

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**«Розробка технології зміцнення пружини поворотного  
реле автомобіля»**

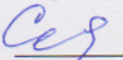
Рівень вищої освіти перший бакалаврський

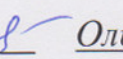
Галузь знань 13 Механічна інженерія

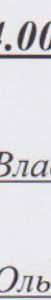
Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілі

Шифр **КвРМТВА. 23115.02.14.00**

Виконав студент 3 курсу група МТВАс-23-2   
Підпис Владислав СЕМЕНІВ

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ   
Підпис Ольга ДРОБОТ

Нормоконтроль к.т.н., доцент каф. ТАМ   
Підпис Олег БАБАК

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

090626

Дата



Підпис

Олександр ДИХА

Хмельницький, 2026

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

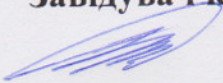
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри ТАМ**

  
\_\_\_\_\_ Диха О.В.  
14.04 \_\_\_\_\_ 2026 р.

## **ЗАВДАННЯ** **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**Семеніву Владиславу Віталійовичу**

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: **Розробка технології зміцнення пружини поворотного реле автомобіля.**

керівник роботи: **Дробот Ольга Савівна, доцент каф. ТАМ.**

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

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 14)

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Матеріали курсових проєктів, робіт, практики.*

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

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

1) Аналіз конструкції та умови роботи поворотного реле автомобіля.

2) Основи вибору конструкції, матеріалу та методу виготовлення пружини реле поворотів.

3) Особливості термічної обробки берилієвих бронз.

4 Висновки.

**5. Перелік графічного матеріалу (презентація):**

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

**6. Консультанти розділів проекту (роботи)**

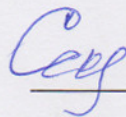
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04 2026 р.

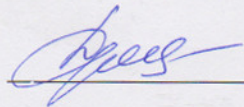
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	<i>Аналіз конструкції та умови роботи пружини поворотного реле автомобіля</i>	28.05.2026	<i>вик</i>
2	<i>Основи вибору конструкції, матеріалу та методу виготовлення пружини реле поворотів.</i>	8.06.2026	<i>вик</i>
3	<i>Особливості термічної обробки берилієвих бронз.</i>	12.06.2026	<i>вик</i>
4	<i>Висновки</i>	14.06.2026	<i>вик</i>
5	<i>Захист роботи.</i>	18.06.2026	

Студент



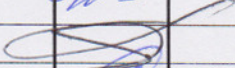

Владислав СЕМЕНІВ

Керівник роботи

Ольга ДРОБОТ

Зміст

Вступ .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА БУДОВА РЕЛЕ ПОВОРОТІВ АВТОМОБІЛЯ.....</b>	
1.1. Реле поворотів автомобіля. Призначення, будова.....	6
1.2. Основні типи реле для автомобілів.....	8
1.3. Компоненти конструкції електромагнітного реле.....	9
1.4. Призначення та роль пружини.....	11
<b>РОЗДІЛ 2 . ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	
2.1. Матеріали для виготовлення елементів реле.....	14
2.1.1. Термічна обробка електротехнічної сталі.....	15
2.1.2. Технологія виготовлення якоря реле поворотів.....	19
2.1.3. Сплави заліза та нікелю (пермалої).....	19
2.1.4. Матеріали для пружин.....	20
2.1.5. Матеріали для контактів реле.....	23
2.1.6. Матеріали для корпусу реле.....	23
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....</b>	
3.1. Вибір конструкції пружини реле поворотів автомобіля .....	25
3.2. Вибір та обґрунтування матеріалу для пласкої пружини реле ...	31
3.2.1. Високовуглецева пружинна сталь.....	31
3.2.2. Характеристика бронз.....	33
3.3. Технологія одержання пласкої пружини для реле поворотів.....	39
3.4. Розробка технологічного процесу зміцнення пружини.....	47
3.4.1 Аналіз діаграми мідь – берилій.....	48
3.4.2. Природа зміцнення бронзи при гартуванні та старінні.....	51
3.5. Технологічна послідовність виготовлення пружини реле поворотів...	52
3.6. Контрольно - вимірювальні прилади.....	53
Висновки.....	59
Використані літературні джерела.....	61
Додатки.....	62

<b>КвРМТВА. 23115.02.14.00</b>				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Розроб.		Семенів		
Перев.		Дробот		
Н. контр.		Бабак		
Затв.		Диха		
<b>Розробка технології зміцнення пружини поворотного реле автомобіля</b>			Літера	Аркуш
			н	4
			<b>ХНУ МТВАс-23-2</b>	
			Аркушів	64

## Вступ

Для надійної роботи автомобільного транспорту обов'язковим є висока якість деталей та механізмів, які його складають. Як пишуть інформаційні джерела сучасна людина в середньому проводить в автомобілі близько 4-5 років свого життя. Це робить авто фактично нашою "другою домівкою". Для безпечного користування автомобілем і автомобільним транспортом взагалі, потрібно бути впевненим в його надійності та безпеці. Якість конструкції кожного автомобіля та його комплектуючих закладається ще на етапі проектування заводом – виробником: визначається запас міцності вузлів. Деякі вузли проектують на тривалий строк експлуатації, деякі на обмежений.

Якщо проаналізувати чинники з вини яких автомобіль виходить з ладу, то їх буде значна кількість: неякісна робота окремих вузлів, погане дорожнє покриття, неякісне паливо, кліматичні чинники, такі як вологість, низькі температури, дорожні реагенти сприяють корозії кузова і суттєво погіршують роботу електронної системи авто. Все це свідчить, що не важливих і не відповідальних елементів в автомобілі практично не має. Тому увага до якості елементів реле поворотів є досить важливою і своєчасною задачею.

Якісна робота реле поворотів забезпечує безпеку дорожнього руху тому що є безпосереднім комунікатором між водієм та іншими водіями.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Дані таблиці 1.1 свідчать, що надійна та безпечна робота авто забезпечується також і якісним реле поворотів, що в свою чергу вимагає від кожного елемента цього приладу високих показників експлуатаційних властивостей.

Реле поворотів – невеличка деталь, воно є інформативним сигналом автомобіля під час руху. Несправність реле робить дії водія непередбачуваними для оточуючих та підвищує ризик зіткнення, особливо при маневрах на високій швидкості.

## 1.2. Основні типи реле для автооболів

Надійність, безпека та якість реле автомобіля залежать в значній мірі від матеріалів, з яких виготовлені його елементи та технології виготовлення.

Споживачам пропонують два типи реле в залежності від ламп, які встановлені в авто:

1. Електромагнітні (класичні). Вони працюють за принципом замикання контактів котушкою. Швидко сигналізують про перегорання лампи прискореним миготінням. Недоліком цих реле є чутливість до напруги бортової мережі.

2. Електронні (напівпровідникові) – працюють в сучасних авто, де звичайні лампи замінені на LED - світлодіоди. Кращими з них є реле з функцією діагностики. Кращими виробниками таких реле є фірми Hella, Bosch, Denso, Valeo, які використовують якісні матеріали для їх виготовлення.

Якість реле можна оцінити по маркуванню. На якісному реле завжди вказана схема підключення, номінальна напруга та потужність. Пластик корпусу має бути міцним, без задирок, а контакти – рівними та надійно закріпленими. Люфту контактів не має бути. Якісне електромагнітне реле має бути досить важким, так як містить обмотку з міді, а мідь має високу густину (8,96 г/см<sup>3</sup>).

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В таблиці 1.2 показані критерії, які дозволяють порівняти якість оригінального реле та реле преміум.

Таблиця 1.2. Порівняльні критерії оцінки якості реле

Критерій	Оригінал / Преміум	Дешевий аналог
Ресурс	5 – 10 років і більше	Від тижня до року
Температурна стійкість	Працює стабільно від – 40 до + 80 °С	Може «залипати» у мороз або спеку
Пожежна безпека	Корпус виготовлено із негорючого пластику	Ризик оплавлення при замиканні.

Загальний вигляд реле показано на рис. 1.1



Рисунок 1.1- Реле поворотів автомобіля

### 1.3. Компоненти конструкції електромагнітного реле

1. Електромагнітне реле поворотів працює на основі законів механіки та електрики. Основними компонентами конструкції є :

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Електромагніт (катушка) - осердя з намотаним мідним дротом.  
Призначена для створення магнітного поля при проходженні струму.
2. Якір (рухома пластина) – металева пластина, яка притягується до електромагніту.
3. Контактна група: дві пластини з контактами, які замикають або розмикають ланцюг живлення ламп.
4. Поворотна пружина, яка утримує контакти у розімкненому стані.
5. Додатковий елемент - ніхромова нитка або резистор – керує подачею струму на катушку.

