

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ
Завідувач кафедри КМХТ
проф. Олександр МІТЯЄВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Гальванопластичний метод формоутворення
складнопрофільованих деталей
(тема дипломної роботи)

Розробив(ла)
Студ. гр. БАД-210сп



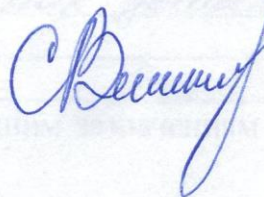
Анатолій КРАВЧЕНКО

Керівник професор
(вчене звання)



Олександр МІТЯЄВ

Нормоконтролер доцент
(вчене звання)



Віра САВЧЕНКО

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 132 - «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Олександр МІТЯЄВ
« 29 » березня 20 23 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

КРАВЧЕНКА Анатолія Павловича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Гальванопластичний спосіб формоутворення складнопрофільованих деталей»

керівник проєкту (роботи) д.т.н., проф. МІТЯЄВ Олександр Анатолійович,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 29 » березня 20 23 року № 75

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.06.2023р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) вихідні характеристики покриття; заводська технологія створення покриття; обладнання та устаткування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ. 2. Стан питання та постановка завдань дослідження. 3. Матеріали та методики дослідження. 4. Розроблення технології гальванопластичного формотворення складнопрофільованих деталей. 5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічні	МІТЯЄВ О.А., д.т.н., проф.	<i>Мітейєв</i>	<i>Мітейєв</i>
Нормоконтр	САВЧЕНКО В.О., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання « 29 » березня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ	01.05.2023	<i>Мітейєв</i>
2	Стан питання та постановка завдань дослідження.	12.05.2023	<i>Мітейєв</i>
3	Матеріали та методики дослідження.	17.05.2023	<i>Мітейєв</i>
4	Розроблення технології гальвано-пластичного формотворення складнопрофільованих деталей.	23.05.2023	<i>Мітейєв</i>
5	Висновки.	29.05.2023	<i>Мітейєв</i>
6	Перелік джерел посилань.	01.06.2023	<i>Мітейєв</i>

Студент(ка)



(підпис)

Анатолій КРАВЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)



(підпис)

Олександр МІТЯЄВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Abstract	4
Вступ.....	5
1 Стан питання та постановка дослідження.....	6
1.1 Властивості металевих покриттів нанесених гальванічним методом...	6
1.2 Технологічні особливості нанесення гальванічних покриттів	8
1.3 Контроль якості нанесення гальванічних покриттів.....	10
2 Матеріали і методи досліджень.....	14
3 Розробка технології гальванопластичного формоутворення складнопрофільованих деталей.....	17
3.1 Переваги та недоліки найпоширеніших способів гальванопластичного формоутворення.....	17
3.2 Схема розробленого технологічного процесу та його параметри.....	19
3.3 Види дефектів покриття та способи їх усунення	25
Висновки.....	28
Перелік джерел посилань.....	29

РЕФЕРАТ

Дипломна робота бакалавра «Гальванопластичний метод формоутворення складнопрофільованих деталей»: 30 с., 10 рис., 1 табл., 9 джерел.

Об'єкт дослідження – гальванопластичний метод формоутворення складнопрофільованих деталей.

Мета роботи: проаналізувати спосіб гальванопластичного формоутворення виробів, що включає двостадійне електролітичне осадження металу.

Метод дослідження – аналітичний, порівняльний, узагальнення та конкретизація.

У кваліфікаційній роботі розглядається основний гальванопластичний метод формоутворення, що належить до галузі гальванопластики, зокрема до електролітичного формоутворення складнопрофільованих деталей зі змінною товщиною стінки. Технічний результат: висока точність і якість формоутворення змінної товщини стінки деталей складного профілю.

Ключові слова: ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧНИЙ МЕТОД, ФОРМОУТВОРЕННЯ, НАНОПОКРИТТЯ, НІКЕЛЮВАННЯ, МЕТОД КАТОДНОГО ОСАДЖЕННЯ.

ABSTRACT

Bachelor's thesis "Galvanoplastic method of forming complex profiled parts": 30 pages, 10 figures, 1 tables, 9 references.

The object of research is the galvanoplastic method of molding complex profiled parts.

The purpose of the work: to analyze the method of galvanoplastic molding of products, which includes two-stage electrolytic deposition of metal.

The methods of research are analytical, comparative, generalization and specification.

In the qualification work examines the main galvanoplastic molding method, which belongs to the field of galvanoplastics, in particular to electrolytic molding of complex profiled parts with variable wall thickness. Technical result: high precision and quality of molding of variable wall thickness of complex profile parts.

GALVANOPLASTIC METHOD, MOLDING, NANOCOATING, NICKEL-PLATING, CATHODE DEPOSITION METHOD.

ВСТУП

Дана дипломна робота описує метод гальванопластичного формоутворення виробів, що включає двостадійне електролітичне осадження металу. На першій стадії спочатку беруть в облогу метал на 10...20% товщини готового виробу, потім видаляють матрицю і заготовці шляхом деформації надають задану форму. На другій стадії беруть в облогу шар металу до 30...60% товщини готового виробу і проводять повторну деформацію шляхом підйому і опускання елементів рельєфу, після якої нарощують шар металу до повної товщини.

