

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра  
Освітньо-професійний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»  
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс  
автомобілів»

на тему: «Дослідження технології пайки та термічної  
обробки магніострикційних матеріалів»

Шифр ***MPTAM 2322378. 000 ПЗ***

Виконав: студент 2-го курсу, група *MTBAm 22-1*  P.V. Uroda  
Підпис виконавця

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.*

 O.P. Babak  
Підпис керівника

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри *ТАМ* *д.т.н., проф.*  
 O.V. Duxa  
Підпис

7 12 2023 р.

Хмельницький, 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

21 жовтня 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Уроді Руслану Вікторовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Дослідження технології пайки та термічної обробки магнітострикційних матеріалів

керівник проекту (роботи) Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023р. № 28 (Д30)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1 Стан питання; 2 Дослідження можливості термообробки; 3 Дослідження можливостей пайки й сполучення

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання \_----

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2023</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10.2023</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11.2023</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11.2023</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12.2023</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12.2023</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.12.2023</i>	

Студент

Керівник проекту (роботи)

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

*Урода Р.В.*  
\_\_\_\_\_

*Бабак О.П.*  
\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

На тему: «Дослідження технології пайки та термічної обробки магніострикційних матеріалів»

Складно представити всі галузі й сфери де використовують полімери й різні пластмаси адже їх кількість у сучасному світі велика. Так само як і залізо в часи «Залізного віку», яке прийшло на зміну бронзі, полімери й пластмаса приходять на зміну залізу, дереву, склу й іншим матеріалам там, де це представляється можливим, має сенс і економічну вигоду.

Із чого випливає зростання виробництва й необхідність в устаткуванні для технологічних процесів пов'язаних з використанням вищезгаданих пластмас і полімерів, а точніше устаткування для одержання тих або інших виробів з них.

Наприклад, одним з методів обробки полімерів є ультразвукове зварювання. Завдяки такому виду зварювання представляється можливим одержати з'єднання без сторонніх матеріалів, тобто обійтися без болтів, клеїв або заклепок. Таке зварювання використовують тоді, коли необхідні вироби підвищеної надійності й герметичності.

Так само варто відзначити, що технологія ультразвукового зварювання полімерних і термопластичних матеріалів згодом знаходить більш широке застосування при створенні новітніх видів виробів.

У зв'язку з ростом попиту ринку необхідно забезпечувати пропозиції одним з таких є технологічний комплекс ультразвукового зварювання листових пластмас. Даний комплекс являє собою малогабаритний ультразвуковий генератор з комплектом необхідних пристроїв, для дрібносерійного виробництва. Одним з його найважливіших компонентів є магніострикційний перетворювач, який складається з магніострикційних пластин. Для даних пластин необхідно проводити відпал з метою поліпшення їх магнітних і механічних властивостей.

Обробка сплаву типу пермендюр, у даній роботі сплав 49К2ФА, обумовлюється технологічною складністю пов'язаною з устаткуванням і режимами термообробки й пайки. Більші витрати часу на виробництво відпалу й пайки представляється можливим скоротити.

Ціль даного дослідження полягає в зниженні собівартості виробництва магніострикційного перетворювача.

Але для досягнення або наближення до подібних результатів необхідно позначити й розв'язати поставлені завдання:






1. Дослідження можливостей термічної обробки магніострикційних матеріалів в електропечі з контрольованою атмосферою;
2. Дослідження можливостей пайки магніострикційних матеріалів способом грубої пайки;
3. Дослідження можливостей об'єднання таких технологічних операцій як, пайка, відпал і оксидування в один термічний цикл.

**Структура й обсяг роботи.** Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, основних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 71 сторінок, 61 малюнок, 10 таблиць, 32 літературних джерел і додатку.

Перелік ключових слів: МАГНІОСТРИКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ПЕРМЕНДЮР, ПАЙКА, ТЕРМОПЛАСТИЧНІ МАТЕРІАЛИ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Стан питання.....	7
1.1 Ультразвукове зварювання пластмас і його особливості.....	7
1.2 Ультразвукове зварювання й загальні характеристики процесу.....	9
1.3 Опис фізичної моделі зони зварювання.....	12
1.4 Конструкція й характеристики ультразвукового устаткування.....	15
1.4.1 Технічні характеристики ультразвукового устаткування.....	16
1.4.2 Опис конструкції ультразвукового устаткування .....	17
1.4.3 Комплекси для ультразвукового зварювання пластмас.....	19
1.4.4 Магнітострикційний перетворювач.....	23
1.4.5 Властивості й особливості магнітострикційних матеріалів.....	26
1.5 Застосовуваний спосіб пайки.....	30
1.6 Завдання магістерської роботи.....	33
2 Дослідження можливості термообробки.....	35
2.1 Методика проведення експериментального відпалу.....	35
2.2 Експериментальні дані дослідів по термообробці.....	43
2.3 Аналіз отриманих результатів відпалу.....	46
3 Дослідження можливостей пайки й сполучення.....	55
3.1 Методика проведення експериментальної пайки в печі.....	55
3.2 Експериментальні дані дослідів по пайці.....	60
3.3 Аналіз отриманих результатів пайки.....	62
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТОК.....	71

<b>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</b>				
Змін	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розроб	Урода			
Перевір	Бабак			
Реценз				
Н. Контро.	Маховкін			
Затверд	Диха			
<i>Дослідження технології пайки та термічної обробки магнітострикційних матеріалів</i>				
		Лют	Арк	Аркуше
			4	71
<b>ХНУ група МТВАм 22-1</b>				

## ВСТУП

Складно представити всі галузі й сфери де використовують полімери й різні пластмаси адже їх кількість у сучасному світі велика. Так само як і залізо в часи «Залізного віку», яке прийшло на зміну бронзі, полімери й пластмаса приходять на зміну залізу, дереву, склу й іншим матеріалам там, де це представляється можливим, має сенс і економічну вигоду.

Із чого випливає зростання виробництва й необхідність в устаткуванні для технологічних процесів пов'язаних з використанням вищезгаданих пластмас і полімерів, а точніше устаткування для одержання тих або інших виробів з них.

Наприклад, одним з методів обробки полімерів є ультразвукове зварювання. Завдяки такому виду зварювання представляється можливим одержати з'єднання без сторонніх матеріалів, тобто обійтися без болтів, клеїв або заклепок. Таке зварювання використовують тоді, коли необхідні вироби підвищеної надійності й герметичності.

Так само варто відзначити, що технологія ультразвукового зварювання полімерних і термопластичних матеріалів згодом знаходить більш широке застосування при створенні новітніх видів виробів.

У зв'язку з ростом попиту ринку необхідно забезпечувати пропозиції одним з таких є технологічний комплекс ультразвукового зварювання листових пластмас. Даний комплекс являє собою малогабаритний ультразвуковий генератор з комплектом необхідних пристроїв, для дрібносерійного виробництва. Одним з його найважливіших компонентів є магнітострикційний перетворювач, який складається з магнітострикційних пластин. Для даних пластин необхідно проводити відпал з метою поліпшення їх магнітних і механічних властивостей.

Обробка сплаву типу пермендюр, у даній роботі сплав 49К2ФА, обумовлюється технологічною складністю пов'язаної з устаткуванням і

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

режимами термообробки й пайки. Більші витрати часу на виробництво відпалу й пайки представляється можливим скоротити.

Ціль даного дослідження полягає в зниженні собівартості виробництва магніострикційного перетворювача.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 Стан питання

## 1.1 Ультразвукове зварювання пластмас і його особливості

Із усього різноманітності видів і методів зварювання для одержання монолітних з'єднань пластмас ультразвукове зварювання виділяється на тлі конкуруючих способів завдяки ряду технологічних властивостей. До таких властивостей можна віднести зварювання матеріалів різних товщин, тобто різнотовщинних матеріалів або ж зовсім зварювання різнорідних по складу матеріалів, так само залежно від особливостей технологічного процесу є можливість робити пайку без зняття оксидної плівки. Таким чином, ультразвукове зварювання по праву займає свою нішу [1].

Область ультразвукового зварювання термопластичних полімерів за останній час стає ширше, і використання даного методу поширюється в промисловості [1].

Без застосування ультразвуку розвиток деяких технологій зварювання попросту був би неможливим, наприклад, зварювання широко відомих полімерів, як полістирол, поліметилметакрилат, поліетилентерефталатні плівки й тому подібні. Раціональність із боку техніко-економічного використання ультразвукової енергії не викликає сумнівів [1].

Так само для справедливості варто відзначити, що після модифікацій технологічного устаткування для ультразвукового зварювання представляється можливим проводити такі технологічні операції як розвальцьовування заклепок при з'єднанні пластмаси й металу, різання полімерів, фінальна обробка матеріалів і інші операції [1].

При використанні ультразвукового зварювання відпадає необхідність у таких технологічних прийомів як введення в зону зварювання сторонніх матеріалів. Так само варто відзначити, що в зоні зварювання утворюється надмолекулярна структура те саме що структури вихідного матеріалу, із

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

цього впливає, що зварене з'єднання максимально наближено до вихідного матеріалу. А це говорить про те, що механічні властивості, а так само різні характеристики властиві вихідному матеріалу будуть і властиві звареному з'єднанні, що свідчить про якість монолітності.

Таким чином, у ряді випадків, коли до зварювального з'єднання в конструкціях пред'являються високі вимоги відносно міцності, герметичності й інших властивостей, складання конструкцій переважно робити з використанням зварювання [2].

Суть процесу ультразвукового зварювання термопластів полягає в тому, що з'єднання утворюється завдяки контакту поверхонь, що з'єднуються, активованих нагріванням. Методику виконання операцій по зварюванню можна охарактеризувати більшою різноманітністю проведення даного процесу.

1. Забезпечити контакт поверхонь, після чого провести активацію;
2. Провести активацію, а потім тільки контакт поверхонь ;
3. Провести контакт і активацію одночасно.

Тобто можна робити активацію поверхонь, що з'єднуються, у будь-якому порядку залежно від технологічного процесу. [2].

Введення енергії, яка необхідна для активації поверхонь, що зварюються, а так само необхідний тиск зусилля потрібний для контактування можливо проводити тими самими, або різними інструментами [2].

Зварювання термопластів, так само як і зварювання металів супроводжується поруч характерних для зварювання в цілому процесів, що відбуваються в зоні зварювання: енергія необхідна для активації поверхонь перетвориться, при контакті виробів, що зварюються, відбувається взаємодія активованих поверхонь. Ну й звичайно ж такий процес як утворення звареного шва з утворенням структури схожої зі структурою виробів, що зварюються, [2].

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

Процес активації поверхонь сполучений з контактами даних поверхонь із теплоносієм. У якості теплоносіїв можуть виступати: нагріті інструменти, різні гази або ж присадковий матеріал. «А також за рахунок поглинання й перетворення енергії високочастотних електричних коливань, променистої енергії, механічній енергії тертя або енергії високочастотних механічних коливань» [2, с. 5].

Найбільш відповідальними процесами є процеси, пов'язані з контактуванням активованих поверхонь, тому що в цей момент відбувається взаємодія між макромолекулами полімеру й від того як усе пройде, будуть залежати властивості отриманого звареного з'єднання [2].

Під час формування зварених з'єднань відбувається утворення надмолекулярної структури в зоні контактування. Надмолекулярна структура більшою мірою визначає фізико-механічні й інші властивості матеріалу. Таким чином, щоб одержати властивості звареного шва гранично наближеним до вихідного матеріалу, потрібно сформувати у шві надмолекулярні структури, характерні для цілого матеріалу. Тип і характер надмолекулярних структур обумовлюється властивостями полімерних молекул і умовами, у яких відбувається утворення структур [2].

## 1.2 Ультразвукове зварювання й загальні характеристики процесу

Ультразвукове зварювання металів і полімерів ґрунтується на застосуванні енергії механічних коливань зварювального наконечника як одного з важливих елементів. Ультразвукова частота коливань становить більш 16 кГц, а амплітуда коливань дотримується рівня 0,5-50 мкм. Завдяки зварювальному зусиллю енергія вводиться в зону зварювання, межі значень зусилля перебувають у районі (0,1÷1,0) від границі текучості матеріалів, що зварюються [1,2].

Одержання звареного з'єднання сполучене із численними складними взаємодіями різнорідних факторів.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

« З одного боку, це комплекс явищ, пов'язаний з інтенсивними процесами зовнішнього тертя, підвищення температури в матеріалах, що зварюються, розтріскуванням твердих і вигорянням жирових плівок, підвищенням пластичності, обминанням макро - і мікронерівностей, зближенням контактуючих поверхонь на відстань, близьке до міжатомного й того подібні явища. З іншого боку – це комплекс явищ, пов'язаних зі станом, здатністю енергетичного тракту подати цю енергію в зону зварювання» [1, с. 5].