Схема перемикача покажчиків повороту показана на рис 1.2

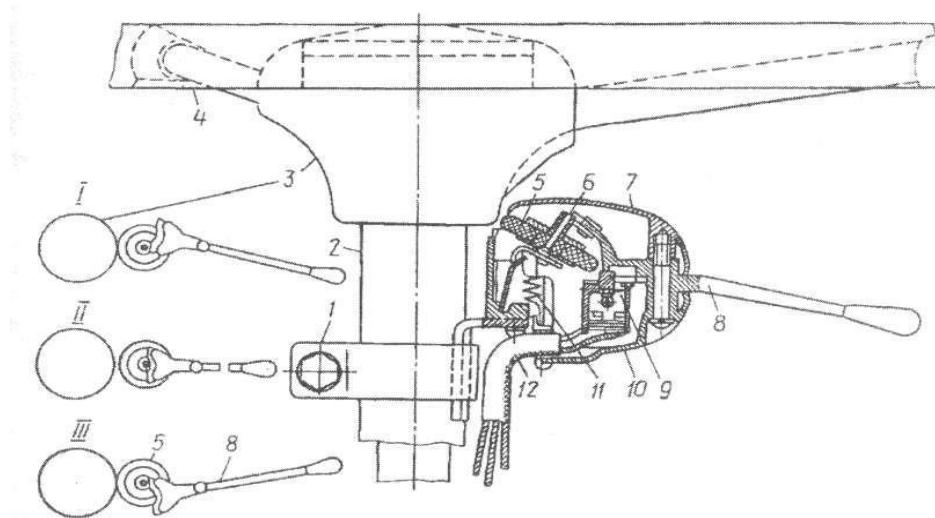


Рис.1. 2 –Перемикач покажчиків повороту:

I– увімкнено правий покажчик; II – покажчики вимкнено; III– увімкнено лівий покажчик; 1 – хомут кріплення перемикача; 2 – кермова колонка; 3 – маточина кермового колеса; 4 – кермове колесо; 5 – ролик; 6 – вісь ролика; 7 – кришка перемикача; 8 – ручка; 9 – перемикач; 10 – корпус перемикача; 11 – пружина; 12 – проводи

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема підключення реле показана на рис. 1.3

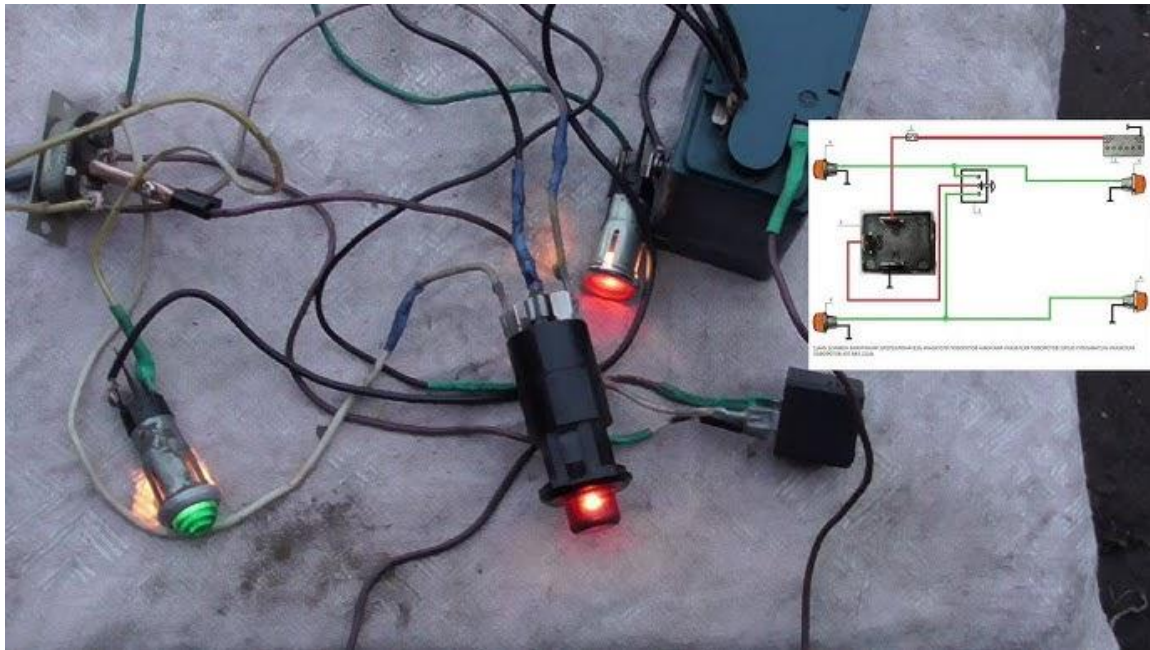


Рисунок 1.3 – Схема підключення реле поворотів в автомобілі

#### 1.4. Призначення та роль пружини

Пружина в автомобільному реле (її ще називають повертаючою пружиною) призначена для миттєвого повернення рухомого контакту (якоря) у вихідне, розімкнуте положення, коли з котушки електромагніту знімається напруга. Вона забезпечує надійне розривання ланцюга, запобігаючи «залипанню» контактів, та підтримує механізм у безпечному стані, коли реле не активне.

##### Основні функції пружини в реле:

Розмикання контактів: Як тільки електромагнітне поле зникає, пружина відштовхує якір назад, розриваючи електричний ланцюг.

Запобігання «залипанню»: Пружина створює достатнє зусилля для відриву контактів навіть після нагрівання та мікрозварювання, що виникає при проходженні великих струмів.

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фіксація вихідного положення: Тримає реле в нормально розімкненому (або замкнутому, залежно від конструкції) стані, коли живлення відсутнє.

У втягуючих реле стартера пружина додатково повертає бендикс (шестерню) назад, відключаючи його від маховика двигуна.

Пружина в реле поворотів відіграє ключову роль у створенні циклічного миготіння. Послідовність дій в механізмі поворотного реле:

1. **Початок** – вмикається поворот, струм іде на котушку електромагніту.
2. **Замикання**- магнітне поле стає сильнішим за опір пружини та притягує якір. Контакти замикаються – **лампа спалахує**.
3. **Розмикання** (працює пружина). У цей момент спеціальний механізм, це може бути термоелемент або електронний ключ, перериває живлення котушки. Магнітне поле зникає. Якір ніщо не тримає, поворотна пружина миттєво відтягує його назад.
4. **Кінець циклу** – Контакти розмикаються – лампа гасне. Далі цикл повторюється

#### 1. 5 . Дефекти пружин, які виникають під час експлуатації реле.

Реле працює в умовах вібрацій, перепадів температур та постійного тертя. Після тривалої експлуатації через іскру під час розмикання підгорають контакти – на них з'являється чорний нагар, який усувають шліфуванням поверхні. Другим дефектом, що погіршує роботу реле є розтягнення пружини. Внаслідок цього якір повертається мляво, реле працюватиме нестабільно. Такі пружини замінюють новими.

Все описане вище свідчить, що не важливих і не відповідальних елементів в автомобілі практично не має. Тому увага до якості елементів реле поворотів є досить важливою і актуальною задачею.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 2 . ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 2.1. Матеріали для виготовлення елементів реле.

Вибір матеріалів для компонентів реле має забезпечити поєднання таких властивостей як електропровідність, стійкість до корозії з механічною витривалістю.

**1. Контакти** – найвідповідальніша частина реле. Під час розмикання між контактами виникає мікроіскра (електрична дуга), тому матеріал має бути стійким до окислення та обгорання. Для виготовлення контактів використовують сплави на основі срібла [4], (табл. 2.1), міді (табл. 2.2).

Таблиця 2.1. Склад матеріалів для контактів на основі срібла

Сплав	Склад %			Густина	Твердість, НВ
	Ag	Cd	Ni		
Ag	100	-	-	10,49	20
Ag- CdO	85	15	-	9,7	100
Ag -Ni	70	-	30	9,6	75
Ag- Ni	60	-	40	9,5	80
Ag-Ni-C	68	3% C	29	8,9	65
Сплави срібла та оксиду олова					
Марка сплаву	Вміст SnO <sub>2</sub> (%)	Вміст Ag (%)	Призначення		
AgSnO <sub>2</sub> (8)	8	92	Малопотужні реле, де потрібна низька перехідна підтримка.		
AgSnO <sub>2</sub> (10)	10	90	Універсальний стандарт для промислових реле		
AgSnO <sub>2</sub> (12)	12	88	Навантаження з високими пусковими струмами (двигуни, лампи).		

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Матеріал жили – мідь або обміднений алюміній високої чистоти. Типи проводів з мідною жилою показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Характеристика проводу для котушки

Марка	Характеристики ізоляції	Максимально допустима температура °С	Діаметр мідної жили в мм
ПКР-1	Провід із суцільною капроною ізоляцією	105	0,72 - 2,44
ПКР-2	Провід із суцільною капроною ізоляцією потовщеною	105	0,72 - 2,44
ПЛБД	Провід з обмоткою з шовку лавсан та бавовняно-паперової пряжі у два шари	105	0,38 - 4,10
ПЛД	Провід з обмоткою з шовку лавсан у два шари	120	0,38 - 1,30
ПСД	Провід з обмоткою з скловолокна в два шари з підклеюванням та просоченням нагрівостійким лаком	155	0,31 - 4,80
ПСДК	Провід з обмоткою з скловолокна в два шари з підклеюванням та просоченням кремнійорганічним лаком	180	0,31 - 4,80
ПСДКТ	Провід з обмоткою з скловолокна в два шари з підклеюванням і просоченням кремнійорганічним лаком, теплостійкий	300	0,31 - 1,56
ПЕВ	Провід ізольований емалевим високоміцним покриттям	105	0,02 - 0,05

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРМТВА 2311502. 14.00					





ПЕТЛО	Провід з емалевим теплостійким покриттям та одношаровою обмоткою з шовку лавсан	105	0,06 - 1,30
ПЕТ-155	Провід емальований теплостійкий поліефірідним лаком	155	0,06 - 2,44

Характеристика міді для дроту наведена в таблиці 2.3.