Даний метод описано на прикладі отримання металевої оковки лопаті несучого гвинта гелікоптера Ми-24 методом катодного осадження з нікель-кобальтового електроліту (сплаву нікель-кобальт, добавка кобальту вноситься для додання необхідної твердості нікелю). Змінна товщина профілю оковки досягається за рахунок нерівномірної щільності постійного електричного струму на поверхні матриці при виконанні процесу осадження нікель-кобальту, що обумовлюється спеціальним розташуванням екранів.

РОЗДІЛ І

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розвиток гальванопластичного способу формоутворення полягає в удосконаленні процесу та технологій, що дозволяють отримувати деталі з ще більшою точністю, складністю форми і кращими властивостями покриття. Основні напрямки удосконалення гальванопластичного способу[1]:

1.1 Властивості металевих покриттів нанесених гальванічним методом

Розробка нових видів електролітів полягає у вдосконаленні складу електролітів для отримання покращених властивостей покриття, таких як міцність, стійкість до корозії, адгезія до основи і електрична провідність. Вдосконалення складу електролітів дозволяє отримати покращені властивості покриття, що впливає на якість та функціональні характеристики виготовлених деталей. Основні аспекти розробки нових електролітів включають [2]:

1. Міцність покриття: розробка електролітів, які забезпечують формування міцних і зносостійких покриттів. Це може включати використання добавок, що покращують механічні властивості покриття або змінюють його мікроструктуру.

2. Стійкість до корозії: розробка електролітів, які забезпечують високу стійкість покриття до корозії. Це може включати використання спеціальних розчинів, що запобігають корозійним процесам або покращують захисні властивості покриття.

3. Адгезія до основи: розробка електролітів, які забезпечують міцну адгезію покриття до поверхні виробу. Це може включати використання

спеціальних присадок, які покращують міжфазну взаємодію між покриттям та основою.

4. Електрична провідність: розробка електролітів, які мають високу електричну провідність, що дозволяє ефективно передавати струм через електроліт для рівномірного осадження металу на поверхні виробу.

5. Для розробки нових електролітів проводяться дослідження у сфері хімічного складу, концентрації розчину, рН середовища [3].

Використання нових матеріалів анода і катода.

Проводити дослідження та застосування нових матеріалів для анода і катода, які дозволяють отримувати більш стійкі, міцні і довговічні елементи. Деякі з нових матеріалів, які досліджуються та застосовуються, включають [4]:

1. Рідкі метали: деякі рідкі метали, такі як галій або індій, використовуються як аноди або катоди для спеціальних додаткових застосувань. Вони мають властивості, які дозволяють створювати тонкі, гнучкі та високопрофільовані елементи.

2. Керамічні матеріали: деякі керамічні матеріали, такі як алюміній оксид або бори́ди, можуть бути використані як аноди або катоди. Вони мають високу міцність, термостійкість та хімічну стійкість, що робить їх відмінними виборами для вимогливих застосувань.

3. Покриття та композитні матеріали: застосування покриттів або композитних матеріалів на поверхні анода або катода може покращити їх властивості, такі як стійкість до корозії, зносостійкість та адгезія. Наприклад, нанесення діамантових покриттів на анод може забезпечити високу міцність і стійкість до стирання.

4. Наноматеріали: використання наноматеріалів, таких як наночастинки металів або карбіди, може поліпшити властивості анода або катода. Наноматеріали можуть мати велику площу поверхні, що сприяє ефективному осадженню.

1.2 Технологічні особливості нанесення гальванічних покриттів

Ця технологія передбачає нанесення нанометрових шарів матеріалу на поверхню деталей, що відкриває нові можливості в різних галузях, включаючи оптику, електроніку, каталіз та біомедицину.

Основні аспекти впровадження технології нанопокриттів включають:

1. Розробка нових електролітів: розробка електролітів, які дозволяють одержувати нанометрові покриття з високою якістю і стійкістю. Це може включати використання спеціальних хімічних розчинів, додаткових реагентів та модифікаторів, які сприяють формуванню тонкого і рівномірного покриття.

2. Контроль товщини покриття: розробка методів контролю та регулювання товщини нанометрових покриттів. Це може включати використання технологій вимірювання товщини, контролю струму або напруги, а також використання автоматичних систем регулювання.

3. Використання спеціальних додаткових речовин: введення до електроліту спеціальних додаткових речовин, які сприяють формуванню нанометрових покриттів з певними властивостями. Наприклад, використання наночастинок або нанопроміжних шарів може допомогти досягти бажаної структури і властивостей покриття.

4. Застосування спеціальних методів формоутворення: розробка нових методів формоутворення, що дозволяють отримувати деталі з нанометровими покриттями.

Застосування гальванопластики у 3D-друку

Використання гальванопластики в 3D-друку дозволяє отримувати складнопрофільовані деталі з високою точністю та деталізацією.

Основні кроки процесу гальванічного 3D-друку наступні[5]:

1. Перший крок полягає у виготовленні початкового 3D-моделювання деталі за допомогою традиційних методів, таких як комп'ютерне моделювання або 3D-сканування.
2. За допомогою 3D-друка створюється початкова форма або шаблон деталі. Цей шаблон може бути виготовлений з пластику або іншого матеріалу, який має зручні властивості для друку.
3. Потім шаблон покривається тонким шаром провідного матеріалу, наприклад, міді або нікелю. Цей шар виконує роль анода в процесі гальванопластики.
4. Шаблон поміщають у ванну з електролітом, який містить метал, з якого виготовляється кінцева деталь. Електроліт забезпечує постачання металу до анода і його осадження на шаблоні.
5. Застосовується електричний струм, що сприяє осадженню металу на поверхні шаблону. Через процес електроформування метал осаджується тонким шаром на шаблоні, точно повторюючи його форму.
6. Після закінчення процесу гальванічного осадження, шаблон з деталлю видаляють з електроліту. Шаблон може бути розчинений або видалений механічним шляхом.