Головними утворюючими енергетики процесу ультразвукового зварювання є такі процеси як зовнішнє й внутрішнє тертя. Носієм енергії виступає зовнішнє тертя, яке розглядається як позитивне явища, тому що без даного явища процес ультразвукового зварювання був би практично неможливий [1].

У різних літературних джерелах деякі автори вказують на однотипність процесів ультразвукової, холодної й зварювання тертям. Якщо не брати до уваги схеми подачі енергії, тому що їхній принцип широко відомий. Проведемо порівняльний аналіз головних параметрів режимів зварювання. Такими параметрами виступлять: загальний шлях руху, лінійна швидкість, амплітуди коливань зварювального наконечника, частоти коливань, крапки, що зварюється деталі, зварювальні тиски й відповідно температури в зоні зварювання. Таким чином, є достатня кількість показників, завдяки яким можливо об'єктивно зрівняти динаміку передачі енергії в зону зварювання. Усі дані по перерахованих вище параметрах представлено в таблиці 1.1. Виходячи, з порівняння показників можна зробити висновок про те, що розмови про однорідність закінчуються на першому наближенні [1].

Тому що результати порівняння досить наочно демонструють відмінності методів і не дають приводу для подальшого порівняльного аналізу, повернення до цієї теми в даній роботі більше не має необхідності.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, тему порівнянь методів зварювання можна закінчити на аналізі таблиці 1.1 і перейти до більш важливих аспектів, які прямо пов'язані з технологією ультразвукового зварювання. Короткі порівняльні описи будуть наведені нижче.

Таблиця 1.1 – Порівняння параметрів режимів зварювання

Параметры	Вид сварки		
	Ультразвуковая	Холодная	Трением
Амплитуда, м	$6 \times 10^{-6}$	0,02	-
Частота, Гц	$16 \times 10^4 - 1,2 \times 10^6$	1	500-1500
Скорость, м/с	3 для металлов; 8 для полимеров	0,02	1,5
Путь, м	10 (реверсивный)	0,02	90
Давление, МПа	Меньше или равное пределу текучести для металлов; (0,1÷0,2) предела текучести для полимеров	120-150	30-50
Температура, Т	$0,4T_{пл}$	$0,3T_{пл}$	$0,8 T_{пл}$

Порівняльні дані по видах зварювання після розгляду дають зрозуміти, що збігів серед наведених показників не є. Частота й амплітуда коливань, а так само спосіб контактування зварювання тертям значно відрізнятися й не має крапок зіткнень із ультразвуковим зварюванням по жодному параметру.

«Розрив виникаючих міжмолекулярних зв'язків при зварюванні тертям і відповідний зсув крапок досягає більш  $1 \times 10^6$  мкм, у той час як при ультразвуковим зварюванні вона може скласти не більш 10 мкм. Холодне зварювання тим більше по жодному з ознак не схожа на ультразвукове зварювання» [1, с. 6].

Ультразвук сам по собі є специфічним видом енергії, а його

потенційність у реалізації винятково коштовних технологічних властивостей дозволяє, даному способу бути затребуваним донині. Гарна зварюваність більших груп термопластичних полімерів тому доказ.

Також варто відзначити, що ряд термопластів, наприклад лавсан або той же полістирол переважно зварюють ультразвуковим зварюванням [1].

Раз тема актуальності й невеликого освячення завершена, є можливим підсумувати, що даний вид зварювання має й знаходить нові області застосування, також є вектор для подальшого розвитку цієї технології. А впровадження подібних технологій несуть за собою техніко-економічну ефективність і виключення шкідливих умов праці, а також несе в собі реальне зниження працезатрат на виробництві [1].

### 1.3 Опис фізичної моделі зони зварювання

В ультразвуковім зварюванні зварювальний наконечник відіграє роль джерела коливань, відбувається це завдяки виконанню рухів із зазначеною коливальною швидкістю й визначеної силою наконечника. Досить непростий спектр коливальних напруг є причиною виникнення зварювального зусилля, а воно у свою чергу розподіляється по хвилеводу. Таким чином, внаслідок напруг і коливальних швидкостей утворюється потужність коливань зварювального наконечника. На рисунку 1.1 наведена фізична модель зони зварювання [1].

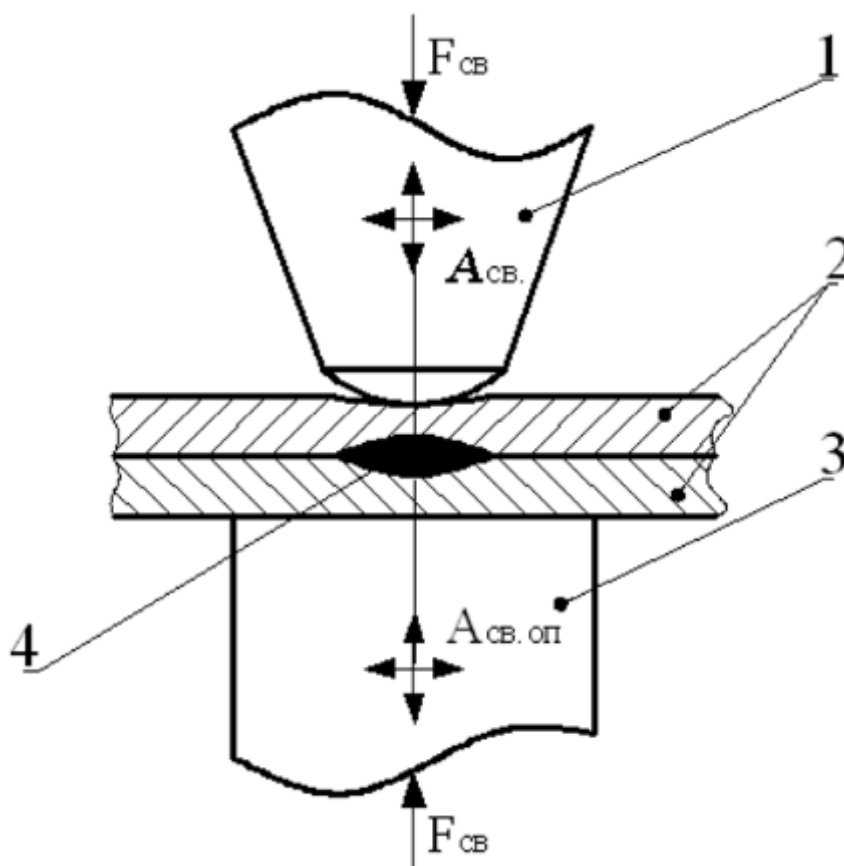
Процес зовнішнього тертя двох твердих тіл має основні енергетичні складові, такі як:

1. Енергія необхідна для пружно-пластичного деформування зон контактування, також ця енергія йде на подолання механічного опору зон зчеплення.
2. Енергія необхідна для активації поверхневих шарів зон контактування
3. Енергія необхідна для подолання адгезійного зчеплення

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

4. Енергія, необхідна для руйнування зон захоплення при появі металевих зв'язків

5. Енергія, затрачена на втрати у внутрішнє тертя.

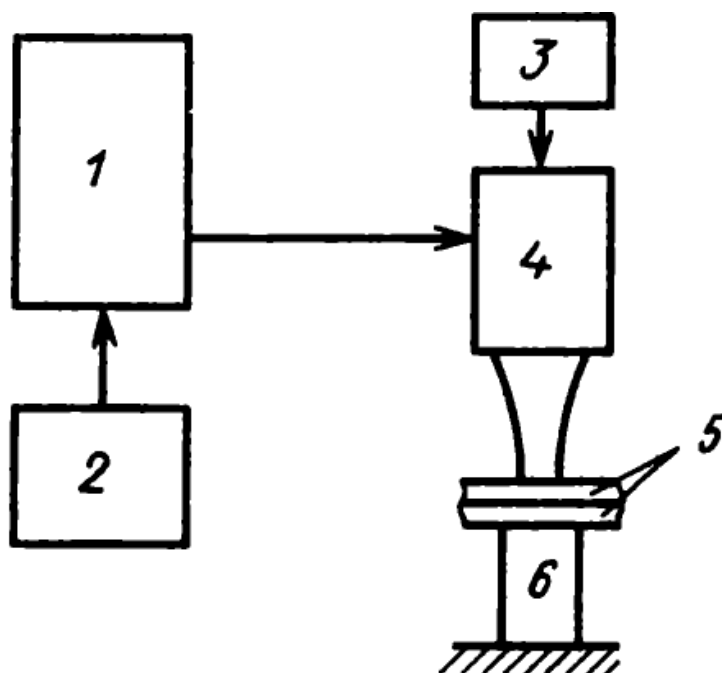


1 – хвилевід, що передає енергію в зону зварювання; 2 – деталі, що зварюються; 3 – акустична опора; 4 – зона зварювання

Рисунок 1.1 – Фізична модель зони зварювання

«Ультразвукове зварювання має знакозмінний характер зовнішнього тертя, а виходить, виникають плоскі хвилі, які проходять через зону зіткнення зварювального наконечника й збуджують коливання суміжної площини. При ультразвуковому зварюванні кожний наступний шар матеріалу, по якому проходять коливання, а тим більше фіксовані границі розтягу, можна розглядати як чергові ланки в загальному ланцюзі передачі енергії в зону зварювання. Чим вище інтенсивність зовнішнього тертя за інших рівних умов, тим більше енергії надходить у зону зварювання,

тим більше температура в зоні зварювання й вища пластичність матеріалів, що зварюються, » [1, с. 8].



1 – ультразвуковий генератор; 2 – пристрій вмикання й вимикання ультразвукових коливань; 3 – механізм тиску; 4 – зварювальний вузол; 5 – вироби, що зварюються; 6 - опора

Рисунок 1.2 – Принципова схема ультразвукової установки для зварювання пластмас

При ультразвуковому зварюванні такий процес як зовнішнє тертя прийняте вважати корисним. Корисність тертя полягає в позитивній і відмітній якості ультразвукового зварювання, а саме в можливості робити зварювання тих або інших матеріалів без попереднього зняття оксидної плівки, а так само дана риса дозволяє робити пайку по малозабрудненим поверхням. Якщо ж занадто сильно обмежити зовні тертя, то це приведе до зниження даної технологічної переваги. [1].

Тому що формування звареного з'єднання винятково за рахунок енергії внутрішніх втрат мікро- і макродеформування не представляється можливим, то зовнішнє тертя відіграє важливу роль в, дроблення

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

оксидних плівок, відносному переміщенню поверхонь, що зварюються, контактування свіжоочищених ділянок і відповідає за загальне підвищення температури в зоні зварювання, передачу енергії ультразвуку в суміжну зону [1].

#### **1.4 Конструкція й характеристики ультразвукового устаткування**

Більшість ультразвукових установок є комплексом, в який входять ультразвукові генератори, роль яких полягає в перетворенні струму промислових частот у струм високої частоти. Так само в комплекс входять ультразвукові перетворювачі, чия роль полягає в перетворення струму високої частоти в механічні коливання й заключним елементом є технологічний пристрій роль, якого полягає в безпосередньому напрямку механічних коливань на оброблювану поверхню або поверхні [3].

Ультразвукові установки розбивають на групи по виду впливу ультразвуку на технологічний обсяг:

- 1) Обробка об'єкта через проміжне технологічне середовище, що є передатною ланкою між джерелом впливу й об'єктом впливу;
- 2) Вплив виявляється безпосередньо на об'єкт, без застосування проміжного технологічного середовища;
- 3) Так само має місце комбінування двох вищевикладених схем.

Ультразвукові установки також можна розділяти по типу технологічних операцій або ж області використання, тобто ультразвукове зварювання, ультразвукове очищення, різні механічні обробки.

Представляється можливим класифікувати установки по типу застосування:

- 1) Установки з індивідуальним виконанням ;
- 2) Установки, що вбудовуються в потокові лінії.

Ну й останні можлива розбивка на групи, яке ґрунтується на технічних можливостях установок їх усього дві, ультразвукові установки універсальні і

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

спеціалізовані. Виходячи з назви класифікацій, можна зрозуміти, що одні працюють із широким спектром номенклатури, у той час як інші мають більш вузьку спрямованість або ж іншими словами спрямованість на групу однотипних виробів [3].

#### 1.4.1 Технічні характеристики ультразвукового устаткування

Ультразвукові комплекси мають електричні й неелектричними характеристиками. До електричних відносять:

1. Робоча частота/діапазон частот;
2. Потужність ультразвукової частоти;
3. Споживана потужність;
4. Режим роботи безперервний/імпульсивний;
5. Рівень індустріальних радіоперешкод.

До неелектричних відносять:

1. Продуктивність;
2. Конструктивні особливості;
3. Рівень шумів;
4. Експлуатаційний показник;
5. Економічний показник;
6. Енергетичний показник.

Логічно припустити, що частота або діапазон частот прямо залежать від призначення ультразвукового комплексу. Потужність ультразвукової установки це електрична потужність ультразвукової частоти, підводима до установки [3].