Мідь володіє високими теплопровідністю, електропровідністю, пластичністю та корозійною стійкістю.

Таблиця 2.3. Фізичні властивості міді.

Показник	Значення
Відносна атомна маса	63, 54
Густина, г/см <sup>3</sup>	8, 94
Температура плавлення, °С	1083
Питома теплоємність при 20 °С, кал/г. °С	0,092
Теплопровідність при 20 °С, кал/см .с °С	0,941
Питомий електричний опір при 20 °С, ом·мм <sup>2</sup> /м	0, 0178
Коефіцієнт лінійного розширення при 20 °С, 1/ °С,	16,4·10 <sup>-6</sup>

Механічні властивості міді залежать від її стану (табл.2.4).

Таблиця 2.4. Механічні властивості міді.

Стан міді	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ ,%	НВ
Лиття	160	35	25	40
Деформована	450	400	3	125
Відпалена	220	75	50	55

**Осердя** виготовляють з **електротехнічної сталі**. Вона має властивість швидко намагнічуватися і так само швидко втрачати магнітні властивості після вимкнення струму (табл. 2.5).

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРМТВА 2311502. 14.00					

Таблиця 2.5. Магнітні властивості електротехнічної сталі

Марка сталі	Вміст Si, %	Питомі втрати, Вт/кг	Питомий опір, R, Ом·мм <sup>2</sup> /м
2011	0,8 – 1,8	7,50	0,25
3311	2,8 – 3,8	3,70	0,50
3404	3,8 – 4,8	2,90	0,60

Якір – металева пластина, яка притягується до сердечника під дією магнітного поля. Його виготовляють переважно з електротехнічної сталі та конструкційної з низьким вмістом вуглецю (2011, 2112, 2421, 3311, 3404, 3411, сталь 10, сталь 08). Хімічний склад таких сталей показано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. Хімічний склад електротехнічних сталей.

Хімічні елементи, %					
C	Si	Mn	Cu	S	P
0,03	0,30	0,30	0,30	0,03	0,02

Вплив хімічних елементів на властивості електротехнічної сталі.

Вуглець - обмежують його вміст. Чим менше вуглецю, тим кращі магнітні властивості

Кремній – сприяє графітизації вуглецю.

Марганець – покращує міцність сталі.

Мідь - мало впливає на властивості.

Сірка - шкідлива домішка, вміст обмежується.

Фосфор – шкідлива домішка, підвищує крихкість.

### 2.1.1. Термічна обробка електротехнічної сталі.

Для одержання високих електромагнітних характеристик сталі піддають термічній обробці за такою схемою.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якір, який виготовляють з електротехнічної сталі піддають штампуванню з критичним ступенем деформації (5 – 10 %), що під час відпалу сприяє швидкому збільшенню зерна фериту.

**1. Відпал.** Температура 850 - 950 °С, витримка 3 - 6 години для завершення процесу рекристалізації та збільшення рекристалізованих зерен. Розмір зерна бажано отримати більшим. Відпал проводять у вакуумних печах або в атмосфері водню чи азоту для попередження утворення окалини та зменшення вмісту вуглецю в поверхневому шарі, що покращує магнітні властивості. Охолодження після витримки повільне – 30 – 50 °С на годину разом із піччю до температури 500 – 600°С, а далі на повітрі. Повільне охолодження запобігає появі нових внутрішніх напружень, сприяє кращому упорядкуванню магнітних доменів. Рівноважна грубозерниста структура забезпечує високі магнітні характеристики такої сталі та виробам з неї.

### **2.1.2. Технологія виготовлення якоря реле поворотів**

Якір виготовляють листовим штампуванням. Основна операція – вирубування на пресах в спеціальних штампах. Штампи забезпечують геометричні розміри деталі. Однак, в отриманих деталях виникає наклеп, який погіршує магнітні властивості сталі. Деталі піддають відпалу у контрольованому середовищі за описаним вище режимом. Кожна партія деталей перевіряється на коерцитиметрах. Значення коерцитивної сили не має перевищувати 95 А/м. При перевищенні цих значень, термічну обробку проводять повторно.

Складальні операції виконують на лініях – автоматах. Якір з'єднується з пружиною та контактами лазерним зварюванням чи надточним клепанням.

### **2.1.3. Сплави заліза та нікелю (пермалої).**

Більш дорогі та точні реле виготовляють із пермалоїв, сплавів на основі заліза, які містять 35 - 65 % Ni. Вони дозволяють реле працювати при дуже

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

слабких магнітних полях, забезпечуючи високу чутливість. Термічна обробка пермалоїв - відпал, з поступовим нагріванням до температури 1100 – 1150°C в середовищі водню чи у вакуумі. Витримка 3 – 6 годин, повільне охолодження до 600 °C (з швидкістю 100 °C/год.), швидке охолодження до 200 °C (з швидкістю 400 °C/год). Для захисту якоря від корозії його піддають цинкуванню чи нікелюванню, після чого якір не прикипить і не заклинить.

#### 2.1.4. Матеріали для пружин

Пружини для реле виготовляють двох видів - плоскі та виткові. Зазвичай їх виготовляють з пружинної сталі (високовуглецевої) або нержавіючої, та спеціальної бронзи (табл. 2.7 - 2.9)

*Сталі для пружин.*

Таблиця 2.7. Сталі для пружин реле поворотів.

Марка сталі	Переваги
40X	Висока стійкість до агресивного середовища, високі показники механічних властивостей
10X18H10T закордонний аналог <i>AISI</i> <i>302/304</i>	Дуже висока стійкість до агресивного середовища, високі показники механічних властивостей, має високу жорсткість. Використовується в компактних реле.

*Сплави нейзильбер для пружин (табл.2.8)*

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8. Сплави нейзильбер для пружин реле поворотів.

Хімічний склад нейзильберів			
Марка сплаву	Cu	Ni	Zn
МНЦ 15 - 20	67,5 – 61,5	13,5 – 16,5	18 – 22
МНЦ 12 - 24	67 - 61	11 - 13	22 - 26
МНЦ 18 - 27	58 - 52	17 - 19	25 - 29
МНЦ 18 - 20	65 - 59	17 - 19	18 - 22

Сплави нейзильбер мають структуру твердого розчину нікелю і цинку в міді, володіють високою корозійною стійкістю, на повітрі не окислюються, мають досить високі механічні характеристики: межа міцності  $\sigma_b = 550$  до  $700$  МПа, відносне видовження  $\delta \% = 1\%$ . Сплави мають високі пружинні властивості але електропровідність нижча ніж у бронзи (табл. 2.9).

*Бронзи для пружин реле.*

Бронзи мають високі показники механічних характеристик, володіють антифрикційними властивостями, корозійною стійкістю в атмосферних умовах, в середовищі сухої та вологої пари, в сухих газах та кисню. В залежності від потрібних вимог умов експлуатації склад бронз змінюється. Бронзи з оловом, фосфором, свинцем мають високі антифрикційні властивості, бронзи з кремнієм, марганцем, алюмінієм берилієм володіють підвищеною міцністю та зносостійкістю [5, 6]. Склад деяких бронз для пружин реле поворотів наведено в таблиці 2.9.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9. Склад бронз для пружин реле поворотів.

Марка бронзи	Хімічний склад, %					
	Al	Si	Pb	Sn	Be	Zn
Бр. ОЦС3,5 -7 -5	0,05	0,02	3,0 – 6,0	3,0 - 4,5	-	6,0 -9,0
Бр. АМц9 - 2	8 - 10	0,1	-	-	-	-
Бр.Б2	0,2 – 0,5	0,15	-	-	1,9 –	
	Ni				2,2	
Бр.БНТ21,7	0,2 – 0,4	0,15			1,6 –	
	Ni				1,85	

Фосфористі бронзи широко використовують в електричних елементах. Мають високий опір зносу. Алюміній в бронзі підвищує корозійну стійкість. Кремній покращує стійкість до корозії. Берилій підвищує міцність та зносостійкість бронз [7- 9]. Властивості бронз показані в таблиці 2.10. Порівняльна характеристика різних матеріалів для пружин реле показана в таблиці 2. 11.

Таблиця 2.10. Властивості бронз.