1.3 Контроль якості нанесення гальванічних покриттів

Використання прогресивних методів контролю процесу включає в себе впровадження автоматизованих систем контролю, моніторингу та регулювання процесу гальванопластики, що забезпечують більшу точність і стабільність формування деталей.

Основні аспекти цього напрямку включають:

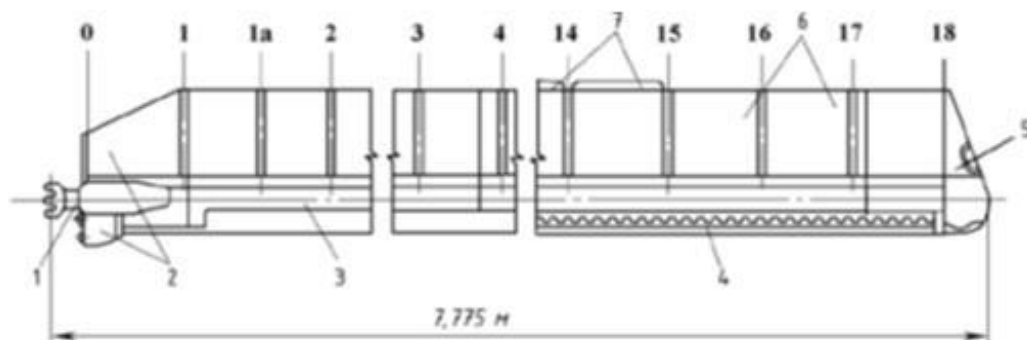
1. Системи вимірювання та контролю: використання сенсорів, датчиків та систем вимірювання для збору даних про параметри процесу, таких як температура, струм, напруга, концентрація електроліту тощо. Це дозволяє в режимі реального часу моніторити процес та реагувати на зміни.
2. Автоматичне регулювання параметрів: використання зворотного зв'язку та автоматичних регуляторів для підтримки необхідних параметрів процесу на оптимальному рівні. Наприклад, системи автоматичного регулювання можуть коригувати струм, напругу або концентрацію електроліту, забезпечуючи стабільні умови формування деталей.
3. Візуалізація та аналіз даних: використання програмного забезпечення для візуалізації та аналізу даних процесу гальванопластики. Це дозволяє операторам та інженерам відстежувати тенденції, виявляти аномалії та приймати рішення для поліпшення процесу.
4. Застосування штучного інтелекту (ШІ): впровадження методів ШІ для прогнозування та оптимізації процесу гальванопластики. ШІ може аналізувати великі обсяги даних, розробляти моделі та рекомендації для покращення ефективності та якості формування деталей.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження гальванопластичного методу формоутворення складнопрофільованих деталей представлено на прикладі металевої оковки (рис.1.3) гелікоптера Ми-24 (рис.1.1). Оковка захищає лонжерон, протиобморожувальну систему (рис.1.2) від незначних пошкоджень. Основна частина пошкоджень має абразивний характер, обумовлено це наявністю у повітрі частинок піску, землі, каміння тощо. Для збільшення терміну служби оковки розроблюються та впроваджуються провідні методи формоутворення, а саме методом катодного осадження з нікель-кобальтового електроліту (сплаву нікель-кобальт, добавка кобальту вноситься для додання необхідної твердості нікелю).