Споживана потужність установки представляється у вигляді суми потужностей усіх споживачів енергії з урахуванням втрат, тобто потужність, підводима до установки. Режими роботи ультразвукових установок визначаються виходячи з характеру й виду технологічної операції, а також

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

характером і формою ультразвукових коливань. Рівень індустриальних радіоперешкод повинен перебувати в припустимих межах визнаними загальним нормами [3].

Конструктивні вимоги залежать від призначення установки й умов експлуатації. В окремих випадках представляється можливим пред'являти спеціальні конструктивні вимоги, які визначаються умовами змісту установки [3].

#### 1.4.2 Опис конструкції ультразвукового устаткування

Ультразвукові комплекси для зварювання в незалежності від фізико-механічних властивостей, що зварюються матеріалів, має одну загальну структуру, і складаються з наступних вузлів:

1. Джерело живлення;
2. Апаратура керування зварювальним циклом;
3. Механічна коливальна система;
4. Привод тиску.

Основним елементів даного устаткування є механічна коливальна система, тому що саме коливальна система задає специфіку устаткування й технології [1].

Призначення й роль коливальної системи полягає в перетворенні електричної енергії в механічну. Але це не єдина роль системи, передача отриманої енергії в зону зварювання також є роботою коливальної системи. Незалежно від змін опору навантаження система відповідно повинна працювати із граничним коефіцієнтом корисної дії на резонансній частоті [1].

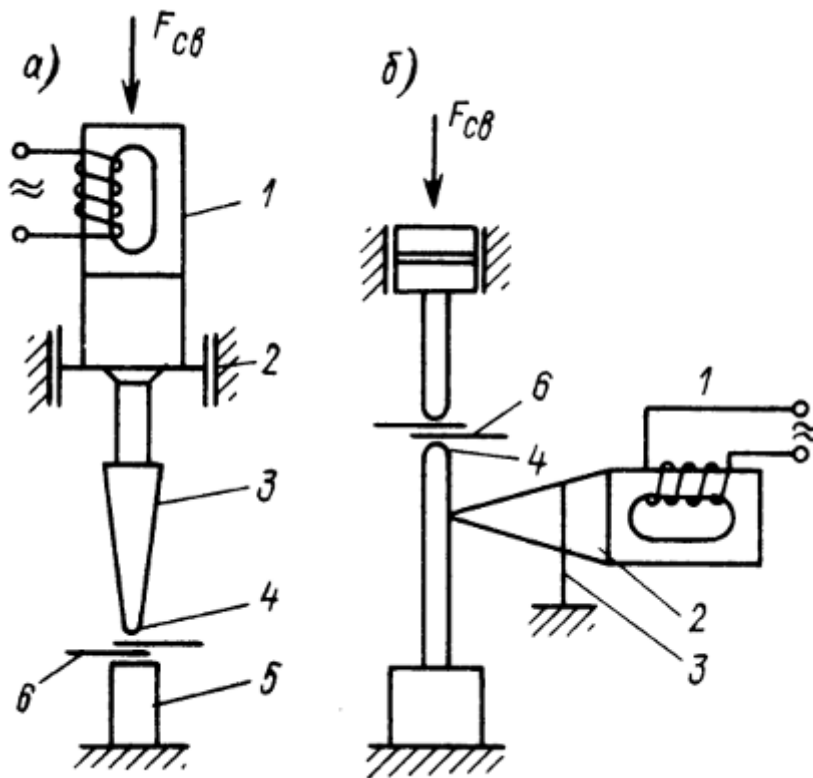
Електромеханічні перетворювачі 1 переважно виготовляються з магнітострикційних матеріалів таких як: пермендюр, нікель, титанат барію й інших матеріалів, що володіють магнітострикцією. Через дію змінного електромагнітного поля на магнітострикційний перетворювач, у перетворювачі з'являються механічні напруги, які у свою чергу

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

викликають пружні деформації матеріалу. Отже, джерелом механічних коливань є магніострикційний перетворювач [1].

Хвилевідна ланка 2 призначене для передачі енергії зварювальному наконечнику. Дана ланка забезпечує належні збільшення амплітуди коливань зварювального наконечника в порівнянні з амплітудою вихідних хвиль перетворювача, трансформує опір навантаження й концентрує енергію [1].

Таким чином, розглянута система інтерпретується як система з розподіленими параметрами, а це означає, що дана система має нескінченне число ступенів вільностей й власних частот [1].



1 – перетворювач; 2- концентратор коливальної швидкості; 3 – хвилевідна ланка; 4 – зварювальний наконечник; 5 – опора; 6 – деталі, що зварюються

а) Для зварювання пластмас б) Для зварювання металів

Рисунок 1.3 – Типові коливальні системи для зварювання

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

### 1.4.3 Комплекс для ультразвукового зварювання пластмас

На рисунку 1.4 представлений технологічний комплекс ультразвукового зварювання листових пластмас.



Рисунок 1.4 - Технологічний комплекс ультразвукового зварювання

Дане устаткування являє собою малогабаритний компактний ультразвуковий генератор з комплектом необхідних пристроїв, для дрібносерійного виробництва, для клепки й крапкового зварювання деталей різної конструкції.

Завдяки дослідженням процесу ультразвукового зварювання створений комплекс ручного крапкового ультразвукового зварювання листових пластмас.

У комплекс входять такі елементи як:

- 1) Малогабаритний ультразвуковий генератор;
- 2) Набір змінного зварювального інструмента;
- 3) Пристрій ручного крапкового ультразвукового зварювання.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики ультразвукового генератора

Найменування параметрів і одиниць виміру	Значення
Напруга живильної мережі, В	220
Частота мережі, Гц	50
Споживана потужність, кВт	0,85
Потужність вихідна, кВт	0,4
Робоча частота, Гц	22
Габаритні розміри, мм	285×360×180
Маса, кг	8

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики ультразвукового пристрою

Найменування параметрів і одиниць виміру	Значення
Напруга живильної мережі, В	220
Частота мережі, Гц	50
Споживана потужність, кВт	0,85
Потужність вихідна, кВт	0,4
Робоча частота, Гц	22
Габаритні розміри, мм	285×360×180
Маса, кг	8

Перелік, що зварюються термопластів:

- 1) Полістирол;
- 2) Поліметилметакрилат;
- 3) Акрилонітрилбутадиенстирол;
- 4) Непластифікований полівінілхлорид;
- 5) Полісульфон;
- 6) Полікарбонат;

- 7) Поліамід скло наповнений;
- 8) Поліетилен;
- 9) Поліпропілен.

Таблиця 1.4 – Режими зварювання

Найменування параметрів і одиниць виміру	Значення
Товщина пластмас, що зварюються, мм	1,5-4,5
Діаметр зварювальної крапки, мм	8-10
Сила притиск зварювального інструмента, кгс	0,5-2,5
Час зварювання, с	1-5
Амплітуда коливання робочого торця, мкм	50-70
Частота коливань робочого торця, Гц	22±0,5

На рисунку 1.5 показаний процес зварювання й одержувані зварені крапки. Існує ультразвукове зварювання «близького поля» і «далекого поля».

Суть цих поділів полягає у відстані між зварювальним наконечником і місцем проведення зварювання. Якщо ж говорити про цифри, то при близькому полі ця величина становить не більш 6 мм. Усі інші значення, що перевищують 6 мм, ставляться до далекого поля. Переважно намагаються проводити зварювання «близького поля» там, де це неможливо роблять зварювання «далекого поля».

Зварена крапка має гладку поверхню й форму кулястої западини й тороїдального виступу як видно з рис. 1.6. Подібна геометрія робочої частини хвилеводу забезпечує надійне з'єднання.



Рисунок 1.5 – Зварювання термопластов



Рисунок 1.6 – Зварені крапки

Гарна енергоефективність досягається завдяки тому, що немає необхідності в значних витратах повітря, а так само не використовується водяне охолодження і так далі.

Так само варто відзначити, що при використанні ультразвукового

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

зварювання не потрібні додаткові видаткові матеріали такі як:

- 1) Затискачі;
- 2) Припоїв;
- 3) Флюс
- 4) Заклепки;
- 5) Клеї;
- 6) Смоли;
- 7) Різні допоміжні пристосування.

Предметом дослідження даної роботи є один з вузлів даного комплексу ультразвукового зварювання, а саме магніострикційний перетворювач, а точніше магніострикційні пластини з яких складається магніострикційний пакет.

#### 1.4.4 Магніострикційний перетворювач

Магніострикційний перетворювач являє собою сердечник з магніострикційного матеріалу й виконує функцію перетворення енергії магнітного поля в енергію механічних коливань, що робить магніострикційний перетворювач важливим вузлом даного устаткування [4].

Перетворювач складається з магніострикційного пакета, перехідника й хвилеводу, Рисунок 1.7 схематично показує пристрій, потрібно розуміти, що на рисунку показана спрощена схема без обмотки й інших необхідних для повноцінної роботи речей, зв'язано це з тим, що робота в дослідження велася безпосередньо з магніострикційним пакетом і перехідником. Відповідно акцент робиться на цих деталях.

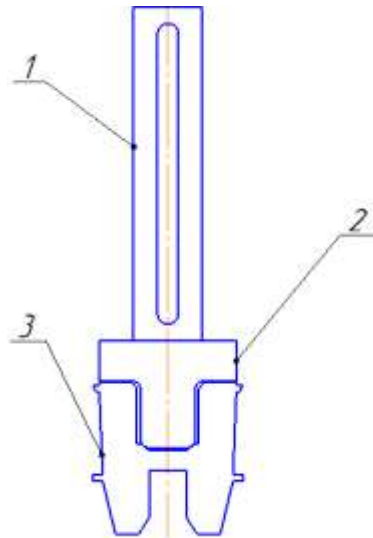
Перетворюючим елементом у даній конструкції є сердечник, перевагою таких сердечників є відсутність спеціальних вимог до електроізоляції [5].

Магніострикційний перетворювач досить трудомісткий у виробництві, що визначає дорожнечу виробу, потрібно багато технологічних прийомів

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

при виробництві.

Особливо в тому випадку, коли в якості магнітострикційного матеріалу використовується пермендюр. Це обумовлюється тим, що необхідно враховувати механічні й магнітні властивості сплаву одночасно при термообробці.



1 – магнітострикційний пакет; 2 –перехідник; 3- хвилевід

Рисунок 1.7 – Спрощена схема магнітострикційного перетворювача

Магнітострикційний пакет являє собою зібрані в пакет штамповані пластини з магнітомягкого матеріалу як на рисунку 1.8. Особлива увага приділяється матеріалу пластин у цьому випадку магнітострикційні пластини зі сплаву 49К2ФА, даний сплав також називається пермендюр. Перехідник виготовляється зі сталі 40 і з'єднується з пакетом шляхом пайки, після чого вкручується в титановий хвилевід.

Так само можливий варіант склеювання або ж спаювання прямо пакета й хвилеводу. Склеювання припускає підвищення поздовжньої стійкості перетворювача, але застосовується у випадку багато пакетних магнітострикційних перетворювачів з рівномірним полем випромінювання

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

[3].

Пайка титану й магніострикційного пакета ускладнено багатьма факторами, одним з таких є, що пайка відбувається після термообробки пластин і повторний тривалий вплив високих температур може порушити структуру відпалених пластин.