Показник	Величина
Щільність	8,5- 8,9 г/см <sup>3</sup>
Температура плавлення	900 – 1000 °С
Теплопровідність	0, 857 кал/см·сек·град
Питомий електричний опір	0,0178 Ом·мм <sup>2</sup> /м
Твердість НВ	35 - 40 після відпалу
	90 -120 деформована

Таблиця 2. 11 Порівняльні дані матеріалів пружин

Матеріал	Функції у реле	Головна перевага
Берилієва бронза	Провідна пружина	Максимальний ресурс і провідність
Фосфориста бронза	Провідна пружина	Оптимальна ціна- якість
Нержавіюча сталь	Механічна (відтяжна)	Максимальна жорсткість і тривкість
Нейзильбер	Контактна група	Стійкість до окислення

### 2.1.5. Матеріали для контактів реле

Контакти реле є відповідальними елементами. Вони забезпечують безпосередньо роботу реле. Умови роботи важкі: під час розмикання між контактами виникає мікроіскра (електрична дуга), внаслідок чого контакти окислюються. Отже, контакти мають виготовлятися з міцних, корозійно стійких матеріалів. Найкращими сплавами є сплави на основі срібла з додаванням нікелю (AgNi) або оксиду олова (AgSnO<sub>2</sub>). Срібло забезпечує найкращу провідність, а добавки підвищують твердість та стійкість до «зварювання» [6]. У бюджетних моделях контакти виготовляють з міді, поверхню напиляють технічним сріблом, але такі контакти мають підвищене зношування.

### 2.1.6. Матеріали для корпусу реле

#### *Корпус та основа*

Ці елементи виготовляють із термостійких полімерів. Для основи (де кріпляться контакти) використовують матеріали, що не плавляться при нагріванні - поліамід (РА66) або РВТ (полібутилентерефталат), часто армовані скловолокном для міцності.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поліаміди належать до групи міцних, жорстких термопластів. Вони стійкі до абразивного зносу. В парі з металами поліаміди мають невеликий коефіцієнт тертя і не схоплюються з ним.

*Ковпачок (кришка):* виготовляють з прозорого або непрозорого полікарбонату чи пластику **ABS**. Основна функція ковпачка – захищати механізм від пилу та вологи (табл.2.12)

Таблиця 2.12. Зведена таблиця якості матеріалів для реле.

Елемент	Матеріал	Якості матеріалу
Контактні п'ятаки	Срібно-нікелевий сплав	Має високу електропровідність, не пригорає
Обмотка котушки	Емальований мідний дріт	Висока електропровідність, компактність
Пружина	Сталь / бронза	Зберігає пружність протягом мільйонів циклів
Основа	Композит - скло наповнений поліамід	Витримує високу температуру, хороший діелектрик.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Аналіз літературних джерел показав, що надійність роботи реле поворотів автомобіля, яке працює в умовах вібрацій, перепадів температур, постійного тертя в значній мірі залежить від його конструкції, матеріалів, з яких виготовлені його елементи. Важкі умови роботи реле під час його експлуатації вимагають дуже критично вибирати матеріали для виготовлення його елементів.

#### 3.1. Вибір конструкції пружини реле поворотів автомобіля

##### *Пласка пружина*

Функція пружини реле поворотів - забезпечення повернення якоря (рухомого контакту) у вихідне положення при знеструмленні котушки, регулюючи момент замикання /розмикання контактів. Аналіз умов роботи пружини реле показав, що кращим варіантом конструкції пружини є пласка пружина, форма якої може бути такою, як показано на рис. 3.1[12].



Рисунок 3.1. Форма пружин для реле поворотів авто

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для легкового авто стандартним і перевіреним є реле з **пласкою бронзовою пружиною-пластиною**. Це мінімізує кількість деталей, які можуть відвалитися від вібрації. Ці деталі дуже дрібні, тому їх найкраще видно при розбиранні корпусу реле.

Для **вантажівок або спецтехніки** (де навантаження вище) часто використовують комбінацію: масивна мідна шина для струму + **сталева вита пружина** для чіткого відскоку якоря.

Пласкі пружини в автомобільних реле поворотів мають вигляд тонких металевих пластин специфічної конфігурації.

Ось основні особливості їхньої форми:

**1. Прямокутна або Г-подібна смуга:** Найчастіше це тонка пластина з пружинної сталі або фосфористої бронзи, яка одним кінцем жорстко закріплена на корпусі або котушці, а на іншому має електричний контакт.

**2. Вигин у формі дуги:** Часто пластина має невеликий попередній вигин, щоб забезпечити необхідне зусилля для повернення контактів у вихідне положення.

**3. Вирізи (вікна):** У деяких типах реле (термоелектромагнітних) пружина може мати Н-подібну форму або центральний виріз, що дозволяє їй працювати за принципом "кляцання" (миттєвого перемикання) при нагріванні або під дією магнітного поля.

Орієнтовні розміри пласких пружин в автомобільних реле, стандартних 4-х чи 5-контактних реле (типу 90.3747 або аналогів Bosch) дуже малі, оскільки вони мають розміщатися в середині компактного пластикового корпусу.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ось можливі параметри:

### 1. Основна контактна пластина (рухома)

Це найпомітніша пласка пружина, яка замикає контакти.

**Довжина:** 15 – 25 мм.

**Ширина:** 4 – 8 мм.

**Товщина:** 0,1 - 0,3 мм (дуже тонка, щоб забезпечити гнучкість при спрацьовуванні електромагніту).

### 2. Поворотна пружина (якщо вона пласка)

У деяких конструкціях використовується окрема тонка пластина для повернення якоря у вихідний стан.

**Довжина:** 8 - 12 мм.

**Ширина:** 3 – 5 мм.

**Товщина:** 0,05 – 0,15 мм.

Розміри пружини розраховують за формулою зусилля, яке потрібне для подолання залишкової намагніченості та швидкого розривання дуги:

$$F = 8 \cdot D^3 \cdot nG \cdot d^4 \cdot \delta$$

Де : G - модуль зсуву матеріалу;

$\delta$  - величина деформації (хід якоря).

Параметри пружин в залежності від потужності реле показані в табл. 3.1.

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Параметри пружин для реле.

Тип реле	Струм	Діаметр дроту	Кількість витків
Мікро-реле 10 -20	10 – 20 А	0,15 - 0,20 мм	20 - 30
Стандартне	30 – 40 А	0,25 - 0,30 мм	15 - 20
Силове (стартерне)	70 – 100 А	0,40 – 0,60 мм	10 -15 (жорстка)

Пружина не має бути слабкою щоб реле не залипало (контакти не зварювались). Пружина також не має бути занадто жорсткою, щоб вистачило магнітного зусилля котушки повністю притягнути якір та щільно притиснути контакти. При невиконанні цієї умови контакти почнуть грітися і реле згорить.

Розміри пластин можуть змінюватися залежно від потужності реле. Наприклад, у силових реле (на 40 – 70 Ампер) пластина буде ширшою і товщою, щоб витримувати великий струм і не перегріватися.

При виготовленні пласких пружин основним параметром є її товщина та пружність матеріалу. Якщо пружина буде дуже жорстка, вона дозволить магніту притягнути контакт, а занадто м'яка не зможе його розімкнути після вимкнення живлення.

*Силові навантаження на пружину.*

Пружина в автомобільному реле знаходиться під дією комплексу сил, які поділяють на *статичні* (у стані спокою), *динамічні* (при виконанні своїх функцій) та *експлуатаційні*. Пружина працює під дією циклічних навантажень, що викликає утому металу.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На пружину діють:

1. **Сила попереднього натягу  $F_{pn}$ .** Коли реле вимкнене пружина не розслаблена. Вона притискає якір до обмежувача або тримає розмикаючі контакти закритими. Зусилля має бути достатнім, щоб не було вібрації контактів під час руху автомобіля. При малому зусиллі можливе самовільне іскріння контактів при русі автомобіля по вибоїна

2. **Електромагнітна сила  $F_{em}$ ,** що протидіє пружині. Коли котушка знаходиться під напругою, виникає магнітний потік. Магніт тягне якір до осердя з силою, що переважає опір пружини. Сила магніту має бути на 20 – 30 % більшою за максимальну силу пружини в кінці ходу , що має забезпечити щільне притискання контактів.

3. **Сила пружної деформації  $F_{pd}$ .** При замиканні пружина розтягується (або стискається залежно від конструкції) . В металі виникають напруження зсуву (для гвинтових пружин) або напруження згину (для плоских пружин). Навантаження виникають циклічно. Реле розраховане на сотні тисяч таких циклів. Якщо напруження перевищують межу витривалості матеріалу, пружина ламається.

4. **Сила тиску пружини на контакти  $F_p$ .** Пружина повертає якір та при потребі забезпечує тиск між контактами.

5. **Інерційні та вібраційні навантаження.** Двигун та нерівності дороги створюють змінні навантаження, що можуть увійти в резонанс із власною частотою пружини. При різкому гальмуванні чи повороті інерція якоря прагне розтягнути пружину.

*Вита пружина*

Характеристика конструкції – циліндрична пружина, яка працює за схемою «розтягування – стискання» (рис. 3.2).

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2. – Вита пружина

Така пружина кріпиться до рухомої скоби (якоря). Вона створює протидіючу силу, яка повертає контакти у вимкнений стан, забезпечує чітке перемикання та запобігає «залипанню контактів». У деяких механічних реле жорсткість тобто натяг пружини не регулюється гвинтом для налаштування частоти миготінь. Такі пружини виготовляють з високо вуглецевих сталей, стійких до втоми металу внаслідок циклів «увімк./вимк.». Сталеві виті пружини дуже витривалі до мільйонів циклів спрацьовування. Для їх виготовлення використовують високовуглецеву пружинну сталь (марки 65Г або аналоги) з цинковим або нікелевим захисним покриттям. Циліндрична пружина повертає якір у вихідний стан, працює на розтягання. Виготовляють їх з дроту діаметром від 0,15 до 0,35 мм. Зовнішній діаметр 2,0 – 4,0 мм. Кількість витків 15 – 25. У стані спокою витки вкладені щільно один до одного. Висота пружини 8 – 15 мм.