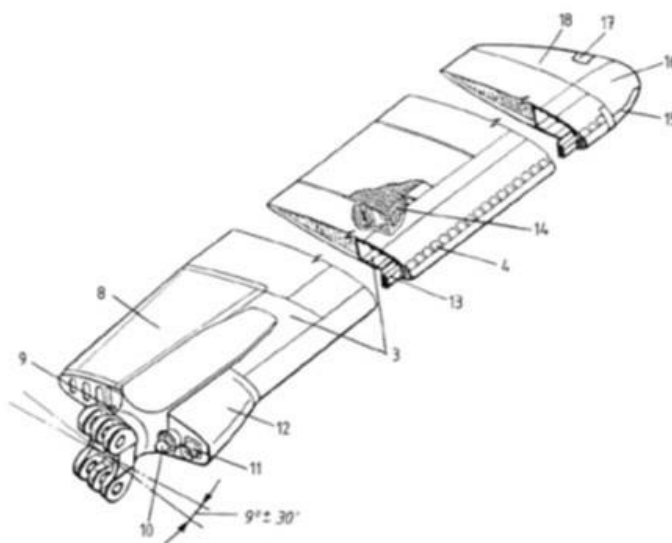


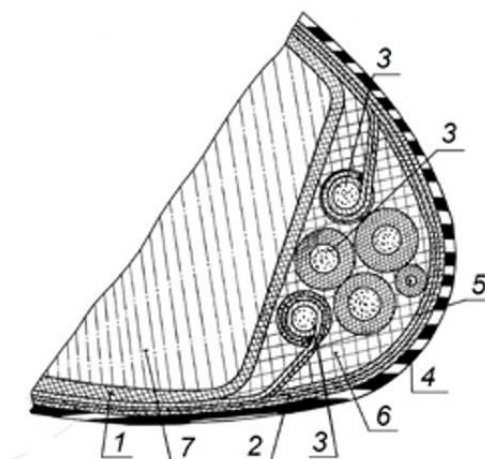
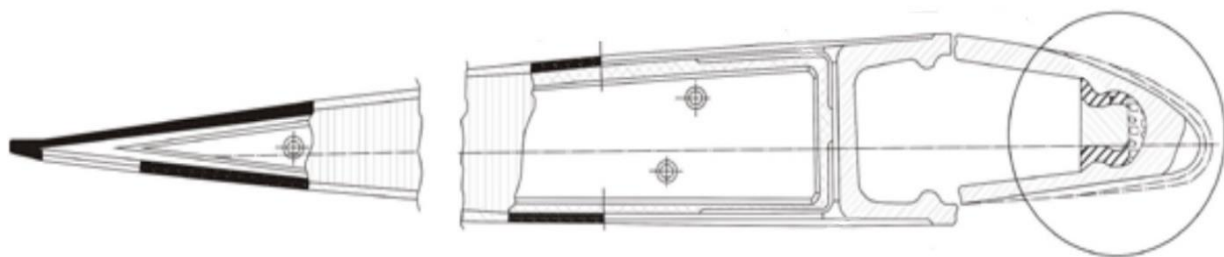
Рисунок 1.1 – Ударний гелікоптер Ми-24.



- 1 – наконечник лопаті, 2 – комлевий обтекатель, 3 – лонжерон,
 4 – протиобморожувальна система, 5 – кінцевий обтекатель, 6 – хвостові
 відсіки,
 7 – стрінгер, 8 – хвостова частина обтекателя, 9 – золотник, 10 – сигналізатор
 тиску, 11 – штепсельний роз'єм, 12 – носова частина обтекателя, 13 –
 противаги, 14 – стільниковий заповнювач, 15 – захисна накладка, 16 – носова
 частина законцовки, 17 – скло контурного вогню, 18 – хвостова частина
 законцовки.

Рисунок 1.2 - Загальний вигляд лопаті несучого гвинта





- 1 – шари склотканини (внутрішня ізоляція), 2 – протиабразивна накладка (гума),
 2 – провід ПТЛ, 4 – оковка, 5 – шари склотканини (зовнішня ізоляція),
 3 6 – нагрівальний елемент, 7 – лонжерон.

Рисунок 1.3 – Схема перерізу носової частини лопаті несучого гвинта

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Приготування електроліту нікелювання.

Для приготування та коригування електроліту нікелювання застосовувати лише дистильовану воду.

Необхідно взяти розрахункову кількість хімікатів:

– нікель сульфаміновокислий[6]

$$M_{\text{для складання}} = \frac{V_{\text{ванни}} \cdot 400 \cdot 100}{C(\%)}, \quad (2.1)$$

де M – необхідна маса розчину для складання;

$V_{\text{ванни}}$ – об'єм ванни нікелювання;

$C(\%)$ – відсотковий зміст у розчині, що поставляється, нікелю сульфаміновокислого.

– кобальт сульфаміновокислий

$$M_{\text{для складання}} = \frac{V_{\text{ванни}} \cdot 20 \cdot 100}{C(\%)}, \quad (2.2)$$

де M – необхідна маса розчину для складання;

$V_{\text{ванни}}$ – об'єм ванни нікелювання;

$C(\%)$ – відсотковий вміст у розчині кобальту, що поставляється. сульфаміновокислого.

– нікель двохлористий, борна кислота[7], рідина «Прогрес»

$$M = V_{\text{ванни}} \cdot C(\text{хімікат}), \quad (2.3)$$

де M – необхідна кількість хімікату для складання;

$V_{\text{ванни}}$ – об'єм ванни нікелювання;

C – вміст хімікату в електроліті нікелювання.

У запасну ванну налити 100 л дистильованої води і нагріти до 50°C, включити барботаж [8] і додати компоненти через фільтр з хлоринової тканини, спочатку розрахункову кількість нікелю сульфаміновокислого, потім попередньо розчинений нікелю (II) хлорид і борної кислоти, кобальту сульфаміноводистильованою водою.

Аноди нікелеві перед завішуванням в основну ванну повинні бути попередньо механічно зачищені шліфшкуркою і протруєні в 10% соляної кислоти та остаточно промиті у проточній воді. Завішувати аноди так, щоб мідні (нікелеві) гачки не торкалися електроліту при перемішуванні.

Чохли з «хлорину», що застосовуються, попередньо замочуються в теплій воді на 30 хвилин, після чого обробляються в 1% розчині перекису водню, з подальше промивання в проточній холодній воді.

Чохли, що застосовуються на нікелеві катоди для попередньої проробки електроліту попередньо замочуються в 3% розчині соляної кислоти протягом 6 годин, після промиваються в холодній проточній воді.

Очищення електроліту

Для очищення електроліту від органічних домішок в розчин вводиться до 5 г/л перекису водню (30% розчин) включається барботаж і перемішується протягом 20...30 хвилин рН електроліту повинен бути 3...4. рН регулюється або додаванням сульфамінової кислоти або 10% розчином їдкого калію, після чого розчину дати відстоятися 3...4 години.