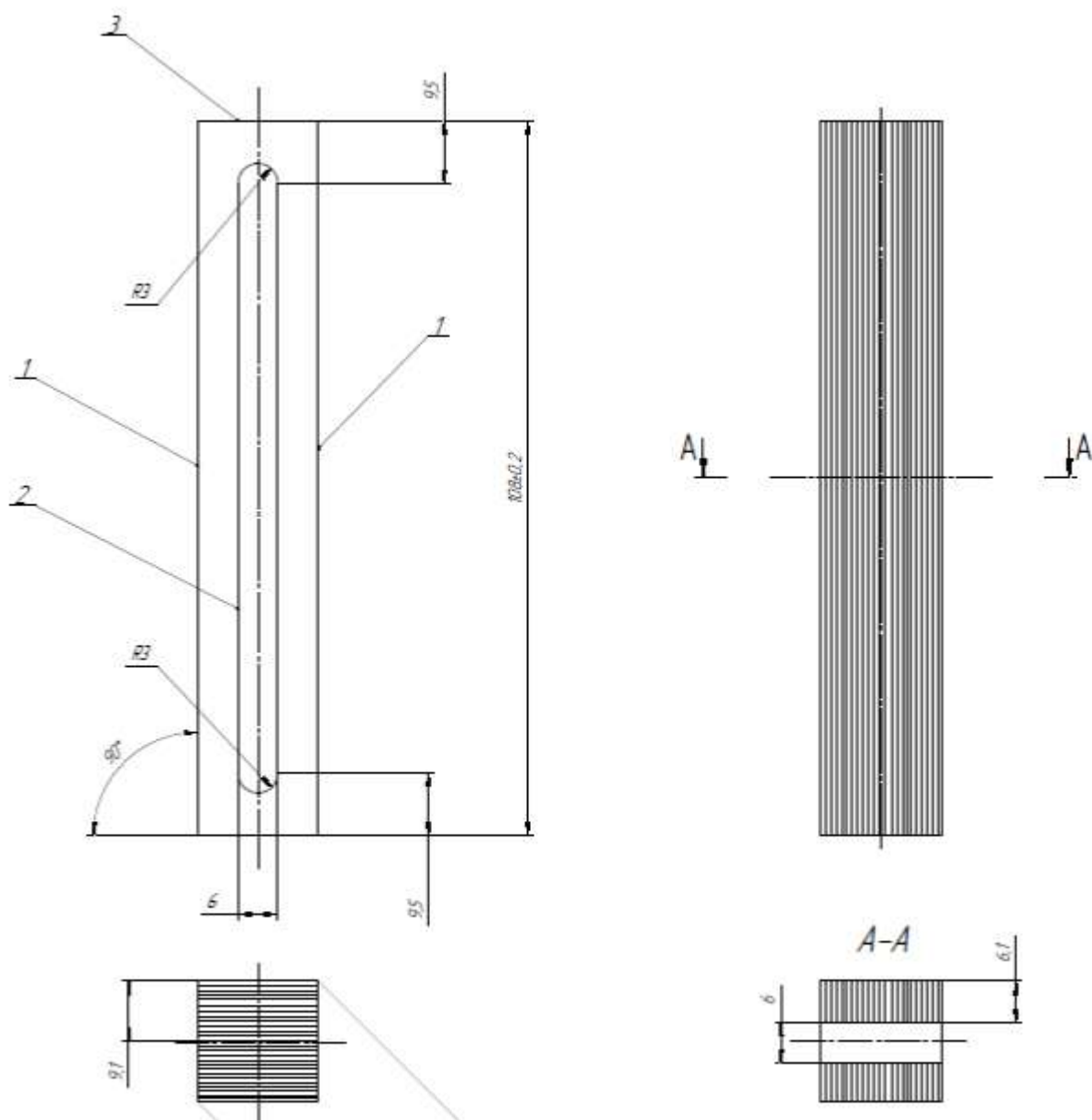


Рисунок 1.8 – Пакет магніострикційний

Пластини збирають у пакет у певній кількості, кількість прямо залежить

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

від товщини пластин і необхідної амплітуди коливальної системи.

Магнітострикційні пластини показано на рисунку 1.9. Розміри пластин становлять: довжина 108 мм, ширина 19 мм, товщина 0,2 мм



Рисунок 1.9 – Магнітострикційні пластини зі сплаву 49К2ФА

#### 1.4.5 Властивості й особливості магнітострикційних матеріалів

Пермендюр сплав кобальту із залізом і ванадієм. Саме даний сплав із чудовими магнітострикційними властивостями використовується в комплексі ультразвукового зварювання, а якщо точніше саме цей сплав відповідає за створення коливальної системи.

Прецизійний сплав 49К2ФА, також відомий як пермендюр зараховується до групи магнітомягких матеріалів, що володіють спеціальними властивостями, що володіють високою індукцією насичення.

При складі 50% на 50%, тобто половина кобальту, і половина заліза індукція насичення доходить до піка свого значення, ванадій додають для підвищення пластичності сплаву в районі 2% [6].

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таким чином, сплав у якому 49% Co, 49% Fe і 2%V називають пермендюрором [6].

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сплаву 49К2ФА в %

Fe	Co	V	C	Si	Mn	Ni	S	P
47-50	48-50	1,7-2	до 0,03	до 0,15	до 0,3	до 0,3	до 0,01	до 0,01

Такий склад визначає головні властивості прецизійного сплаву, сплав 49 К2ФА має великої проникності при високому показнику  $980^{\circ}\text{C}$ , також не варто забувати про високий показник магнітного насичення наближеним до  $2,35\text{ Т}$  [6].

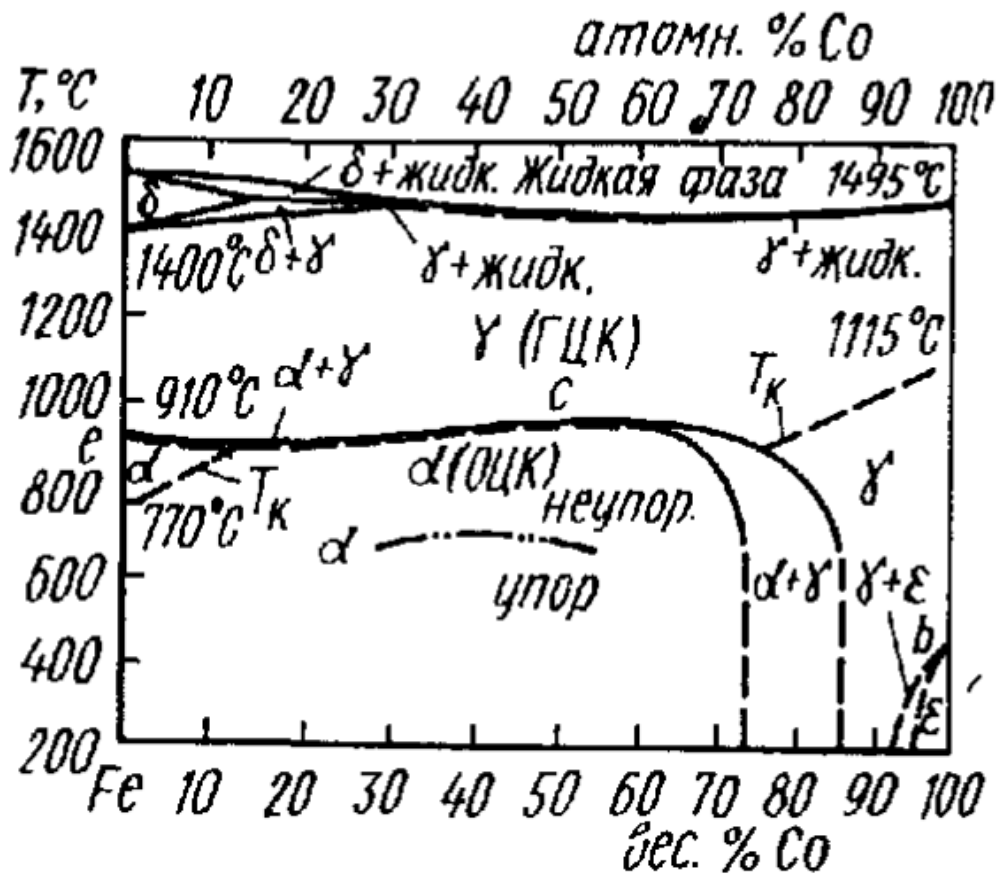


Рисунок 1.10 – Діаграма фазової рівноваги системи залізо - кобальт

На рисунку 1.10 діаграма фазової рівноваги системи залізо – кобальт і

як видно додавання 2%V супроводжується малопомітним зміною даної діаграми [6].

Таблица 1.6 – Фізичні властивості пермендюра

Наименование параметров и единиц измерения	Значение
Температура плавления, °С	1370-1400
Рабочая температура, °С	0-500
Теплопроводность, Вт/(м·К)	55,4-75,5
Модуль упругости, МПа	2,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	8,1
Магнитострикция насыщения	+67·10 <sup>-6</sup>
Магнитная индукция насыщения, Тл	2,4
Коэрцитивная сила, А/м	120
Начальная относительная магнитная проницаемость	800
Максимальная относительная магнитная проницаемость	6000
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	0,4·10 <sup>-5</sup>
Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	456

Група прецизійних сплавів, у тому числі й пермендюр мають властивості ферромагнетика, незначними втратами на гістерезисі, високими показниками магнітної проникності при невеликій коерцитивній силі й іншими спеціальними якостями. Намагнічування в сплаві 49 К2ФА відбувається за рахунок зсуву доменних границь [7].

Напруженість магнітного поля охарактеризовує коерцитивну силу по індукції, необхідну для зміни величини магнітної індукції. Від залишкової величини до повного розмагнічування.

Магніто-м'які матеріали по типу сплаву 49 К2ФА досить легко намагнічуються й розмагнічуються. А ще мають відмітну рису в виді вузької петлі циклу гістерезису [7].

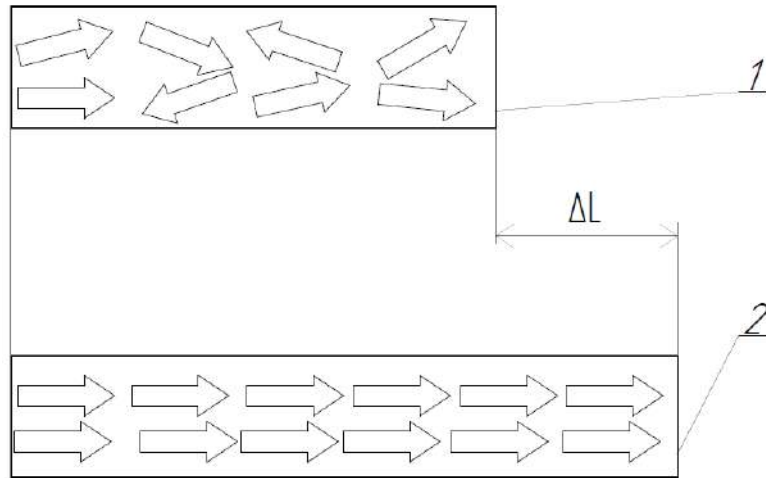
Таблиця 1.7 – Механічні властивості

Наименование параметров и единиц измерения	Значение
Предел текучести, МПа	345
Кратковременный предел прочности, МПа	490
Относительное удлинение при разрыве, %	1

«Зміна орієнтації мимовільної намагніченості супроводжується деформацією кристалічних ґрат, це явище називається магніострикцією. Магніострикційні деформації, як і багато інші, створені дефектами кристалічних ґрат або зовнішніми напругами, супроводжуються пружними напруженнями кристалічних ґрат. При намагнічуванні пружні Магніострикційні деформації можуть переміщатися по кристалічним ґратам і взаємодіяти із пружними полями дефектів кристалічних ґрат» [6, с. 16].

Якщо двома словами описати ефект магніострикції, то суть даного явища полягає в тому, що при намагнічуванні магніострикційного тіла, тіло на яке впливають, буде міняти свою форму й розміри. Якщо магніострикційний матеріал буде перебувати в магнітнім полі, то матеріал почне деформуватися й змінювати свої розміри якусь величину.

Для прикладу на рисунку 1.11 схематично показаний ефект магнітострикції, де при накладенні магнітного поля розмір міняється на величину  $\Delta L$ .



1 – феромагнітний стрижень у стані спокою; 2 – феромагнітний стрижень при впливі магнітного поля

Рисунок 1.11 – Магнітострикційний ефект

Внаслідок володіння такими якостями сплав 49К2ФА використовують для виготовлення полюсних наконечників, сердечників, соленоїдів і магнітів.

Завдяки застосуванню сплаву типу пермендюр представляється можливим забезпечити досягнення максимальної індукції при нечисленних витратах енергії.

Також сплави 49К2ФА застосовуються в радіотехніку, електротехніку, для виробництва датчиків магнітних полів, магнітних екранів, дроселів. У сфері мікроелектроніки матеріал 49К2ФА застосовується для виробництва елементів інтегральних схем, імпульсних трансформаторів, модуляторів, електромашин різних типів, датчиків, перетворювачів [6].

### 1.5 Застосовуваний спосіб пайки

Через того, що магнітострикційний пакет це набір пластин, а один з його торців з'єднується з перехідником, показаним на рисунку 1.12.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Одним з найкращих і ефективних методів створення з'єднання між перехідником і магніострикційним пакетом є індукційна пайка.



Рисунок 1.12 – Сталевий перехідник

Вибір саме такого типу пайки зв'язаний безпосередньо з тим, що місце пайки розташовується не занадто сприятливо для інших методів, але основна причина це магніострикційний пакет, а точніше його структура. Тому що пайка проводиться після термічної обробки пластин, необхідно уникати тривалих впливів високих температур, застосовуючи локальне нагрівання.

Пайка проводиться на установці височастотного індукційного нагрівання СЕЛТ-001-15/44Т, технічні характеристики наведені нижче в таблиці 1.9.