Виті пружини використовують у потужних реле або в конструкціях, де якір має великий хід. Вона відокремлена від електричного ланцюга і виконує механічну роботу. **Отже виту пружину для поворотного реле автомобіля рекомендувати не будемо.**

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2. Вибір та обґрунтування матеріалу для пласкої пружини реле.

Для виготовлення або ремонту пласкої пружини в автомобільному реле вибір матеріалу є критичним, оскільки він має одночасно поєднувати високу пружність, гарну електропровідність та стійкість до корозії.

#### 3.2.1. Високовуглецева пружинна сталь.

З літературного огляду відомо, що пружини для поворотного реле автомобіля виготовляють з різних матеріалів (це сталі та кольорові метали на основі міді срібла з додаванням інших компонентів).

Високовуглецева пружинна сталь має високі пружні властивості, високу міцність. Для пружин, що працюють при високих напруженнях вибирають сталі леговані кремнієм, вольфрамом, для роботи при підвищених температурах - хромованадієві сталі типу 50ХФА з термостійкістю до 300°C.

Для пружних елементів (ресори, пружини, торсійні вали, мембрани) використовують вуглецеві та леговані сталі з вмістом вуглецю 0,5 - 0,7 % (інколи і вище) після гартування і середнього відпуску. Структура сталей після такої обробки - тростит відпуску (феритна основа та дрібні карбідні часточки зернистої форми).

Оскільки від виробів цього типу перш за все вимагається висока границя текучості, більшість ресорно - пружинних сталей легують такими елементами як Mn та Si, які значно зміцнюють ферит. Кількість цих елементів не повинна перевищувати 2 % , щоб запобігти окрихченню сталей. Таке легування не тільки збільшує прогартуваність сталей та дозволяє гартувати вироби в маслі для зменшення гартівних напружень, але й підвищує границю текучості внаслідок зміцнення фериту.

Друга важлива вимога - це висока утомна міцність. Оскільки границя витривалості залежить від рівня міцності, можна вважати, що отримавши

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термічною обробкою найвищий можливий рівень границі текучості для обраної сталі, ми досягнемо й необхідного рівня утомної міцності (для сталей з  $\sigma_B \leq 1300 - 1400$  МПа). Додаткове зростання  $\sigma_{-1}$  здійснюється поверхневою пластичною деформацією (ППД), яка створює напруження стискання. Використання ППД зменшує чутливість матеріалу до концентраторів напружень майже на 35%, підвищує  $\sigma_{-1}$  на 25 %, показник  $K_{Ic}$  - у 1,5 рази, отже, збільшує конструкційну міцність.

Пружини, виготовлені із сталей для захисту від корозії піддають нікелюванню, або лудженню. Це не простий технологічний процес, який вимагає специфічного обладнання, матеріалів, підвищення ціни на вироби. В промисловості впроваджені два основних методи лудження: гаряче лудження (занурення). Цей метод дозволяє отримати відносно товстий захисний шар. Поверхню виробу перед зануренням обов'язково знежирюють та піддають травленню для видалення оксидної плівки. Для кращого зчеплення олова з сталлю проводять флюсування у розчині хлористого цинку. Температура розплаву 260 – 300°C. Після витягування виробу надлишки олова видаляють (в центрифугах або обдувають), виріб охолоджують.

Більш точним методом лудження є електролітичне, яке дозволяє дуже точно контролювати товщину шару (відповідно економити дороге олово).

Процес електролітичного лудження проводять за такою схемою: сталеву стрічку занурюють в ванну з електролітом (розчин солей олова), через який пропускають постійний електричний струм. Під дією струму іони олова з електроліту осідають на поверхні сталі, утворюючи рівномірне покриття. Для одержання блискучого герметичного покриття його нагрівають до 250 °C. Розглянуті пружинні леговані сталі мають невисоку електропровідність і швидко покриваються іржою. Тому для пружини реле її не вибираємо.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталі без покриття не володіють стійкістю до електричної ерозії, тому виготовляти елементи поворотного реле з них не рекомендують. Отже, для пружини реле сталі не вибираємо. Кращі експлуатаційні характеристики мають бронзи (табл.3.1).

### 3.2.2. Характеристика бронз

#### *Фосфористі бронзи*

Фосфор підвищує пружні властивості, зносостійкість та корозійну стійкість бронзи. Олово підвищує корозійну стійкість і твердість.

Таблиця 3.1. Склад і властивості фосфористої бронзи

Бронза	Міцність, $\sigma_B$ МПа	Пластичність $\delta$ , %	Призначення
БрОФ 6,5 –0,4	400 /750	65 /10	Пружини, барометричні коробки, мембрани, пласкі і круглі пружини, антифрикційні деталі.
БрОФ 4 –0,25	340	52	Пружинні деталі точної механіки, електротехніки.

Електричні властивості фосфористої бронзи показані у таблиці 3.2.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2. Електричні властивості бронзи з оловом і фосфором.

Властивість	Показник
Електропровідність	15 -20% від провідності чистої міді. Рекомендовано використовувати в схемах з невеликими струмами (таких як реле поворотів авто).
Питомий опір	0,09 – 0, 11 Ом· мм <sup>2</sup> /м
Пружні властивості	Сплав має високу утомну міцність, що важливо для контактів, які постійно спрацьовують. Схильний до поступової релаксації напружень при підвищених температурах.
Стійкість	Бронзи стійкі до корозії

*Берилієві бронзи.*

Таблиця 3.2. Електричні властивості бронзи з оловом і фосфором.

Властивість	Показник
Електропровідність	20 -38% від провідності чистої міді. Рекомендовано використовувати в схемах з великими імпульсними струмами.
Питомий опір	0,06 – 0, 08 Ом· мм <sup>2</sup> /м
Пружні властивості	Найвищі серед усіх мідних сплавів. Не втрачає пружність при нагріванні до 150 – 200°C, що дозволяє контактам працювати в жорстких умовах без підгоряння.
Стійкість	Бронза здатна витримувати великі імпульсні струми без незворотної деформації пружини, стійкі до корозії.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Берилієві бронзи містять від 1,8 до 2,1% берилію, який після спеціальної обробки надає бронзі унікальних властивостей (табл.3.3).

Аналіз властивостей матеріалів для виготовлення пружини реле поворотів дозволив порівняти розглянуті матеріали (табл. 3.3)

Таблиця 3.3. Порівняльна характеристика матеріалів для пружини реле

Характеристика	Олов'яно-фосфориста бронза	Берилієва бронза
Провідність (% до міді)	15 - 19	20 - 38, висока
Пружність (Модуль Юнга)	110 ГПа	130 ГПа
Максимальна робоча температура	100 - 200 °С	до 200 - 250°С
Зносостійкість	Середня	Дуже висока, не іскрить так сильно, як сталь. Витримує мільйони циклів спрацьовування без втоми металу.
Технологічність	Легко штампується	Потребує термічної обробки після штампування

Порівняльний аналіз властивостей матеріалів для пружини реле дозволив зробити вибір матеріалу, отримані дані свідчать, що для масових недорогих моделей, де робочі температури не перевищують стандартні межі, а механічні навантаження помірні – рекомендована олов'яно-фосфориста бронза. Основними напрямками промислового використання сплавів на основі міді – виробництво комплектуючих для двигунів, електронних пристроїв та інших систем, які використовують в сучасних транспортних засобах.

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В нашому варіанті, коли потрібно мінімізувати габарити деталі при збереженні високої сили тиску, коли деталь працює за умов високого нагрівання та частих перемикань під навантаженням, кращим матеріалом є берилієва бронза БрБ2 (найбільш розповсюджена).

### **Вибираємо бронзу БрБ2. Хімічний склад берилієвої бронзи (табл.3.4)**

Берилієві бронзи використовують при виробництві електронних та електричних компонентів телекомунікаційного обладнання, монтажу оптико-волоконних мереж, з'єднувальних елементів, пружних контактів, роз'ємів гніздового типу, елементів інтегральних мікросхем, в комп'ютерних пристроях, планшетах, мобільних телефонах

Берилієві бронзи володіють ефектом пам'яті форми, мають високу електропровідність і не іскрять так сильно, як сталь. Вони витримують мільйони циклів спрацьовування без утоми металу.