Для адсорбції продуктів розкладання в електроліт вводиться активоване вугілля марки БАУ 1...2 г/л, яке попередньо оброблено в 0,3% розчині соляної кислоти з подальшим дворазовим промиванням у дистильованій воді. Далі розчин нагрівають до (60...70)°C при постійному барботажі витримують 2...3 години. Після закінчення перемішування відключають барботаж і відстоюють електроліт протягом 24 годин.

Далі розчин фільтрують через фільтр, доводять рН до 3,0...3,5 і нагрівають до 60°З виконують селективне очищення.

Селективне очищення виконують на сталевих гофрованих катодах (виконані у вигляді «гармошки» з кутом перегину 45...90 °) при щільності струму 0,1 А/дм², напруга 1...4 В, з обов'язковим барботажем.

Для селективного очищення застосовувати нікелеві катода в оброблених чохлах.

Опрацювання закінчується, коли нікель на гофрованих анодах буде світлим по всій поверхні.

Перевірка електроліту

Після електроліт перекачується в основну ванну та результатів аналізу ванни на основні компоненти (нікель і кобальт сульфаміновокислий, нікелю(II) хлорид, борної кислоти) додається рідина «Прогрес» у кількості не менше 0,2 г/л і виконується пробне нікелювання на сталевий пластині при щільності струму

2 А/дм² протягом 6 годин для визначення швидкості осадження та твердості отриманого покриття.

Коригування електроліту іншими хімікатами виконувати при непрацюючій основній ванні з включеною системою фільтрації та барботажем. Коригувальні добавки основних компонентів виконувати через подвійний сукняний фільтр при включеному барботажі. Аналіз ванни нікелювання виконувати 1 раз на тиждень на основні компоненти (нікель і сульфаміновокислий кобальт, борна кислота, нікелю хлориду). Аналіз ванни нікелювання на домішки міді та заліза робити не рідше 1 разу на місяць, максимальна концентрація домішки міді до 0,01 г/л, заліза не більше 0,05 г/л.

Заміну електроліту виконують тільки коли дефекти не усуваються хімічною обробкою та селективним очищенням та згідно з затвердженим графіком зливу.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Переваги та недоліки найпоширеніших способів гальванопластичного формоутворення

Найпоширеніші способи гальванопластичного формоутворення:

1) Електроформоутворення [9]:

Сутність процесу електроформоутворення наступна:

1. Початковий шаблон або матриця: Створюється початковий шаблон або матриця, який має форму, що відповідає бажаній формі деталі, яку необхідно виготовити. Шаблон може бути виготовлений з різних матеріалів, таких як пластик, воск або метал.

2. Покриття анодом: Шаблон покривається тонким шаром провідного матеріалу, такого як мідь або нікель. Цей шар виконує роль анода в процесі гальванічного осадження.

3. Ванна з електролітом: Шаблон занурюється у ванну з електролітом - розчином, який містить метал, з якого буде осаджуватись кінцева деталь.

4. Постачання електричного струму: На шаблоні та ванні розташовуються електроди, і застосовується електричний струм. Це викликає переміщення металу з електроліту на поверхню шаблону.

5. Осадження металу: Внаслідок електролітичного процесу метал осаджується тонким шаром на поверхні шаблону, повторюючи його форму з високою точністю і деталізацією.

6. Видалення деталі: Після закінчення процесу осадження шаблон з деталлю виймають з ванни. Деталь може бути відокремлена від шаблону шляхом розчинення

Переваги:

1. Висока точність формоутворення, здатність відтворювати складнопрофільовані деталі з високою деталізацією.
2. Можливість виготовлення деталей з високою якістю поверхні, гладкістю та однорідністю.
3. Можливість використання різних матеріалів для формоутворення, включаючи метали, пластмаси та кераміку.
4. Можливість отримання деталей з тонкими стінками та складними внутрішніми каналами або порожнинами.

Недоліки:

1. Високі витрати часу на виготовлення форми або шаблону.
2. Складний процес виготовлення форми, який може потребувати високо кваліфікованої праці та спеціального обладнання.
3. Обмежені розміри деталей, залежно від розмірів ванни з електролітом.
4. Можливість виникнення деформацій під час процесу формоутворення.

2) Гальванічне осадження (сутність процесу гальванопластичного формоутворення надана у пункті 3.3 даного розділу):

Переваги:

1. Висока швидкість осадження металу, що дозволяє ефективно виробляти велику кількість деталей.
2. Можливість отримувати деталі з високою якістю поверхні, включаючи гладкість та рівномірність покриття.
3. Можливість використання різних матеріалів для покриття, залежно від вимог до властивостей деталі.
4. Можливість осадження тонкого шару металу на складних поверхнях деталей.

Недоліки:

1. Обмежені можливості формоутворення складнопрофільованих деталей.

3.2 Схема розробленого технологічного процесу та його параметри

Технологічний процес отримання металевої оковки методом катодного осадження складається з таких операцій:

Нанесення струмопровідного шару.

- Перед монтажем поверхню катода, що покривається, необхідно зачистити шліфшкуркою (зерно - P1000), протерти чистою бавовняною серветкою від пилу і знежирити розчинником (ацетон).

Просушити катод на повітрі протягом 15 хвилин.

Всі роботи - знежирення, просушування, нанесення струмопровідного шару виконувати тільки при працюючій вентиляції у витяжній шафі.