Таблица 1.9 – Технические характеристики установки СЕЛТ-001-15/44Т

Наименование параметров и единиц измерения	Значение
Максимальная потребляемая мощность, кВт	15
Максимальная колебательная мощность, кВт	14,2
Коэффициент полезного действия, %	95
Напряжение питающей сети, В/Гц	380/50
Максимальный потребляемый ток фазы, А	25
Частотный диапазон преобразования, кГц	15-50
Выходное напряжение преобразователя, В	33
Максимальный выходной ток преобразователя, А	600
Минимальный расход охлаждающей воды индуктора, л/мин	3
Номинальная продолжительность включения, %	100
Время непрерывной работы, ч	16

Вибір припою виходив із уже описаних вище умов, необхідно використовувати такий припій, який забезпечить затікання в зазори й забезпечить найбільш швидку пайку, що б уникнути ушкодження структури магніострикційних пластин. А так само варто враховувати матеріали, що паяються, Сталь 40 і сплав 40К2ФА. Такими припоями виступають припій ПСр 40 і ПСр 45. Температура пайки даних припоїв варіюється в межах 720-750 °С, що для даних матеріалів, що паяються, дуже добре. Застосовуваний флюс при таких припоях є ФК-250.



Рисунок 1.13 – Установка СЕЛТ-001-15/44Т

Процес пайки можна описати так, виробу в зібраному виді містяться в індуктор, після цього засипається флюс замість пайки. Після того як флюс розплавиться, а температура за показниками пірометра досягне інтервалу в 700-750 °С починається пайка, у цей момент підводять пруток припою, облужую поверхні магніострикційного пакета й перехідника й паяються до формування жолобника. Після установка відключається, а деталі остигають. На рисунку 1.14 показаний результат індукційної пайки по даному режиму.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Даний спосіб добре себе зарекомендував, але є можливість знизити витрати виробництва магніострикційного перетворювача заміною способу індукційної пайки на грубу пайку. А саме шляхом заміни припоїв і виключення флюсу з технологічної операції, а також є можливість об'єднання декількох технологічних операцій, як термообробка й пайка.



Рисунок 1.14 – Результат індукційної пайки

### 1.6 Завдання магістерської роботи

Через налагодження дрібносерійного виробництва комплексів ультразвукового зварювання листових пластмас, у стінах університету, виникла ідея про проведення дослідження можливостей пайки й термообробки магніострикційних матеріалів в електрод печах опору з контрольованою атмосферою.

Тому що існуючі методи пропонують, досить небезпечні й дорогі

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

способи, питання про пошук альтернативи залишається відкритим. На даний момент відпал проводиться у вакуумних печах, але вакуумне устаткування крім того, що дороге, так ще й вимагає кваліфікованих фахівців, також варто відзначити тривалість такого процесу, тому що нагрівання й охолодження таких печей забирає час, який можливо скоротити шляхом використання печей з контрольованої атмосферою.

А перспектива сполучити кілька процесів таких як, пайка, відпал і оксидування виглядає дуже привабливою й дозволить скоротити як час виробництва, так і собівартість магнітострикційних перетворювачів.

Але для досягнення або наближення до подібних результатів необхідно позначити й розв'язати поставлені завдання:

1. Дослідження можливостей термічної обробки магнітострикційних матеріалів в електропечі з контрольованою атмосферою;
2. Дослідження можливостей пайки магнітострикційних матеріалів способом грубої пайки;
3. Дослідження можливостей об'єднання таких технологічних операцій як, пайка, відпал і оксидування в один термічний цикл.

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

## 2 Дослідження можливості термообробки

### 2.1 Методика проведення експериментального відпалу

Завдяки літературному й монографічному аналізу, були визначені параметри режимів експериментальних термообробок, вони будуть наведені далі, але спочатку необхідно описати використану методику й устаткування.

Магніострикційні пластини сплаву 49К2ФА поставлялися замовником і додаткових операцій перед проведенням термічної обробки не було потрібно. Для проведення одного відпалу використовувалося чотири магніострикційні пластини.

Порядок проведення досвіду для всіх випадків в основному був єдиний і описаний нижче.

Складання випробуваних матеріалів проводилося в такий спосіб, пластини (Рисунок 2.1) у кількості чотирьох штук затискалися у струбцину (Рисунок 2.2), струбцина також поставлялася замовником і підходить для багаторазових впливів високих температур, пластини стягалися болтами, але не сильно, для того що б провести оксидування пластин. Електропіч включалася до початку даного процесу, тому що завантаження відбувалося по досягненню необхідної температури, зв'язано це з тим, що б, не піддавати пластини надмірному впливу температури.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



Рисунок 2.1 – Магнітострикційні пластини



Рисунок 2.2 - Струбцина

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Після складання пластин у струбцину впливала підготовка контейнера, контейнер представлено на рисунку 2.3. Контейнер попередньо зачищався наждаковим папером. У контейнер засипався дрововугельний карбюризатор в обсязі приблизно 60-70 г (Рисунок 2.5). Необхідна кількість вираховувалася залежно від обсягу контейнера, також варто враховувати, що це експериментальні досліди й на випадок чого, з надлишками карбюризатором нічого не трапиться.



Рисунок 2.3 – Контейнер



Рисунок 2.4 – Підготовка контейнера



Рисунок 2.5 – Деревовугольний карбюратор

Після того як засипався карбюратор у контейнер укладалася струбцина, після контейнер закривався кришкою й тривав процес підготовки контейнера. А саме установка термомари (Рисунок 2.6) для вимірів температури усередині контейнера для цих цілей використовувався вимірювач ТРМ-202 (Рисунок 2.7). Нюанси установки термомари полягають у тому, що необхідно щільно затиснути термомару між кришкою й дном контейнера, саме так виміри температури будуть мати найвищу точність, а якщо ні, то термомара буде заміряти температуру всього чого завгодно крім необхідної температури усередині контейнера. Помилка, допущена при установці, проявляється в різниці температур показуваних електропіччю й

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк. 38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурою вимірника. Різниця в більшості випадків становив порядку 30-35 °С, в випадку коли установка відбувалася успішно, різниця температур була відсутня або ж становила десяті частки.



Рисунок 2.6 – Установка термопары



Рисунок 2.7 – Вимірник ТРМ-202

Після установки термопар тривало складання, контейнер необхідно герметизувати. Герметизація проводилася шляхом укладання в затвор контейнера піску та деревовугольного карбюратора в три шари як показано на рис. 2.8, 2.9 і 2.10.

					МР ТАМ 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



Рисунок 2.8 – Укладання першого шару



Рисунок 2.9 – Укладання другого шару

Подібне укладання необхідне для того, щоб максимально обмежити влучення повітря під кришку контейнера. Спочатку першим шаром засипається пісок в обсязі  $1/3$  від обсягу затвора, після засипається шар деревовугольного карбюратора, який при вигорянні буде обмежувати вступ повітря усередину контейнера, третім шаром йде пісок також у кількості  $1/3$ , після все необхідно втрамбувати й досипати пісок поверх третього шару. Пісок використовується прожарений, кількість піску вважати не доводиться, тому що необхідно забезпечити щільну герметизацію.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рисунок 2.10 – Укладання третього шару

Після того як пісок утрамбований і досипаний поверх третього шару, підготовку контейнера можна вважати завершеною.

Контейнер готовий до завантаження, необхідно почекати поки пекти набере необхідну температуру, після чого проводилося завантаження.

Для відпалу використовувалася лабораторна електропід опору СНОЛ 6/12 показана на рисунку 2.11, також для завантаження використовувалися рогач і вогнетривкі рукавички, показані на рисунку 2.12.



Рисунок 2.11 – Лабораторна електропід опору СНОЛ 6/1

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 2.12 – Рогач і вогнетривкі рукавички

Після досягнення електропідігрітою заданої температури проводилося завантаження підготовленого контейнера, тому що для вимірів додатково використовувався вимірник, завантаження проводилося з лаборантом для того щоб не порушити контакт термопари й безпечно встановити вимірник.

По завершенню даної операції, проводилися виміри температури в певні проміжки часу, і властиво проводилася операція термообробки.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рисунок 2.13 – Процес відпалу

## 2.2 Експериментальні дані дослідів по термообробці

Теоретичним і експериментальним шляхом були встановлені оптимальні параметри режимів термічних обробок. Використавши аналіз минулих робіт проведених під час досліджень, були враховані недоліки й позитивні фактори [20, 21, 22, 23].

Виміри температури велися кожні 5-10 хвилин залежно від досліду, графіки будувалися із кроком в 30 хвилин, у деяких дослідах замір починався з моменту завантаження контейнера в піч, далі будуть представлені режими й короткий опис проведених дослідів. Для зручності буде введена нумерація дослідів, але це не означає дійсний номер досліду, для висвітлення в даній роботі вибиралися досліди по відмінностях у режимах і одержуваних результатах, а також різний період часу проведення.

Дослід № 1, нагрів проводився до  $800^{\circ}\text{C}$ . І тривалість витримки 30

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

хвилин. І тривалість охолодження 4 години, після контрольованого охолодження йшло охолодження з піччю графік представлено на рисунку 2.14.

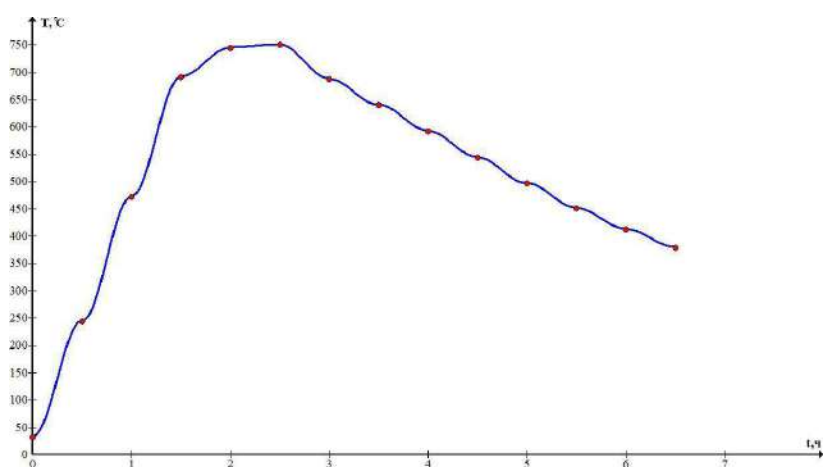


Рисунок 2.14 – Термічний цикл дослід №1

Дослід № 2, нагрівши печі проводився до 750<sup>0</sup>С , далі охолодження з піччю графік показаний на рисунку 2.15.

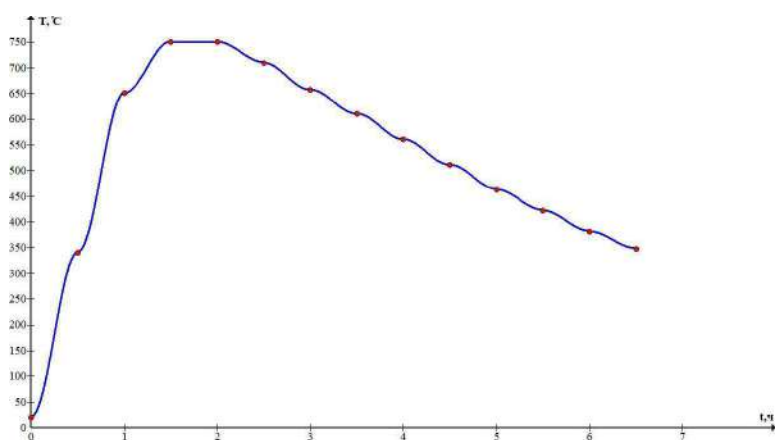


Рисунок 2.15 - Термічний цикл досвіду №2

Дослід № 3, Нагрівши печі до 750<sup>0</sup>С охолодження далі довільно з піччю, особливість цього дослід в тому, що було додана вода в кількості 8 грам усередину контейнера, графік представлено на рисунку 2.16.

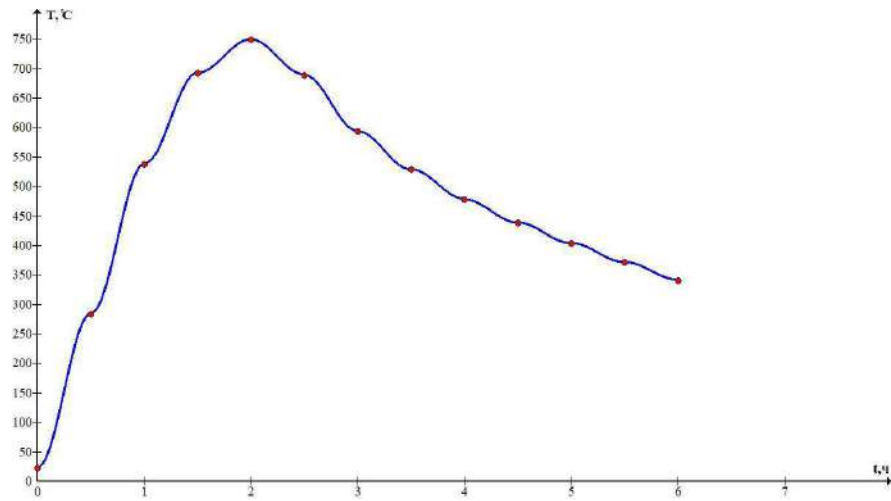


Рисунок 2.16 - Термічний цикл досліді №3

Дослід № 4, нагрівши печі опускався й не замірявся, виміри після довільного охолодження з піччю графік представлено на рисунку 2.17.