З берилієвих бронз виготовляють комплектуючі для повітряного транспорту, які працюють при змінних навантаженнях і температурах (пристрої навігації та шасі літаків). Їх також використовують для зварювальних стрижнів і електродів, поршнів для ливарного обладнання, яке працює під тиском, ливарних кокілів і кристалізаційних камер

Таблиця 3.4. Склад берилієвої бронзи

Хімічні елементи, %							
Fe	Si	Ni	Al	Cu	Pb	Be	Домішки
до 0,15	до 0,15	0,2-0,5	до 0,15	96,9 – 98,0	до 0,005	1,8 – 2,1	до 0,5

Технологічні властивості бронзи показані в таблиці 3.5.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРМТВА 2311502. 14.00				

Таблиця 3.5 . Технологічні властивості бронзи

Технологічні властивості бронз	
Температура плавлення	955 °С
Температура гарячої обробки	750 – 800 °С
Температура відпалу	530 -650 °С

Механічні властивості бронзи (табл. 3.6)

Таблиця 3.6. Механічні властивості бронзи

Сортамент	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
Дріт м'який	343 - 686		15 - 60	100-150
Дріт твердий	735 - 1372			
Стрічка м'яка	390 - 590		20 - 30	
Стрічка тверда	590 - 930		2,5	
Сплав м'який	400 - 600	196 - 344	40 - 50	100 -150
Сплав твердий	600 - 950	588 - 930	2 - 4	150

Фізичні властивості бронзи (табл. 3.7). Закордонні аналоги (табл.3.8)

Таблиця 3.7. Фізичні властивості бронзи БрБ2

T	$E \cdot 10^{-5}$	$\alpha \cdot 10^{-6}$	$\mu$	$\gamma$	C	$R \cdot 10^9$
	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1,31		84	8200		70
100		16,6			419	

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.8 Марки закордонних аналогів бронзи

США	Німеччина	Японія
-	DIN , WNr	JIS
C17200	2.1447 CuBe2	C1720

Берилієві бронзи володіють дуже важливими для експлуатації властивостями, які надають перевагу при виборі марки матеріалу на їх користь: підвищена тепло та електропровідність (поступається міді на 10 -15 %), мають високий рівень стійкості до зношування, повзучості та втоми; мають високу межу пружності; відсутність іскор при ударах; підвищена оскорозійна стійкість, висока твердість та границя міцності. Бронзи з берилієм мають високу теплостійкість. Вироби з них не змінюють своїх механічних властивостей при нагріванні до 340°C, а при вищих температурах (майже 500°C) механічні властивості берилієвих бронз відповідають показникам алюмінієвих та олов'яних бронз за температури 20°C. Вміст дорогого легуючого елемента – берилію можна зменшити на 0,2 - 0,3 %, при збереженні електричних і механічних показників легуванням [11, 13]. В якості легуючих елементів використовують магній, нікель, титан, кобальт.

Легування бронзи із вмістом 1,85–2,1 % берилію, додатково титаном 0,1–0,25 % та нікелем 0,2–0,4 % (бронза Бр БНТ 1,9 дозволяє отримати границю пружності таку ж як у дорожчої бронзи БрБ2,5 (близько 800 МПа). Мікролегування берилієвих бронз бором (0,01 %) або магнієм (0,1 %) сприяє подальшому підвищенню границі пружності й зменшенню непружних ефектів. Шляхом термомеханічної обробки (гартування + холодна пластична деформація зі ступенями обтискання до 50 % + старіння) можна підвищити границю пружності берилієвих бронз на 20–40 %, наприклад, у бронзи Бр БНТ1,9 — до 1000 МПа.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3.Технологія одержання пласкої пружини для реле поворотів

Пружину, яка за формою відповідає рис. 3.3 виготовляють за такою схемою.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд пласкої пружини для реле поворотів

Орієнтуюсь на розміри пружини: довжина: 8 - 12 мм. ширина: 3 – 5 мм. товщина 0,15.

Для одержання пласкої пружини вибираємо холодне листове штампування.

Листове штампування – процес виготовлення в штампах на пресах металевих деталей з тонкого листового, стрічкового і штабового матеріалу. Листове штампування має такі позитивні якості : висока продуктивність (до 30 – 90 тис. деталей за зміну); можливість використання малокваліфікованої робочої сили; точність деталей, що забезпечує їх взаємозамінність і виключає у більшості випадків наступну механічну обробку; можливість автоматизації процесу. Листовим штампуванням з листового матеріалу виготовляють майже 60% автомобільних деталей, таких як кузов автомобіля, рама, крила, щитки, деталі радіатора, фари, диски коліс тощо. Відходи при листовому штампуванні становлять 15 – 40 % , вартість листового матеріалу - до 72 % загальної вартості виробу.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деталі, які виготовляють листовим штампуванням, можна розбити на дві групи: плоскі прямолінійні і вигнуті (рис. 3.4 ,а); порожнисті деталі (рис.3.4, б). Плоскі деталі виготовляють вирізуванням з листа чи штаби з застосуванням інших операцій: пробивання отворів, згинання та інше. Порожністі деталі одержують за допомогою операції витягання листової заготовки, при якій плоска заготовка набуває форми порожнистої деталі.

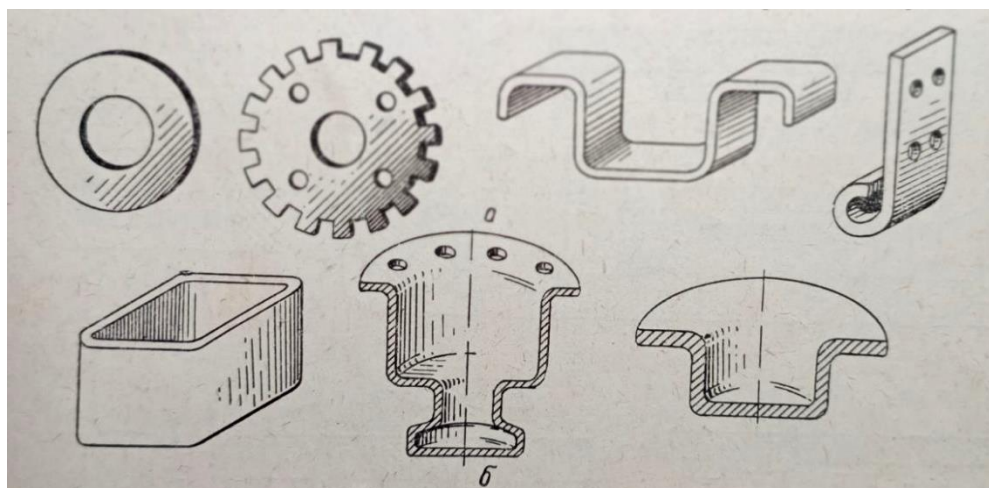


Рисунок 3.4 – Деталі, виготовлені листовим штампуванням

Крім основних операцій для зменшення трудомісткості, підвищення продуктивності і точності використовують складні операції і комбіноване штампування, які характеризуються об'єднанням декількох простих операцій в одному штампі чи на багатоопераційному пресі [13].

Технологічні операції листового штампування починаються з розкрою матеріалу – вибору способу розміщення штамповок – заготовок на стрічці чи листі. Існує три способи розкрою: з відходами (перемичками) по контуру деталі, яку вирубують, з частковими відходами по краям і торцям стрічки; без відходів.

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Перемички між деталями і краєм стрічки (рис.3.5, а), залежать від товщини і марки матеріалу, форми і розмірів вирубаних деталей (вибирають із довідника).

Вихідною заготовкою для одержання пружини вибираємо стрічки з берилієвої бронзи.

Розміщення деталей в стрічці вибираємо за рис. 3.5, г. Основні операції при виготовленні пружини наступні: вирубання, пробивання отвору, гнуття, калібрування.

Бронзові стрічки постачають в рулонах, внаслідок чого вони мають залишкову кривизну. Тому перед штампуванням стрічку пропускають через ролики для вирівнювання, щоб усунути зміну форми.

### Обладнання та інструменти

Операції вирубання пружини і пробивання отворів можна виконувати в штампі суміщеної дії. (рис. 3.6)

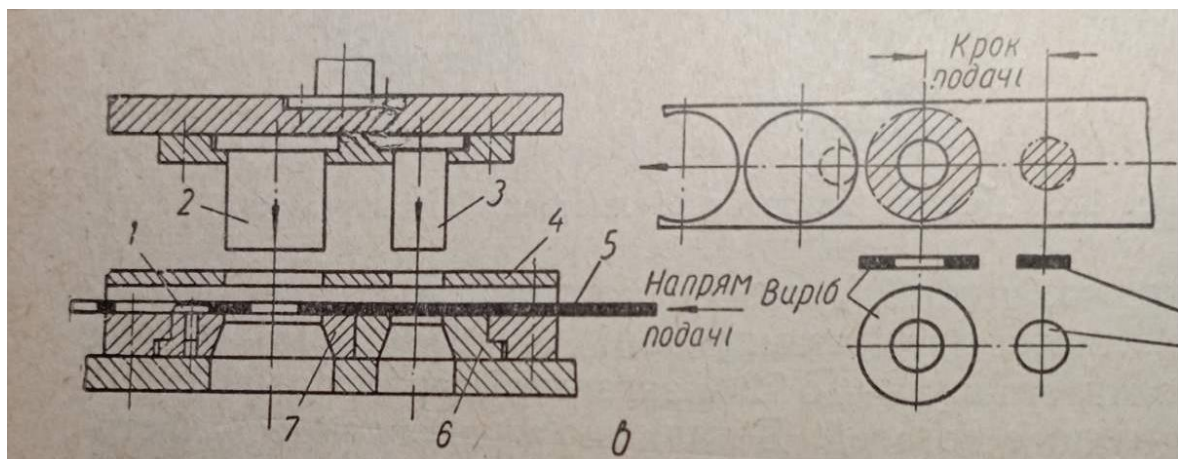


Рисунок 3.6 – Штамп суміщеної дії для вирубання деталі та пробивання отвору.