- Балон із струмопровідним лаком перед використанням струснути протягом 20-30 секунд, і рівномірними рухами розпорошити зліва направо на відстані не менше 200 мм від поверхні катода. Дати просохнути не менше 3 хвилин і при необхідності зафарбувати непрофарбовані ділянки.

Після закінчення нанесення лаку балон перевернути розпилювачем донизу і натиснути до появи світлого струменя (для виключення засихання).

Монтаж.

а) Здійснити монтаж катода та екранів.

б) Катод повинен мати хороший контакт зі штангою, для чого поверхні, що контактують, повинні бути очищені від продуктів корозії та забруднень.

Нікелювання

Формування нікелю на катоді виконується в електроліті наступного складу:

Нікель сульфаміновокислий	- 300...400 г/л;
Кобальт сульфаміновокислий	- 10...25 г/л;
Нікель дволористий	- 2,5...10 г/л;
Кислота борна	- 30...40 г/л;
Рідина «Прогрес»	- 0,1...1 г/л

Робочий діапазон рН	- 3,5...4,7
Робоча температура електроліту	– 45±5 °С.
Співвідношення анодної поверхні до катодної 1:1	
Щільність струму	- 1...1,5 А/дм ²

в) Нікелювання починати при включеному мінімальному струмі (щільність струму 0,5 А/дм²) з увімкненим похитуванням, час витримки не менше 5 годин, потім підвищити струм до щільності 1...1,5 А/дм² і включити барботаж електроліту, час витримки щонайменше 72 годин.

У процесі осадження необхідно контролювати температуру, щільність струму, раз на добу контролювати рівень рН.

Коригувати рН при значеннях менше 3,5 - 10% розчином їдкого калію, а при значеннях рН більше 4,7 - сульфамінової кислоти.

Після коригування включати фільтрацію через насос протягом 30 хвилин і повторно перевірити значення рН.

Після закінчення часу осадження відключити струм, підняти оснастку з окуванням над електролітом і дати стекти не менше 5 хвилин.

Промивання в холодній проточній воді.

а) Ретельно промити пристрій у проточній холодній воді протягом 2...4 хвилин.

б) Підняти пристрій з оковкою над ванною промивки і дати стекти залишкам води.

Сушіння

Пристосування з оковкою обдути сухим стисненим повітрям до повного видалення вологи.

Демонтаж

Розмонтувати пристрій. Обложену оковку акуратно від'єднати від катода.

Якщо ковка не відокремлюється від катода, їх необхідно витримати в сушильній шафі при температурі (120...150)°С протягом 1 години. Дати охолонути і акуратно від'єднати ковку.

Відпал (зневоднення).

Для поліпшення міцності окування і видалення водневої крихкості деталей необхідно помістити в сушильну шафу з примусовою циркуляцією повітря і автоматичним регулюванням температури.

Режим зневоднення:

температура (200...230) °C

час витримки 2...3 години.

Контроль.

Контроль зовнішнього вигляду проводити візуально на 100% деталей.

Контроль проводити оглядом неозброєним оком на відстані 25 см від контрольованої поверхні при природному або штучному освітленні.

Не допускається наявність наскрізного піттингу, стовпчастих дендритів, тріщин і дефектів, що не видаляються механічним поліруванням.

Розміри окування згідно з технологічних вимог креслення забезпечити механічною обробкою.

Будова ванни нікелювання

Сформована деталь 1 являє собою довгомірний профіль змінного перерізу з радіусом r сполучення внутрішніх стінок (рис. 3.1). Профіль деталі має найбільшу товщину $t_{\max}$ на радіусному поєднанні стінок деталі і найменшу товщину $t_{\min}$ на його хвостових частинах (рис. 3.2).

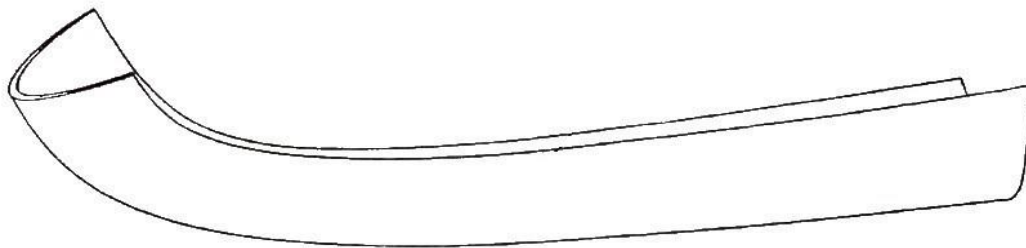


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд деталі.