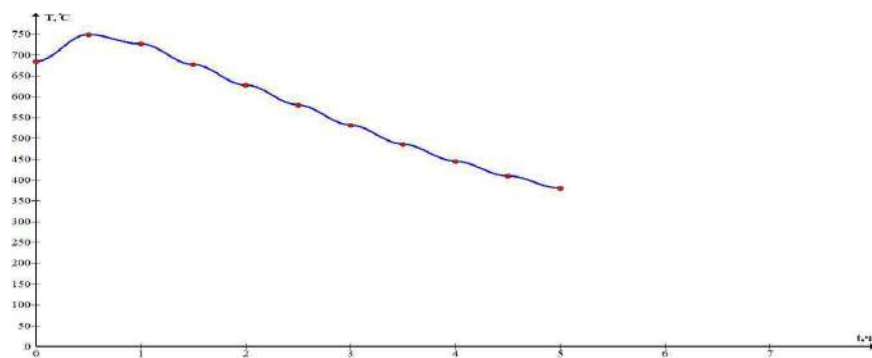


Рисунок 2.17 - Термічний цикл досліді №4

Дослід № 5, у даному досліді був замінений старий прожарений пісок, на новий прожарений, замір температури вівся після завантаження контейнера в піч. Нагрівання до 750 °C. Далі охолодження з піччю. Графік наведено на рисунку 2.18.

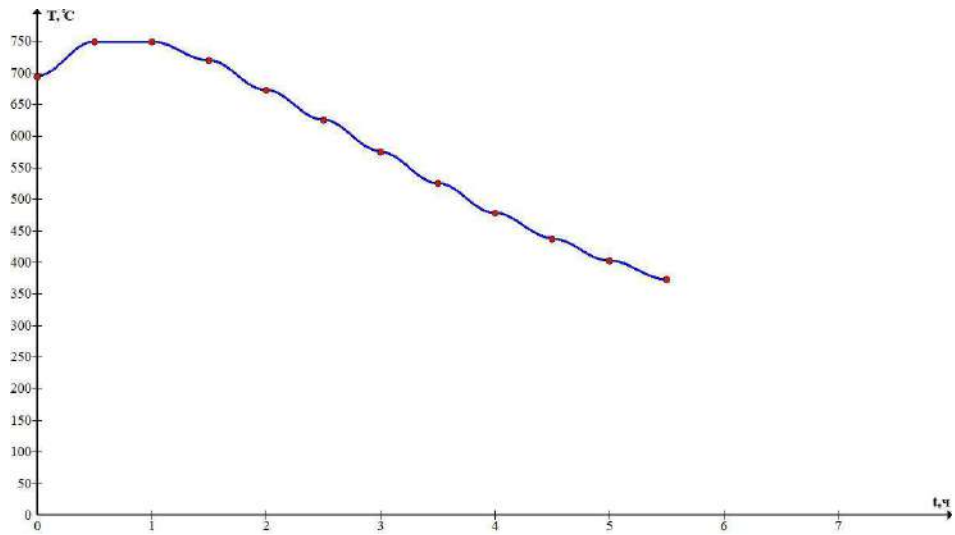


Рисунок 2.18 - Термічний цикл дослідів №5

### 2.3 Аналіз отриманих результатів відпалу

Після проведення ряду випробувань стало зрозуміло, що є недоліки, припущення про нові параметри були висунуті після одержання макрошліфів, а так само пластини після дослідів 2 і 3 не мали пластичність і були дуже тендітні, досліді 1, 4 і 5 теж були тендітними, але не настільки як 2 і 3.



Рисунок 2.19 – Магнітострикційні пластини після відпалу

Були отримані мікро- і макрошліфи для порівняльного аналізу, для порівняння було обрано чотири напрямки для подальшого порівняння між собою та вивченої літератури. Як стало зрозуміло з аналізу літератури, якщо пластини після відпалу має гарну пластичність, то відпал можна вважати успішно проведеним, але, проте, для повноти даних необхідно проводити виміру магнітних властивостей. На жаль, такою можливістю має тільки замовник і тому основними орієнтирами служили пластичність, утворення необхідної структури й утворення суцільної оксидної плівки.

Для порівняння зразків було обрано 4 виду пластин і їх структур.

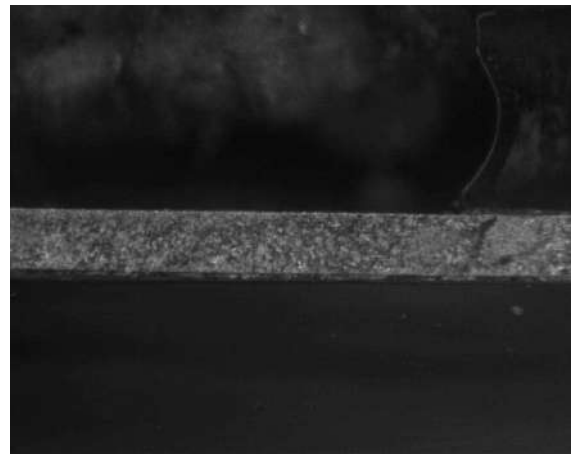
Пластинки для шліфів вирізалися поздовжні й поперечні, після чого ретельно зачищалися й заливалися епоксидною смолою.

По першому погляду на макрошліфи можна зрозуміти, що для одержання оптимальних результатів необхідно прагнути до дрібнозернистої структури як на рисунку 2.22. Завдяки рисунку 2.24 можна зрозуміти, що слід уникати надмірно високих температур.

Рисунок 2.21, тому що в порівнянні з не відпаленими пластинами Рисунок 2.20 зерна структури менше. Також необхідно провести порівняльний аналіз мікрошліфів, після чого буде описаний діючий режим термообробки. Далі будуть представлені фотографії отриманих макрошліфів.

Порівняльний аналіз мікрошліфів показаних на рис. 2.24, 2.25, 2.26 і 2.27 дозволив зробити висновок про те, які параметри необхідно коректувати, що б розв'язати проблему окрихчування й провести успішний відпал магнітострикційних пластин.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

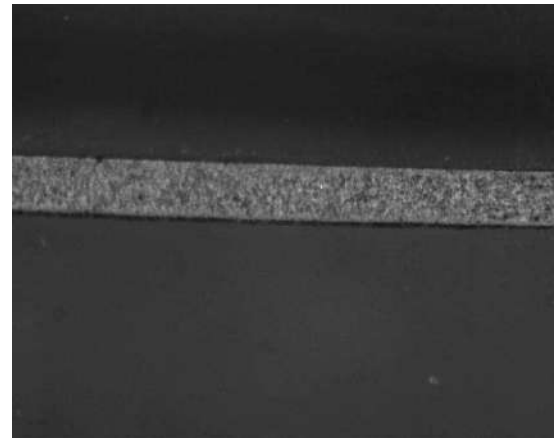
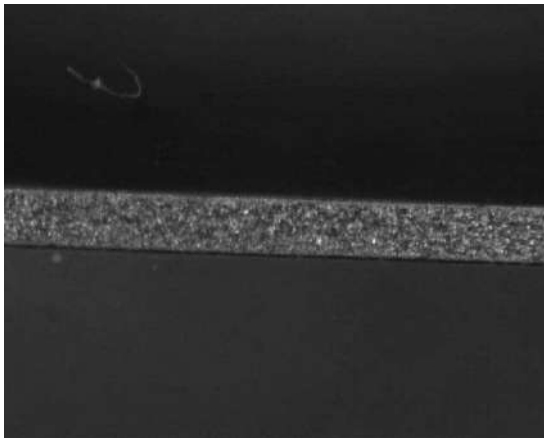


А

Б

А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.20 – Макрошліфи не відпалених пластин

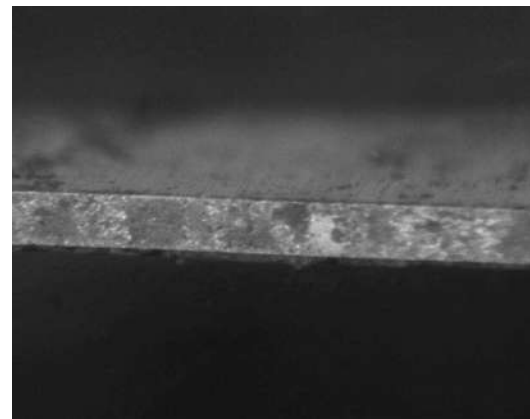
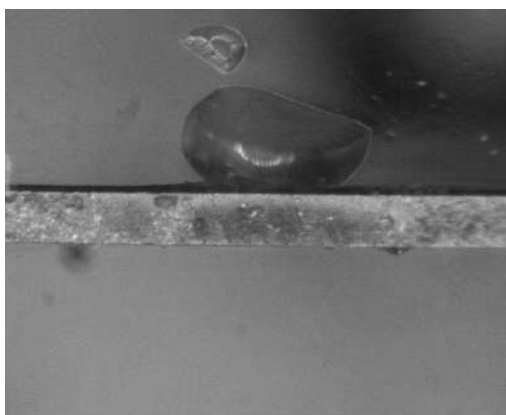


А

Б

А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.21 – Макрошліфи відпалених пластин при 750 °С



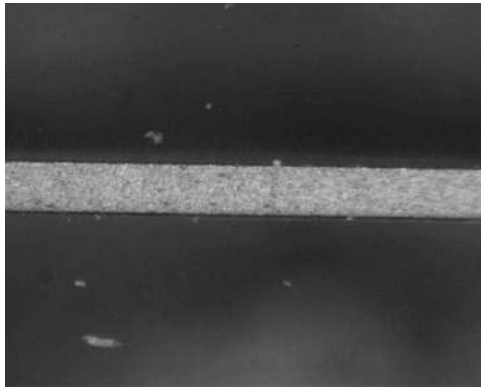
А

Б

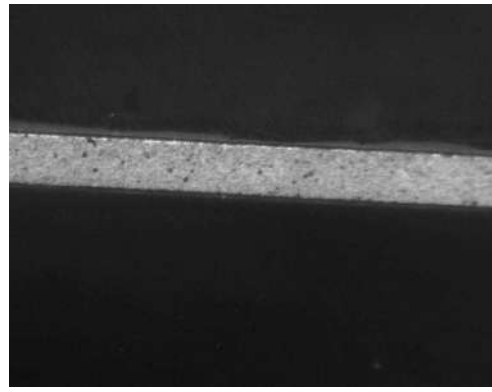
А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.22 – Макрошліфи відпалених пластин при 820 °С у низькому вакуумі

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



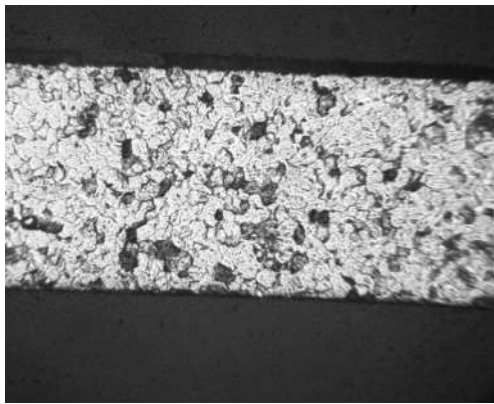
А



Б

А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.23 – Макрошліфи відпалених пластин при 950 °С



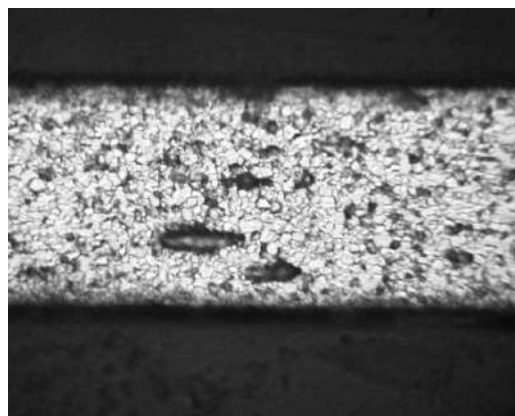
А



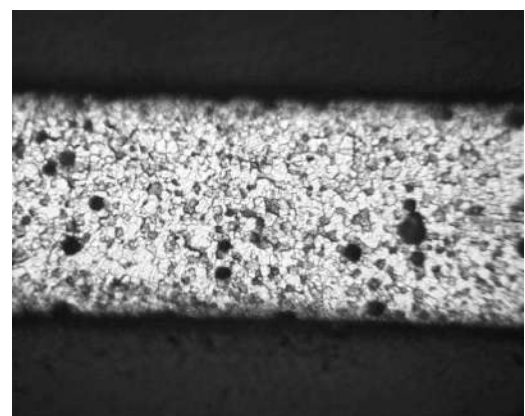
Б

А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.24 – Мікрошліфи не відпалених пластин



А



Б

А – поздовжній, Б - поперечний

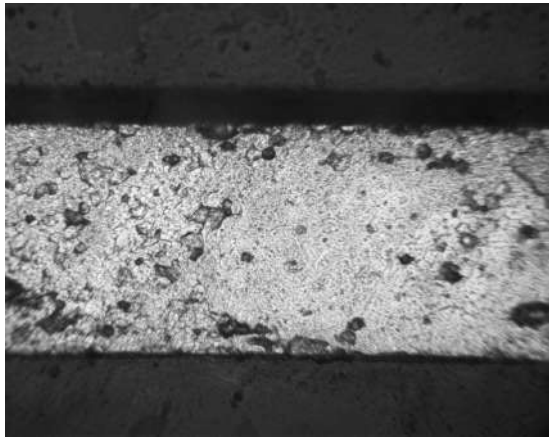
Рисунок 2.25 – Мікрошліфи відпалених пластин при 750 °С

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

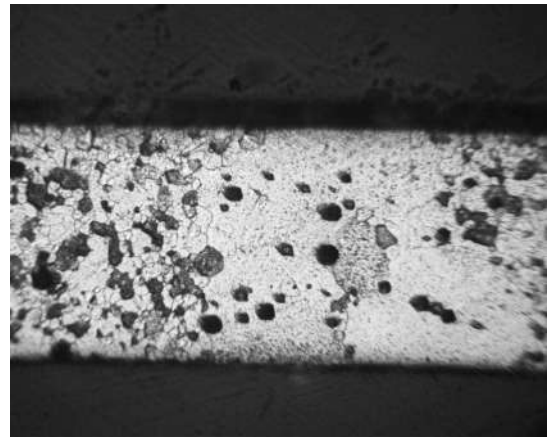
MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ

Арк.