1 – матриця, 2 – вирубний пунсон, 3 - пуансон пробивний, 4 – упор,  
5 – заготовка, 6, 7 – матриці.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вирубування та пробивання

Операція вирубування є основною операцією, яка визначає зовнішню форму пружини. Бронзова смуга подається в штамп, де пуансон вирізає деталь за формою матриці. При листовому штампуванні важливо враховувати напрямок прокату. Вирізати пружину вздовж волокон прокату листа. Це дозволить уникнути тріщин при згинанні пружини. Краї пружини мають бути без задирок, які можуть стати зародками мікротріщин під час циклічних навантажень під час експлуатації. Одночасно з вирубуванням пробиваються технічні отвори. Діаметр отвору під срібний контакт має бути точним, щоб забезпечити щільну посадку при подальшому клепанні.

**Гнуття.** Наступна операція гнуття – надання деталі об'ємної форми. При штампуванні пружинних матеріалів враховують «пружинення» - метал трохи повертається назад після натискання. Для цього кут гнуття в штампі роблять гострішим, ніж потрібно. Всі вигини мають бути плавними, щоб не сприяти виникненню концентраторів напружень, які скорочують строк експлуатації деталі. Гнуття виконують в штампах на кривошипних, ексцентрикових, фрикційних пресах, а також на спеціальних ручних і механізованих пристроях для гнуття і на спеціальних верстатах для гнуття

(рис.3.7).

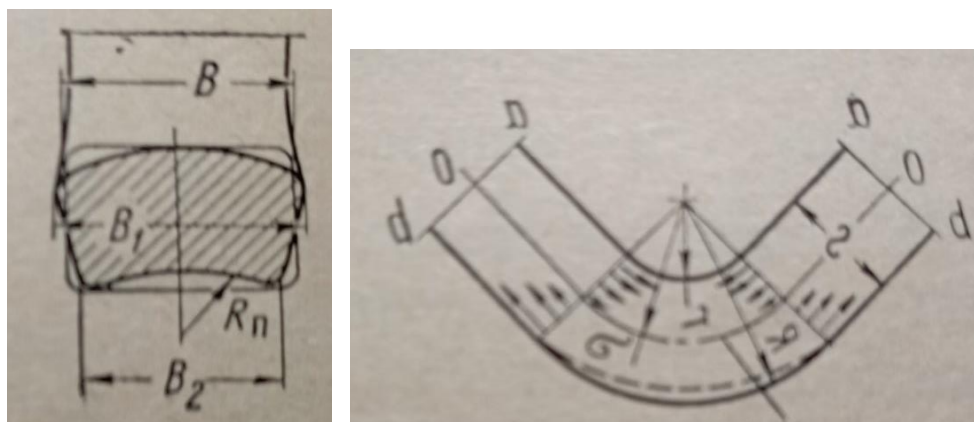


Рис. 3.7 - Схема процесу гнуття

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час гнуття шари металу, які розміщені ближче до внутрішньої поверхні знаходяться під дією стискаючих напружень. Шари металу зовнішньої поверхні – під дією розтягуючи сил. В перерізі замість прямокутника утворюється трапеція. Між розтягнутими та стиснутими шарами (волокнами) металу знаходиться нейтральний шар (рис 3.6), який змінює форму але не змінює початкової довжини. Механічні властивості матеріалу в зоні гнуття змінюються, матеріал наклепується. Процес гнуття супроводжується пружною деформацією, що призводить до викривлення форми деталі. Явище зміни форми після гнуття називають *пружиненням*. Для виконання процесу гнуття потрібно дотримуватись таких правил:

До початку гнуття потрібно зафіксувати певну частину стрічки (листа), не дати їй рухатись.

Деформація матеріалу заготовки в момент змикання штампа не повинна викликати значних місцевих стоншень, щоб не викривити форму та розміри деталі.

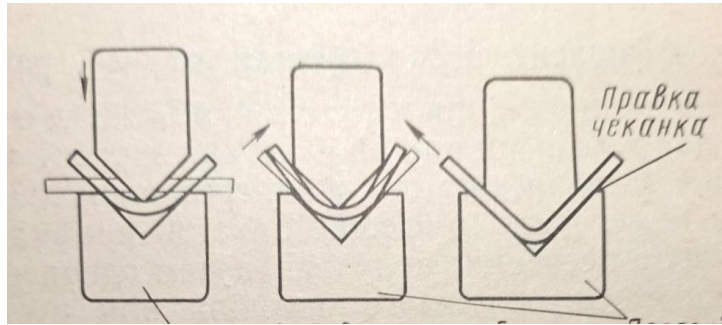
Зовнішні сили, які діють на заготовку мають бути урівноваженими, щоб не допустити зміщення заготовки і пуансона.

В кінці ходу пресу має проводитись правка вигнутих елементів деталі між зімкненими робочими частинами штампу.

Точність при гнутті в штампах залежить від декількох факторів: розмірів і форми деталі, однорідності механічних властивостей і товщини заготовки, числа операцій, наявності калібровочної операції після гнуття, способу фіксації заготовки, точності виготовлення штампу тощо.

**Калібрування** - є додатковою операцією при виготовленні пружини для реле. Калібрування застосовують для особливо відповідальних пружин. Додатковий удар штампом по вже виготовленій формі призначений для забезпечення ідеальної площинності та точності кутів (рис. 3.8)

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Вільний згин.

Перегин

Пластичний згин

Пластичний поворот кінців

Ковзання

Рисунок 3.8 – Схема гнуття та калібрування.

Калібрування призначено для отримання точних розмірів і гладкої поверхні об'ємних деталей обтисканням їх в штампі.

Додаткова обробка: **галтування**.

Пружини піддають галтуванню – пружини обертаються в барабані з абразивним матеріалом для закруглення гострих країв та полірування поверхні (рис 3.9).

До галтування

Після галтування



Рисунок 3.9 – Деталі, що піддавали галтуванню

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання для галтування показане на рис.3.9. Галтування проводять обкатуванням деталей у спеціальних барабанах з абразивними матеріалами. Швидкість обертання 10 – 50 об/хв. Галтувальні барабани можуть бути з горизонтальною, вертикальною та похилою віссю обертання, завантаження деталей і розвантаження може бути автоматичним чи ручним (рис.3.9). Абразивні матеріали виготовляють з кераміки у вигляді часточок, що мають форму скошеної призми чи кулі, також відповідної форми з фарфору та карбїду кремнію (рис.3.10). Під час такої обробки знімаються внутрішні напруження, які виникли при штампуванні.

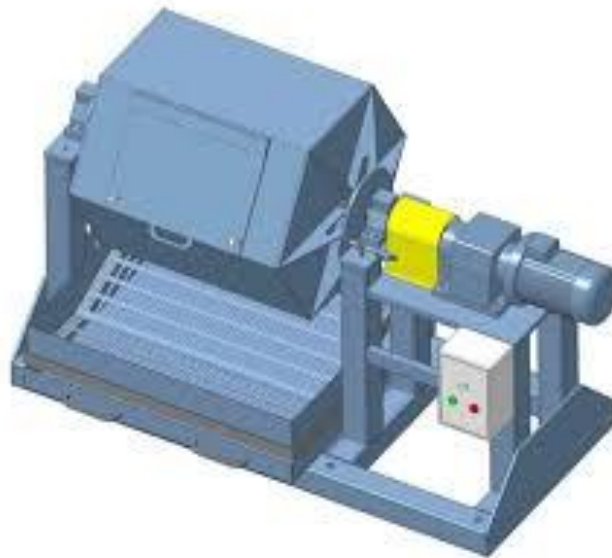


Рисунок 3.10 - Галтовочний барабан

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.11 – Абразив для галтування