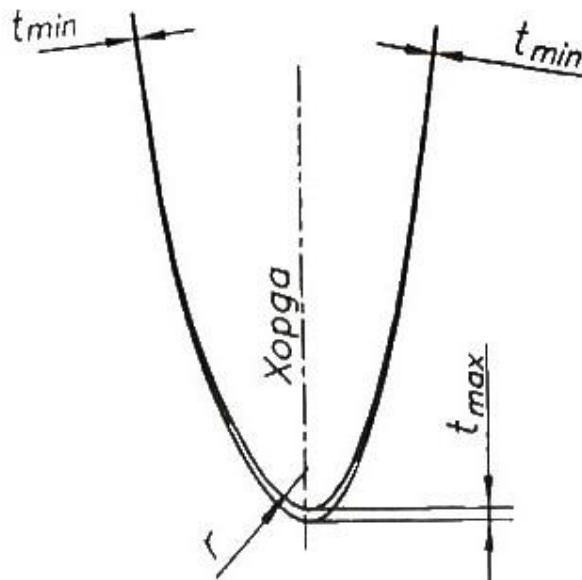
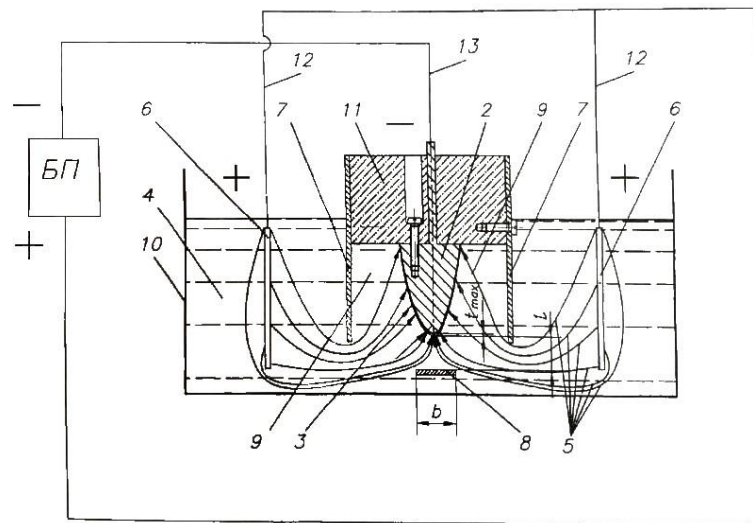


Рисунок 3.2 – Профіль деталі зі змінною товщиною стінки.

На робочу поверхню форми 2 (рис. 3.3) з нанесеним на неї розподільчий шаром 3, що виконує функцію катода, зануреного в електроліт 4 з певним хімічним складом, під впливом електричного струму від джерела постійного струму БП виробляють електролітичне осадження металу з певними фізико-механічними властивостями деталі 1 змінної товщини t стінок при заданих режимах електролізу (температура - $^{\circ}\text{C}$, щільність струму - $\text{A}/\text{дм}^2$ та інші кінетичні параметри). Електролітичне осадження металу виробляють шляхом перенесення потоків іонів 5 електричного поля з активних поверхонь анодів 6 з відповідними фізико-хімічними властивостями. Між формою 2 та анодом 6 розміщують екрануючі пристрої 7. Навпроти радіусного сполучення поверхонь форми 2 з радіусом r встановлюється додатковий екрануючий пристрій 8 шириною b , назад пропорційної кривизні радіусного сполучення $1/r$, на відстані l , прямо пропорційному товщині t (рис.3.4). Потoki іонів 5 з частинками металу направляють за допомогою екрануючих пристроїв 7 спочатку на радіусне сполучення поверхонь форми 2, потім частину потоків, що залишилася, розсіюють по формотворчій поверхні катода через канали змінного перерізу 9, утворені між формою 2 і екрануючими пристроями 7 у міру зменшення товщини t електролітичного осадження металу. Електроліз ведуть до отримання на формі 2 необхідного профілю деталі 1. Після

закінчення процесу електролітичного осадження металу форму 2 з осадженим металом вивантажують з електроліту 4, промивають і відокремлюють деталь від форми 2.



1 - профіль деталі, 2- форма, 3- розподільчий шар, 4 – електроліт, 5 – іони, 6 – анод, 7,8 – екрануючий пристрій, 9 – канали, 10 – електролізна ванна, 11 – підвіска, 12, 13 – струмопроводи.

Рисунок 3.3 – Загальна схема пристрою у поперечному перерізі деталі.

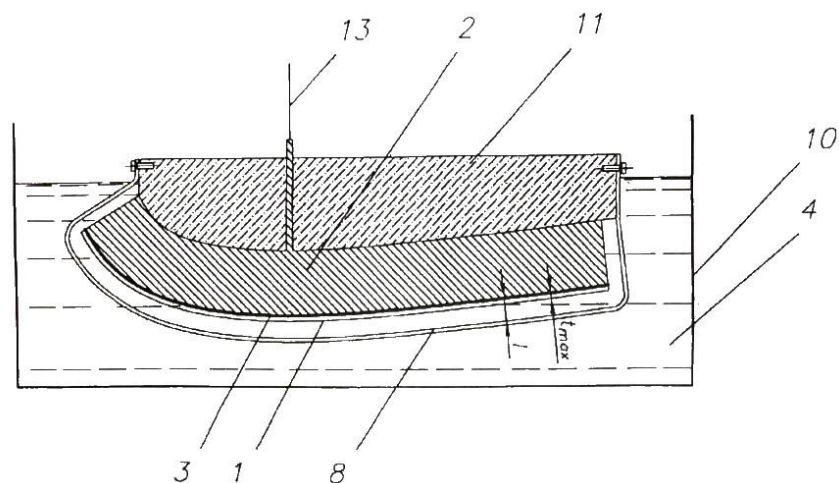


Рисунок 3.4 – Поздовжній переріз деталі у пристрої.