49



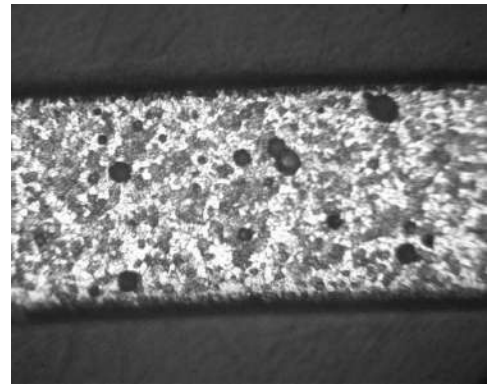
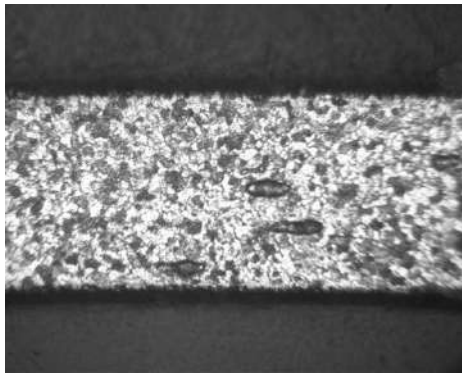
А



Б

А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.26 – Мікрошліфи відпалених пластин при 820<sup>0</sup>С у низькому вакуумі



А – поздовжній, Б - поперечний

Рисунок 2.27 – Мікрошліфи відпалених пластин при 950<sup>0</sup>С

Даними параметрами виявилися тривалість витримки й швидкість охолодження, було ухвалене рішення збільшити час витримки до 60 хвилин, а швидкість контрольованого охолодження знизити до 50 С/год. Дані зміни дозволили сформувати більш оптимальну структуру, а саме зменшити зерна структури.

Після ряду таких випробувань у всіх випадках пластини стали менш тендітними й піддаються пластичним деформаціям, отже, опираючись на літературну базу, можна припустити, що разом з механічними властивостями

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

покращилися й магнітні, але для підтвердження цих слів необхідні випробування магнітних властивостей. На жаль, через відсутність необхідного устаткування й методик проведення випробувань, дана перевірка залишається за замовником.

Але були проведені виміри електричного опору відпалених пластин, а також була складена порівняльна таблиця відпалених і не відпалених пластин. Використовувалися пластини із усіх відпалов, що представляли більш успішний результат.

Для зняття показань електроопору використовувався міст постійного струму М0-62 клас 0,1, дане устаткування представлено на рисунку 2.29.

Пластини затискалися в «замірній зоні» після чого подавалася напруга, величина якого регулювалася, Рисунок 2.30.



Рисунок 2.28 – Магнітострикційні пластини після скоректованого режиму термообробки

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51





Рисунок 2.30 – Процесс снятия показаний электроопору

Таблица 2.1 – Результат вимірів електроопору

Значения не отожженных пластин, мОм	Значения отожженных пластин, мОм
$54,9 \cdot 10^{-4}$	$706,9 \cdot 10^{-4}$
$52,3 \cdot 10^{-4}$	$20,2 \cdot 10^{-4}$
$47,8 \cdot 10^{-4}$	$56,4 \cdot 10^{-4}$
$55,7 \cdot 10^{-4}$	$203,2 \cdot 10^{-4}$
$47,6 \cdot 10^{-4}$	$312,2 \cdot 10^{-4}$
$49,9 \cdot 10^{-4}$	0,28
$48,9 \cdot 10^{-4}$	$324,2 \cdot 10^{-4}$
$55,7 \cdot 10^{-4}$	$425,9 \cdot 10^{-4}$
$62,9 \cdot 10^{-4}$	$49,61 \cdot 10^{-4}$
$49,2 \cdot 10^{-4}$	$46,3 \cdot 10^{-4}$

Продовження таблиці 2.1- Результат вимірів електроопору

Значення не отожжених пластин, МОм	Значення отожжених пластин, МОм
$50,8 \cdot 10^{-4}$	$109,5 \cdot 10^{-4}$
$55,6 \cdot 10^{-4}$	$69,7 \cdot 10^{-4}$
$52,5 \cdot 10^{-4}$	$67,9 \cdot 10^{-4}$
$47,7 \cdot 10^{-4}$	$61,5 \cdot 10^{-4}$
$48,9 \cdot 10^{-4}$	$63,7 \cdot 10^{-4}$
$54,9 \cdot 10^{-4}$	$135,2 \cdot 10^{-4}$
$49,9 \cdot 10^{-4}$	$53,7 \cdot 10^{-4}$
$47,7 \cdot 10^{-4}$	$58,8 \cdot 10^{-4}$
$53,7 \cdot 10^{-4}$	$89,6 \cdot 10^{-4}$
$49,6 \cdot 10^{-4}$	$183,3 \cdot 10^{-4}$
$52,2 \cdot 10^{-4}$	$156,6 \cdot 10^{-4}$

Провівши аналіз отриманих даних можна помітити значення, що як випадають, так цілком і прийнятні з даної таблиці впливає, що окисдування відбувається. Місцями різниця перевищує збільшення опору відпалених пластин перед не відпалені більш, ніж в 10 раз.

### 3 Дослідження можливостей пайки й сполучення

#### 3.1 Методика проведення експериментальної пайки в печі

Тому що дослідження можливості пайки проводилася в тому ж місці де й дослідження можливості термічної обробки, методика та устаткування практично схожі. Різниця, полягають у проведених операціях і використаних інструментах.

Порядок проведення досліду для всіх випадків в основному був єдиний і описаний нижче.

Спочатку включалася лабораторна електропеч опору, і виставлялися режими, паралельно нагріванню електропечі йшла підготовка матеріалів і контейнера до пайки та відпалу.

У якості зразка використовувалася пластинка сталі, тому що перехідник, з яким необхідно паяти, магніострикційний пакет теж виготовлений зі сталі. На рис. 3.1, 3.2 представлений метод одержання даних пластин.



Рисунок 3.1 – Підготовчий етап

Заготовка вирізалася з листової сталі товщиною 0,5 мм, за формою

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

підганялася під пайку з магніострикційними пластинами так, щоб була можливість укласти припій і був майданчик під утворення жолобників.



Рисунок 3.2 – Підготовчий етап

Після вирізки заготовки, на черзі була операція зачищення, наждаковим папером зачищалися контейнер, припої в даному дослідженні використовувалися латунний і мідні припої, а також сталеві заготовки та магніострикційні пластини.



Рисунок 3.3 – Зачищення поверхонь

Після механічної обробки впливало знежирення матеріалів, що паяються, для знежирення використовувався ацетон і технічна вата.



Рисунок 3.4 – Знежирення поверхонь, що паяються

Як поверхні були готові, проводилося складання в струбцину, спочатку укладалася сталева пластинка на один із країв струбцини після латунний припій, потім магніострикційна пластина, знову латунний припій і магніострикційна пластина й останнім укладався мідний пруток припою з боку торця отриманого шляхом укладання матеріалів один на одного. Після укладання всіх матеріалів у струбцину, струбцина стягалися болтами так, щоб матеріали щільно притискалися й у той же час були зазори для затікання припоїв.

На рис. 3.5, 3.6 і 3.7 показане поетапно те, що було описано вище. Після підготовки струбцини впливала підготовка контейнера, приблизно, як і при підготовці до відпалу, але з невеликою відмінністю.



Рисунок 3.5 – Укладання припою між сталевую й магніострикційною пластиною

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

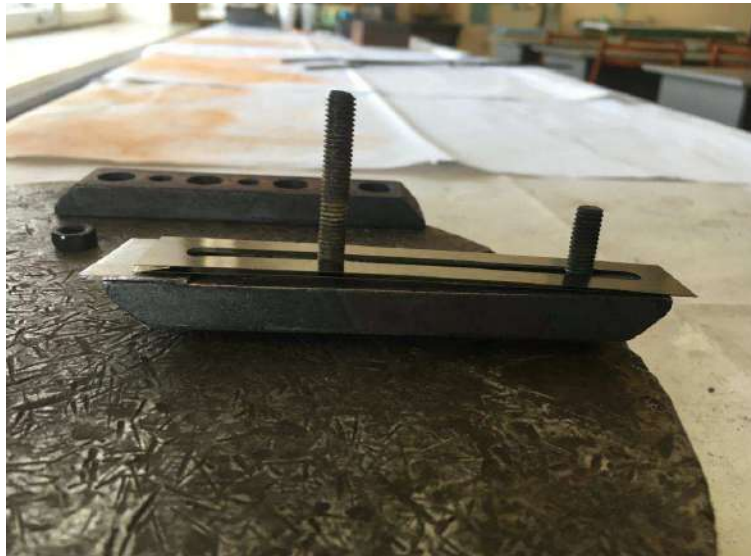


Рисунок 3.6 - Укладання припою між магнітострикційними пластинами



Рисунок 3.7 – Готова до пайки струбцина

Відмінність між підготовками полягає в тому, що необхідно акуратно укласти струбцину не ушкодивши цілісність готової конструкції, а так само не забути гранули цинку.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



Рисунок 3.8 – Складання контейнера

Інше складання відбувалося в тому ж порядку що й при підготовці до відпалу, акуратно встановлювалася термопара, після чого все закривалося кришкою, пропорції піску й деревовугольного карбюризатора такі ж як і при термічній обробці, головне забезпечити максимальну герметичність.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



Рисунок 3.9 – Готовий до завантаження контейнер

Після закінчення підготовчих операцій необхідно дочекатися поки електропіч досягне заданої температури і завантажити контейнер у піч.

### 3.2 Експериментальні дані дослідів по пайці

Тому що одна із завдань даної роботи це перевірка можливості сполучення процесів відпалу та пайки, то й досліді проводилися виходячи з даного завдання, також проводилися досліді й звичайної пайки, але їх графіки не несуть у собі особливої інформації. Але все-таки будуть описані словесно, так само як і представлені їхні результати. Для зручності буде введена нумерація, як і в минулій главі.

Вплив припоїв і парів цинку для того щоб подивитися на поведінку пластин після такого циклу графік представлено на рисунку 3.10.

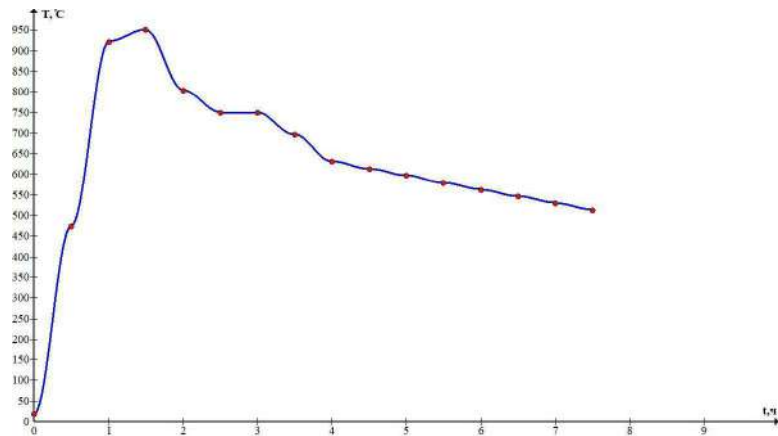


Рисунок 3.10– Термічний цикл сполучених процесів досліду №1

Дослід № 2, нагрівши електропечі до 950 °С, витримка при даній температурі 10 хв, охолодження далі довільно з піччю. У цьому досліді використовувався латунний припій і пари цинку. Виміри велися після завантаження контейнера, також опустилися виміри охолодження тому що їхнього динаміка вже відома графік представлений на рисунку 3.11.

