відзначимо, що для всіх алюмінієвих сплавів сильна ступінь перепалу характеризується помітним викривленням деталей і появою евтектичних скупчень у вигляді горбків або бульбашок на поверхні деталей або зразків.

В розділі представлено методи дослідження сплаву при виготовленні та їх опис.

СумДДУ

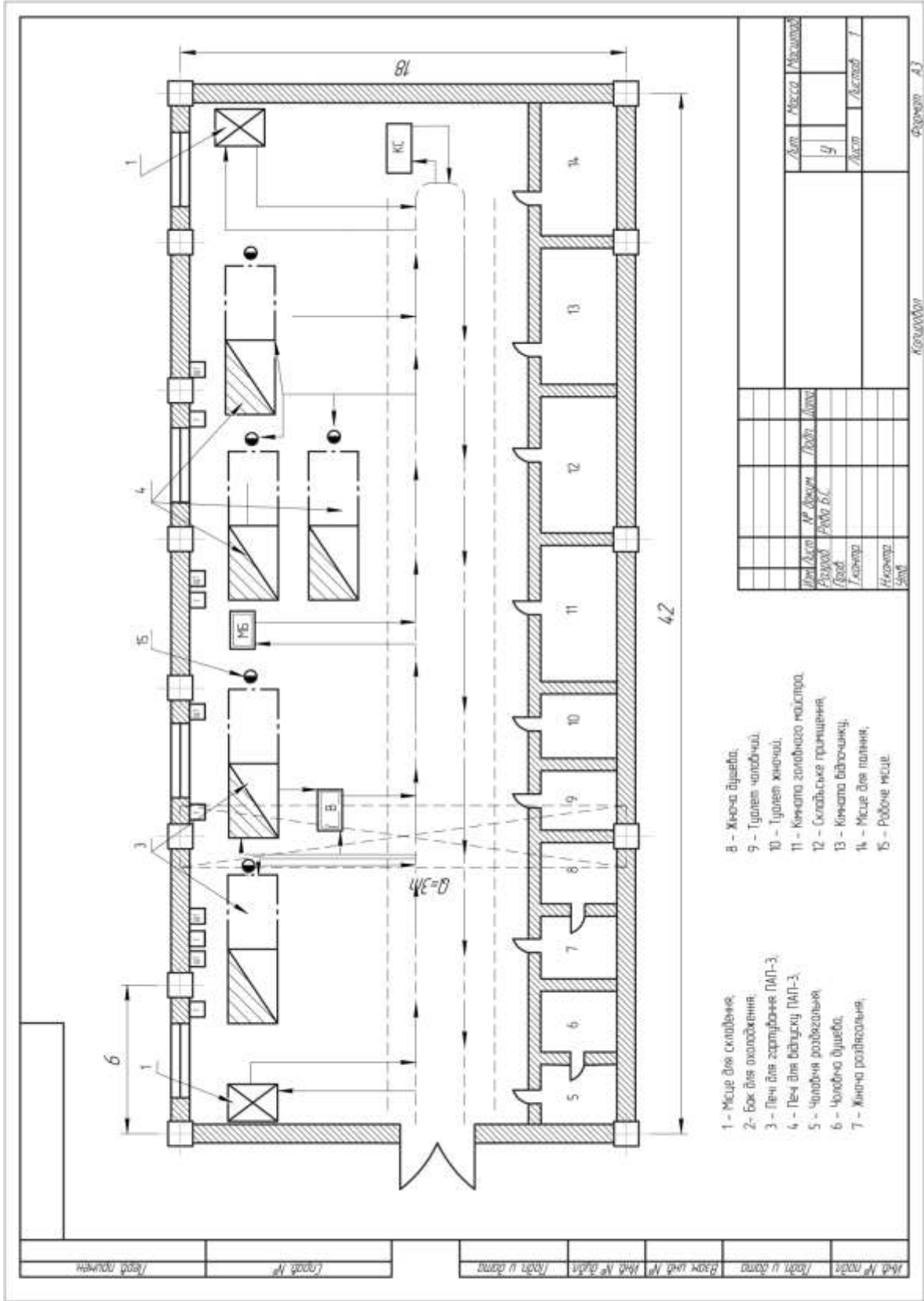
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ДЖЕРЕЛ

1. Калинин П.А. Синтез мехатронных модулей системы управления квадрокоптера: Молодежный научно-технический вестник: 2014. 74 с.
2. Agrawal K. Shrivastav P. Multi-rotors: A revolution in unmanned aerial vehicle: 2017. 53с.
3. Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером: Инженерный вестник: 2014. 32 с.
4. UAV COACH: Are Quadcopters Better Than RC Helicopters?: 22.07.15. URL: <http://uavcoach.com/are-quadcopters-better-than-rchicopters/> (дата звернення: 50.05.2020).
5. Петренко Е.О. Верамьев А.А. Робототехническая мультиагентная система для прохождения односвязных лабиринтов: *Инженерный вестник* – #12, декабрь: 2015. 53 с.
6. Ермаченков Д.И. Фазли Т.К. Плата управления квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов: *Инженерный вестник*, #08, август: 2016. 73 с.
7. Гэн К.М. Чулин Н.А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера: *Наука и образование*, #05: 2015. 36 с.
8. Дунаев П.Ф. Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия»: 2008. 496 с.
9. Байков Б.А. Атлас конструкций узлов и деталей машин: учеб. пособие / Под ред. Ряховского О.А., Леликова О.П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: 2009. 400 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1. – 9-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Жестковой И.Н. – М.: Машиностроение: 2006. 928 с.
11. Сайфеддин Д. Г. – Мехатронная система управления полетом квадрокоптера и планирование траектории методами оптической одометрии: дис. – Новочеркасск: 2014. 143 с.
12. Мельников А.А. Бунова Г.З. Технология термообработки алюминиевых полуфабрикатов: Учебное пособие к курсовой работе. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет: 2005г. 256 с.
13. Арзамасов Б.И. Брострем В.А. Конструкционные материалы: Справочник/ и др.: - М.Машиностроение: 1990 688с.
14. Шалина Р. Е. Авиационные материалы: Справочник: В 9-ти т.: Т.4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы ОИТИ: 1982. 627 с.

15. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2007 г. № 1421 «Об утверждении Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2007-2010 гг.» с изм. и доп. от 9.06.2010. - Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2010 г., № 144,5/32011.
16. Гурченко П.С. Пути ресурсосбережения при изготовлении поковок деталей машиностроения: Металлургия: Республ. межведом, сб. науч. тр.: в 2 ч. - Минск: БНТУ: 2011. 62-72 с.
17. Колачёв Б.А. Габидулин Р.М. Пигузов Ю.М. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов: Металлургия:1980. 280 с.
18. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. Справочник технолога-машиностроителя: перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
19. ГОСТ 4784 – 97 [Чинний від 1997-07-27]. Минск, 1997. 115 с. (Інформація та документація).
20. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов: учеб. для ВУЗов – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: 1999. 592 с.
21. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение: 1987. 152 с..
22. Advanced MultiCopter Design URL: <http://copter.ardupilot.com/wiki/advanced-multicopter-design/> (дата звернення: 50.05.2020).
23. International Journal of Science and Research. 2015. Vol. 4(11). P. 1800-1804.
24. Кестельман Н.Я. Кестельман В.Н. Номограммы по расчету и конструированию пластмассовых деталей машин: М.: Машиностроение, 1970. 228 с.
25. Bouabdallah S. – Design and control of quadrotors with application to autonomous flying / Bouabdallah S. – Lausanne: EPFL publishing house, 2007. – 155 p
26. DIY Quadcopter Frames– URL: <http://quadcoptergarage.com/diy-quadcopter-frames/>. (дата звернення: 50.05.2020).
27. Forbes: European drone regulations are about to get smarter and more permissive. URL: <http://www.forbes.com/sites/gregorymcneal/2015/03/23/european-drone-regulations-are-about-to-get-smarter-andmore-permissive/#51e69b9a26c7> (дата звернення: 30.05.2020).
28. Kuo С.Н., Kuo С.М. Vector thrust multi-rotor copter and its application for building inspection [Электронный ресурс] // International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition, Tolouse, 17-20 September, 2013: Fraunhofer-Publica. URL: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-337117.htm> (дата обращения: 27.03.2016).
29. Luukkonen T. Modelling and control of quadcopter[Электронный ресурс].

30. 22.08.2011. URL: http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11_public.pdf (дата обращения: 5.03.2016).
31. Metni N., Hamel T. UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits // Automation in construction. 2007. N 17. P. 3-10.
32. Pounds P., Mahony R. – Design Principles of Large Quadrotors for Practical Applications / Pounds P. – Kobe: Czech Technical University publishing house, 2009. – 16 p.
33. The National Law Review: Drones: Recreational/hobby owners Web-based registration process. [Электронный ресурс]. 15.12.2015. URL: <http://www.natlawreview.com/article/drones-recreationalhobby-owners-web-basedregistration-process> (дата обращения: 27.03.2016).
34. Жолобов А.А. – Технология автоматизированного производства: учебник для ВУЗов – Мн.: Дизайн ПРО: 2000. 624 с.
35. Лаборатория металлографии. М., «Металлургия», 1965. 439 с.
36. Вершина А. К. Состав – структура – свойства цветных металлов и сплавов, полимерных материалов : лабораторный практикум по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов химических и технологических специальностей : [и др.]. – Минск : 2010. – 63 с.
37. Кузнецов В. Д. Матеріалознавство та конструкційні матеріали: курс лекцій К. : НАУ: 2003. 120 с.
38. Колобнев И. Ф. Аристова Н. А. Бернштейн М. Л. Никитина Е. Н. «Заводская лаборатория»: 1956. 805 с.

ДОДАТОК А



- 1 - Місце для складання
- 2 - Бак для охолодження
- 3 - Печ для харчування ПАП-3
- 4 - Печ для виготовлення ПАП-3
- 5 - Чоловня роздягальня
- 6 - Чоловня душева
- 7 - Жінча роздягальня
- 8 - Жінча душева
- 9 - Туалет чоловічий
- 10 - Туалет жіночий
- 11 - Кімната головногo маістра
- 12 - Складське приміщення
- 13 - Кімната білочку
- 14 - Місце для палива
- 15 - Робоче місце

Відділ	№ докум.	Лист	Всього	Дат.	Місце	Машиноб.
Будів.	РМ/00	1	1	19/01	У	1
Головар.						
Наказник						
Служб.						

Архитектурный план цеха № 1

Лист № 1
Лист № 2
Лист № 3
Лист № 4
Лист № 5
Лист № 6
Лист № 7
Лист № 8
Лист № 9
Лист № 10
Лист № 11
Лист № 12
Лист № 13
Лист № 14
Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20