Пристрій для гальванопластичного формоутворення складнопрофільованих деталей зі змінною товщиною стінки містить встановлені в електролізній ванні 10 щонайменше, один анод 6, виконаний з

металу із заданими фізико - хімічними властивостями, закріплені на підвісці 11 форми 2, з'єднані струмопроводами 12 та 13 з полюсами джерела постійного струму (умовно не показаний) екрануючі пристрої 7 та 8, розташовані на відстані l від бічних поверхонь форми 2. Екрануючі пристрої 7 та 8 виконані з діелектрика, наприклад, органічного скла. Аноди 6 виконані із загальною площею активної поверхні S_a рівної подвоєної площі робочої поверхні S_k форми 2, тобто $S_a = 2S_k$. Додатковий екрануючий пристрій 8 виконано шириною b назад пропорційної кривизні $1/r$ профілю форми 2, і встановлено навпроти радіусного сполучення на відстані, прямо пропорційному найбільшій товщині $t_{\max}$ електролітичного осадження металу, що утворює в електролізній ванні 10 спільно з іншими екрануючими пристроями 7 канали 9 для потоків 5 іонів електричного поля з поверхонь анодів 6.

Наступне розсіювання частинок металу на інші ділянки поверхні форми 2 здійснюється по каналах 9 змінного перерізу в міру зменшення товщини t , формування стінки деталі 1.

3.3 Види дефектів покриття та способи їх усунення

Характерні види дефектів, що виникають у процесі нікелювання, та способи їх усунення наведені у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Характерні види дефектів

Вид дефектів	Причини дефектів	Способи усунення дефектів
Відшаровування покриття (рис.8)	1. Перервався струм під час нікелювання. 2. Електроліт значно забруднений органічними домішками. 3. Електроліт має рН нижче 3,5.	1. Перевірити цілісність електросистеми, контактів на підвісці та штанги. 2. Виконати обробку перекисом та активованим вугіллям. 3. Перевірити рН і відкоригувати додаванням 10% розчину їдкого калію.
Пригари на поверхнях, що виступають	Електроліт має рН вище 4,7 або забруднений міддю.	Перевірити рН і відкоригувати сульфаміновою кислотою та провести селективне очищення від міді.
Шорсткість, темні смуги (рис.9)	Електроліт забруднений механічними домішками та домішками міді.	Виконати селективне очищення з одночасною фільтрацією електроліту через фільтр.
Покриття нерівне, смугасте	Електроліт забруднений органічними домішками.	Виконати обробку перекисом та активованим вугіллям.
Піттинг	Недолік антипіттингової добавки.	Додати 0,1 г/л рідини "Прогрес"
Низька швидкість осадження нікель-кобальту в порівнянні з технологічною	1 Електроліт має низьке значення рН. 2. Низький вміст сульфаміновокислого нікелю чи кобальту	1. Перевірити рН та відкоригувати за допомогою 10% розчину їдкого калію. 2. Додати за результатом аналізу необхідну кількість нікелю та кобальту сульфаміновокислого.
Дендрити, нарости (рис.10)	1. Висока місцева щільність струму на окремих ділянках деталей, неправильне розташування деталей. 2.Електроліт забруднене механічними домішками. 3.Рвані анодні чохлаи.	1.Завісити правильно катод та ізолюючі пристрої. 2. Виконати селективне очищення з одночасною фільтрацією електроліту через фільтр. 3. Замінити чохлаи, очистити електроліт від шламу. 4. Перевірити випрямляч.



Рисунок 3.5 – Відшарування покриття.



Рисунок 3.6 - Шорсткість, темні смуги.



Рисунок 3.7 - Дендрити, нарости.

ВИСНОВКИ

В даній роботі наведено основні теоретичні відомості про гальванопластичний метод формоутворення складнопрофільованих деталей.

У першому розділі були розглянуто розвиток гальванопластичного способу формоутворення. Основні напрямки удосконалення гальванопластичного способу: розробка нових електролітів, використання нових матеріалів анода і катода, використання прогресивних методів контролю процесу, впровадження технології нанопокриттів, застосування гальванопластики у 3D-друку.

У другому розділі проаналізовано методику приготування та очищення, перевірки роботи електроліту для нікелювання. Описано розрахункову кількість хімікатів.

У третьому розділі розглянуто розробку технології гальванопластичного формоутворення. Наведено переваги та недоліки найпоширеніших способів гальванопластичного формоутворення.

Отже, в дипломній роботі наголошується на те, що спосіб гальванопластичного формоутворення виробів відноситься до галузі гальванопластики, зокрема до електролітичного формоутворення складнопрофільованих деталей зі змінною товщиною стінки, і може бути використане в різних галузях промисловості, наприклад, для виготовлення оковок протиабразивного та антиобмерзального захисту лопатей гвинтів літальних апаратів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пізнання й досвід - шлях до сучасної енергетики / Є. Т. Базеєв, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин [та ін.]; наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовської. - Київ: Б.в., 2013. - 328 с. - Бібліогр.: с. 323-325.
2. Булгакова А.С. Технологія електроосадження функціональних покриттів Co-Mo, Co-Mo-TiO₂. 2020. – 380 с.
3. Nelson D.L., Cox M.M. (2008). Lehninger Principles of Biochemistry (вид. 5th). W. H. Freeman. с. 55—61. ISBN 978-0-7167-7108-1.
4. Нові матеріали в металургії та машинобудуванні / В. В. Кузьмін // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2021.
5. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection, Rafiq Noorani, CRC Press, 2017. – 271 p.
6. ГОСТ 2665-86 Никель серноокислый технический. Технические условия.
7. ГОСТ 18704-78 Кислота борная. Технические условия.
8. Мала гірнича енциклопедія. т. III. (за редакцією В. С. Білецького). - Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. - 644 с.
9. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів: конспект лекцій / укладачі: Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 149 с.