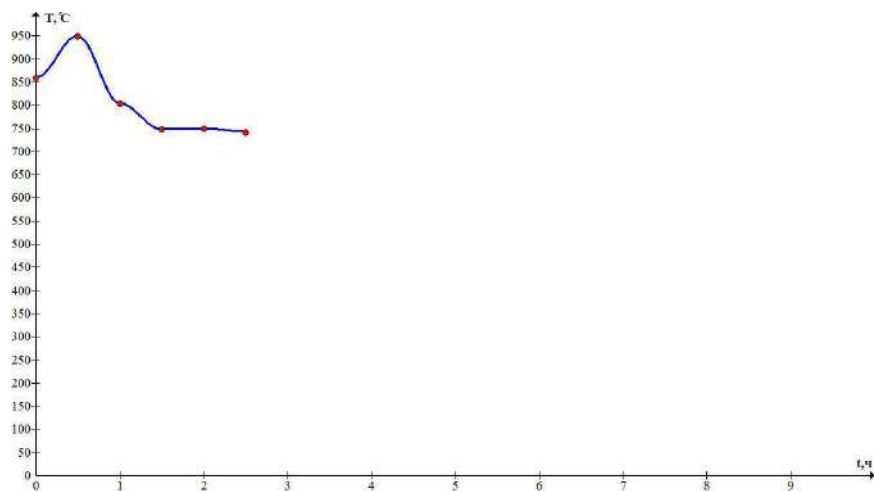


Рисунок 3.11- Термічний цикл сполучених процесів досліду №2

Дослід № 3, замір температури вівся після завантаження контейнера в піч, запис охолодження також не проводилася так, як динаміка охолодження відома. Нагрівання велося до 950 °С. У даному досліді використовувалися латунний і мідний припої, а також пари цинку. Графік

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

наведено на рисунку 3.12.

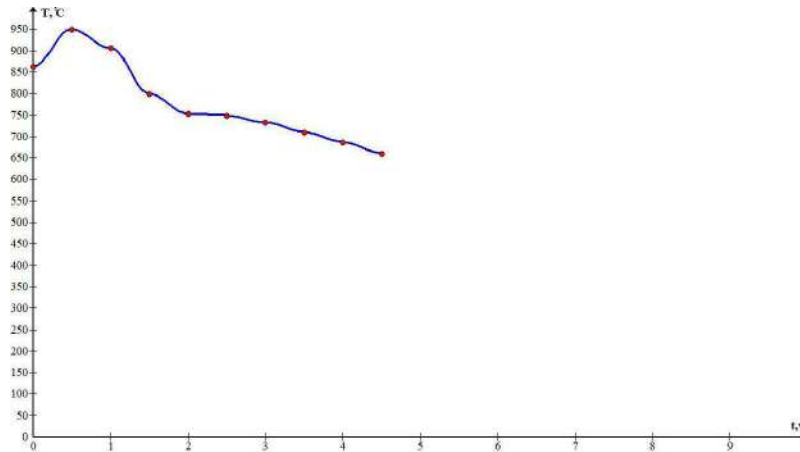


Рисунок 3.12- Термічний цикл сполучених процесів дослідів №3

### 3.3 Аналіз отриманих результатів пайки

Після проведення експериментальних дослідів по сполученню, були проведені досліді винятково по пайці, їх режим полягав у нагріванні печі до 950 °С, витримка 10 хвилин, по завершенню електропеч відключалася, а контейнер остигав на повітрі.

Далі представлені результати пайки у вигляді фотографій, після чого будуть підведені підсумки.



Рисунок 3.13– Результати дослідів №2

Не враховуючи, що струбцина спаялася з оброблюваними матеріалами, дослід завершився успішно, пайка відбулася, Магнітострикційні пластини

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

відпалені, але для більшого розуміння необхідні шліфи й випробування на розрив, на жаль, через постійне спаювання струбцини зі зразками, добитися необхідних даних не вийшло.

Далі будуть показані результати пайки без сполучення, тобто матеріали не підпадали під надмірний вплив високих температур тривалий час. Результати представлено на рис. 3.14, 3.15, 3.16 і 3.17.



Рисунок 3.14– Результати пайки без сполучення



Рисунок 3.15– Результати пайки без сполучення



Рисунок 3.16– Пайка з використанням обмазки крейдою струбцин



Рисунок 3.17– Результати пайки з використанням обмазки крейдою струбцин

Крейда покликана розв'язати проблеми спаювання струбцини з, матеріалами що паяються, допоміг на половину, тобто одна сторона струбцини перестала спаюватися, а от друга не.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Через обставини що сталися не було можливості одержати макро- і мікрошліфи, а також зробити випробування на розрив. Після кожного дослідження пайки доводилося розпаювати дане з'єднання.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ВИСНОВОК

У процесі проведення роботи був проведений ряд експериментальних дослідів спрямованих на перевірку можливостей термічної обробки й пайки магнітомягкого сплаву 49К2ФА в лабораторній електропечі опору з контрольованою атмосферою.

У ході експериментальних дослідів, був розроблений режим термічної обробки сплаву пермендюр, який після відпалу мав гарну пластичність, даний результат свідчить про одержання оптимальної структури після відпалу. З літератури й інших робіт на схожу тематику в теорії впливає, що при одержанні гарної пластичності, відпалені пластини мають і гарні магнітні властивості.

Також був проведений вимірювання електроопором відпалених пластин сплаву 49К2ФА, що підтвердила наявність оксидної плівки на відпалених зразках, значення деяких з яких перевершували не відпалені зразки більш ніж в 10 раз.

Тому що перевірка магнітних властивостей у місці проведення дослідження виявилася неможливою, то отримані результати необхідно перевірити за допомогою замовника.

Була розроблена технологія та проведені досліди по перевірці можливості пайки магнітострикційних пластин зі сталлю з використанням грубої пайки, результати показують, що така пайка є можливою. Але для одержання додаткових результатів необхідно одержати макро- і мікрошліфи паяного з'єднання, а також провести випробування на розрив. Через неможливість розробити нове пристосування в місці проведення дослідження, додаткові дані одержати не вдалося, тому що, паяний матеріал спаювався з пристосуванням. Були початі спроби запобігти процесу споювання матеріалів із пристосуванням, але безуспішно.

Таким чином, для проведення пайки в електропечі опору з контрольованою атмосферою необхідно розробити належні пристосування.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Також були проведені дослідження з можливості об'єднання даних технологічних операцій в один термічний цикл, але тому що проблему зі сполученням матеріалів із пристосуванням не вдалося розв'язати, неможливо перевірити структуру одержуваних зразків, але сам факт можливості підтверджений, хоч і вимагає додаткових випробувань.

Завдяки рішенню поставлених завдань, представляється можливим досягти мети, але необхідно провести додаткові випробування по перевірці ряду параметрів, можливість даних операцій підтверджена, а результати мають перспективу.

					<i>MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

## СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Холопів, Ю.В. Ультразвукове зварювання пластмас і металів / Ю.В. Холопів. – Л. : Машинобудування, 1988. – 224 с.
2. Зайців, К.І. Зварювання полімерних матеріалів / К.І. Зайцев, Л.Н. Мацюк. – М. : Машинобудування, 1988 – 312 с.
3. Донський, А.В. Ультразвукові електротехнологічні установки / А.В. Донської, О.К. Келлер, Г.С. Кратиш. – Л. : Энергоздат. 1982. – 208 с.
4. Енциклопедія фізики й техніки – [електронний ресурс] – URL: [http://femto.com.ua/articles/part\\_1/2111.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/2111.html) (дата обігу: 31.05.2019).
5. Магнітострикційні перетворювачі – [електронний ресурс] – URL: [http://beznakipi.com/ru/acoustic-t/magnetostrictive\\_transducers](http://beznakipi.com/ru/acoustic-t/magnetostrictive_transducers) (дата обігу: 31.05.2019).
6. Мишин, Д.Д. Магнітні матеріали / Д.Д. Мишин – М. : Вища школа, 1991. – 384 с.
7. Кекало, І.Б. Фізичне металознавство прецизійних сплавів / І.Б. Кекало, Б.А. Самарин - М. : «Металургія», 1989. - 496 с.
8. ДСТУ 10160-75. Сплави прецизійні магніто-м'які. – Введ. 1976 – 01 – 01. – М. : ИзддУ стандартів, 2004. – 47с.
9. Карабасов, Ю.С. Нові матеріали / Ю.С. Карабасов. – М. : «МИСИС», 2002. – 736 с.
10. Гудремон, Є. Спеціальні сталі / Є. Гудремон ; пров. з нього. М.Л. Берштейна й В.С. Меськіна, науч. Ред А.С. Займовский. – М : «Металургія», 1966. – 1245 с.
11. Молотилов, Б.В. Прецезионные сплавы / Б.В. Молотилов [і ін.]. – М : «Металургія», 1974. – 448 с.
12. Чижов, А.В. Вимір параметрів матеріалів магнітних систем високомоментних двигунів : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. 85 наук : 05.11.01 : захищено 22.04.15 / Чижов Андрій В'ячеславович. – П., 2015. – 140 с.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

13.Пшеченкова, Г.В. Прецизійні сплави / Г.В. Пшеченкова, Т.В. Краснопевцева // Металургиздат, 1956. – 9 с.

14.Пат. 589265 СРСР, МПК С 21 D 1/74. Спосіб термічної обробки залізо-кобальтових сплавів / В.Н. Букарев, В.П. Перфилова (СРСР). -№ 2374054/22-02 ;заявл. 14.06.76 ; опубл. 25.01.78, Бюл. № 3. – 4 с.

15.DOAJ (Directory of Open Access Journals). – URL: <https://doaj.org/article/c3e4e2fd74a5438eae0edfe77d0141ad/> (Дата обігу 10.05.2018).

16. ACADEMIA. – URL: [https://www.academia.edu/31221555/Electron\\_microscopy\\_study\\_on\\_grain\\_boundary\\_characterizations\\_of\\_Fe\\_Co\\_V\\_alloy\\_during\\_annealing/](https://www.academia.edu/31221555/Electron_microscopy_study_on_grain_boundary_characterizations_of_Fe_Co_V_alloy_during_annealing/) (Дата обігу 13.05.2018).

17.DOAJ (Directory of Open Access Journals). – URL:

18.DOAJ (Directory of Open Access Journals). – URL: 19.DOAJ (Directory of Open Access Journals). – URL: (Дата обігу 19.05.2018).

22.Ховришкин, Д.С. Термічна обробка магнітострикційних матеріалів / Д.С. Ховришкин, А.Ю. Краснопевцев // Збір. науч. праця. – 2017. - № 13. – С. 93-96.

23.Краснопевцев, А.Ю. Пайка й термообробка при виготовленні магнітостриктора / Краснопевцев А.Ю,М.В. Сафонов, Д.Є. Советкин, Д.С. Ховришкин //Збір.мат. міжнародн. науч.-техн. конф. – 2018. – С. 295-296.

24.Гуляєв, А.П. Металознавство / А.П. Гуляєв. – М : Металургія, 1986. – 544 с.

25.Лашко, С.В. Пайка металів / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. – М. : Машинобудування, 1988. – 376 с.

26.Петрунин, І.Е. Довідник по пайці / І.Е. Петрунин [і ін.]. – М. : Машинобудування, 2003. – 480 с.

27.Преображенський, А.А. Магнітні матеріали й елементи / А.А. Преображенський, Е.Г. Бишард.– М. : Высш. шк, 1986. – 352 с.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

28.Рейнбот, Г. Магнітні матеріали і їх застосування / Г. Рейнбот; пров. з ньому. Г.П Лебедева, під ред. А.А. Преображенський. – Л. : Енергія, 1974. – 384 с.

29.Орлів, П.І. Основи конструювання / П.І. Орлов [і ін.]. — М. : Машинобудування, 1977. – 360 с.

30.Амирджанова, І.Ю. Правила оформлення випускних кваліфікаційних робіт / І.Ю. Амирджанова [і ін.]. – Тольятти : ТГУ, 2019, - 145 с.

31.Куликович, Т.О. Основи наукового цитування / Т.О. Куликович. – Мінськ : БГУ, 2010. – 58 с.

32.Федоров, А.Л. Технологія виготовлення паяних конструкцій / А.Л. Федоров, А.Ю. Краснопевцев, О.В. Шашкин. – Тольятти : ТГУ, 2013 – 60 с.

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК

					MP TAM 23. 22378. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71