### 3.4. Розробка технологічного процесу зміцнення пружини.

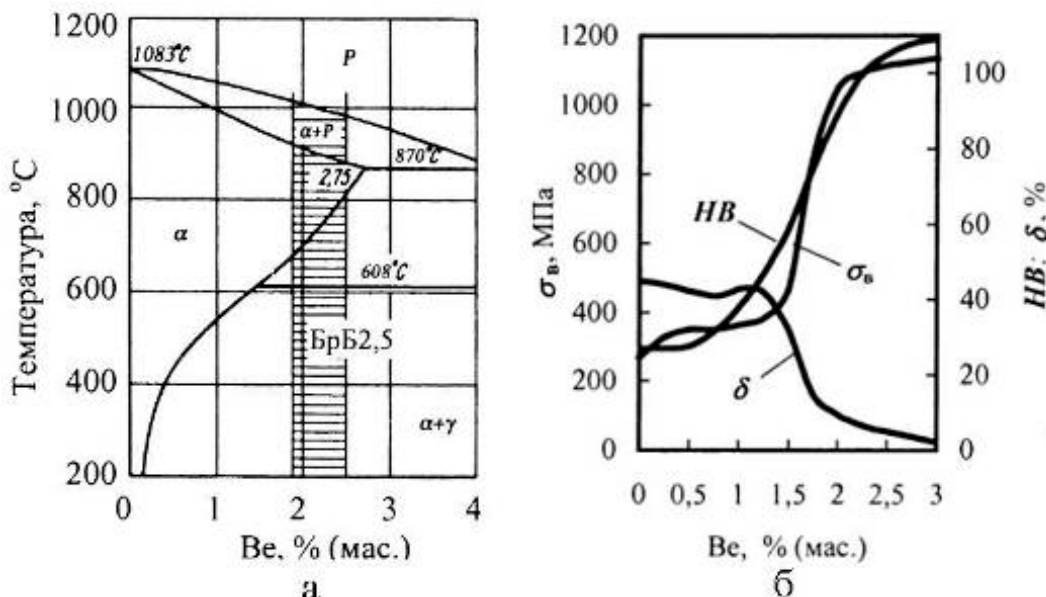
Берилієва бронза, з якої пропонуємо виготовляти пружину поворотного реле, належить до групи мідних сплавів з високими показниками як електричних так и механічних характеристик, які формуються завдяки особливому складу, обробці та структурі, що робить берилієву бронзу одним із найкращих матеріалів електронної техніки. Поширене використання берилієвої бронзи можна пояснити тим, що окрім високих показників межі пружності, така бронза володіє високою корозійною стійкістю, не магнітністю, підвищеною електропровідністю та важливими технологічними властивостями (штампуємістю, зварюваністю тощо). Автори [12] свідчать, що основна частина виробленого в світі берилію використовується для

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва берилієвих бронз. Попит на них зростає за їх унікальні властивості, які потрібні для мініатюризації приладів.

### 3.4.1 Аналіз діаграми мідь – берилі.

*Берилієві бронзи.*



Діаграма фазової рівноваги сплавів системи Cu-Be зображена на рис. 3.11 .

Рис. 3.11 - Система мідь-берилій: а) частина діаграми стану Cu-Be; б) залежність механічних властивостей берилієвих бронз після гартування та старіння від вмісту берилію

Таблиця 3.8 Марки, хімічний склад і механічні властивості берилієвих бронз

[4]

Марка бронзи	Масова частка, %		$\sigma_{Tч}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	НВ	$\delta$ , %
	берилій	інші елементи				
БрБ2	1,8...2,1	0,2...0,5	540	300	100	25
БрБНТ-1,7	1,6...1,85	0,2...0,4Ni;0,1...0,25Ti	—	—	—	—
БрБНТ-1,9	1,85...2,1	0,2...0,4Ni;0,1...0,25Ti	—	—	—	—
БрБНТ-1,9Мг	1,85...2,1	0,2...0,4Ni;0,1...0,25Ti				

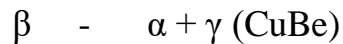
В системі мідь – берилій утворюються такі фази:

$\alpha$  – твердий розчин берилію в міді. Решітка ГЦК.

Електронна сполука CuBe з решіткою ОЦК.

$\beta$  - твердий розчин на основі електронної сполуки CuBe. Решітка ОЦК.

При температурі 608 °С  $\beta$  – фаза розпадається на евтектоїдну суміш



( евтектоїд)

При охолодженні нижче температури евтектоїдного перетворення з  $\alpha$  твердого розчину виділяються вторинні кристали  $\gamma$ - фази (CuBe). Максимальна розчинність берилію в міді при температурі 866°С сягає 2, 7 %, при температурі 600 °С – 1,5 % , а при 300 °С тільки 0,2%. Це дає можливість зміцнювати берилієві бронзи методом дисперсійного твердіння.

При гартуванні бронзи БрБ2 від температури 760 – 780 °С утворюється однорідний  $\alpha$  – твердий розчин, який зберігається внаслідок швидкого охолодження у воді кімнатної температури. Після гартування бронза має невисоку міцність  $\sigma_B = 450$  МПа, високою пластичністю -  $\delta = 40\%$  .

Старіння – проводять для здійснення дисперсійного старіння при температурі 300 -350 °С. Під час витримки із пересиченого  $\alpha$  – твердого розчину виділяються дисперсні часточки  $\gamma$ - фази (CuBe), внаслідок чого підвищується міцність бронзи. Бронза в наклепаному стані (наприклад, після штампування) зміцнюється швидше і значніше.

Бронза БрБ2 в стані після гартування і старіння має показники механічних властивостей  $\sigma_B = 1250$  МПа, невисокою пластичністю

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta = 3 - 5\%$  , а після гартування, холодної пластичної деформації з обтисканням 30% і старіння ці показники зросли до  $\sigma_v = 1400$  МПа, пластичність трохи знизилась  $\delta = 2\%$  .

Найвищих механічних властивостей пружини для реле поворотів автомобіля з берилієвої бронзи БрБ2 з вмістом берилію 1,7..2,0% Ве досягають після гартування від 780°C у воді, холодної пластичної деформації (листового штампування) з наступним старінням готових деталей протягом 3 годин при температурі 300 – 350 °С. Пластична деформація бронзи перед старінням сприяє подрібненню зерна та виділенню внаслідок цього дуже дисперсних часточок  $\gamma$  - фази (CuBe) (рис. 3.12).

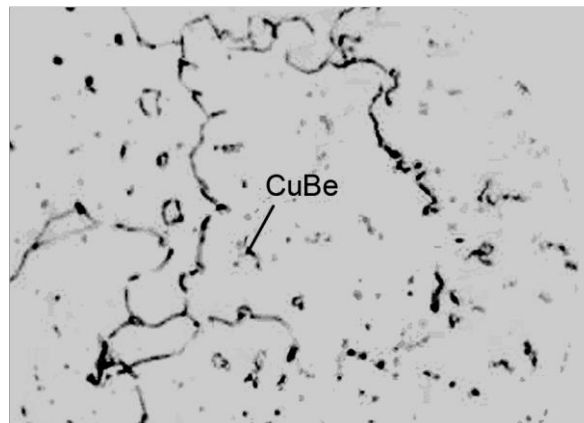


Рисунок 3.12- Мікроструктура берилієвої бронзи БрБ2 після зміцнюючої обробки

Властивості берилієвої бронзи після зміцнюючої обробки показані в таблиці 3.9

Таблиця 3.9. Властивості бронзи

Марка сплаву	Механічні властивості			Електропровідність, Ом·см·10 <sup>-4</sup>	Стан
	1250	3	370		
БрБ2	1250	3	370	0,07	після гартування та старіння

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4.2. Природа зміцнення бронзи при гартуванні та старінні

Бронзи - сплави на основі міді з додаванням олова, кремнію, алюмінію, марганцю, свинцю, берилію є досить поширеними в машинобудуванні та приладобудуванні сплавами. З перелічених систем тільки бронзи з алюмінієм та берилієм можна піддавати зміцнюючій обробці для підвищення міцності, твердості внаслідок отримання унікальної структури після дисперсійного твердіння.

З діаграми стану Cu – Be видно, що розчинність берилію в міді невисока. Максимально в міді може розчинитися 2,7 % Be за температури 866°C. При зниженні температури спостерігається різке зменшення розчинності берилію в міді: при температурі 200°C зменшується до 0,2%. При нагріванні бронзи вище лінії сольвус можна досягти максимальної концентрації берилію в міді. Твердий  $\alpha$  – розчин при температурах 760 -780 °C майже максимально розчиняє берилій та в ньому зростає кількість точкових дефектів. Такі температури вибирають при гартуванні берилієвих бронз. Підвищення температури нагрівання веде до росту зерна твердого розчину, що окричуватиме сплав. Критична швидкість охолодження при гартуванні має бути 30 – 70 °C/с. Охолодження проводять у воді, яка здатна забезпечити швидкість охолодження 600 °C/с. Структура бронзи після гартування – пересичений  $\alpha$  – твердий розчин. Така бронза має високу пластичність, її піддають пластичній деформації в загартованому стані. По закінченню технологічних операцій з виготовлення деталей проводять операцію зміцнення. Вона полягає в нагріванні виробів до температури 300 – 350°C, витримка 2 – 3 години з наступним охолодженням в печі. Під час витримки (старіння) відбувається розпад пересиченого твердого розчину. Він починається з утворення зон Гінґе – Престона (ГП), вони мають форму дископодібних моно шарів атомів Be (діаметром 2 – 10 нм), які спотворюють кристалічну будову оточуючого твердого розчину. Завершується старіння

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворенням дисперсних пластинок завтовшки 5 – 10 нм метастабільної фази  $\gamma'$ , когерентно спряженою з матрицею. Бронза з такою структурою має найвищі показники міцності та твердості.

Нагрівання при старінні до більш високих температур, а також збільшення витримки при старінні сприяє знеміцненню. Підвищення температури зумовлює зменшення дисперсності пластинок фази  $\gamma'$ , вона втрачає когерентний зв'язок з матрицею (пересиченим  $\alpha$  – твердим розчином), перетворюється у стабільну  $\gamma$  фазу (твердий розчин на основі інтерметаліда CuBe).

### **3.5. Технологічна послідовність виготовлення пружини реле поворотів.**

Вихідна заготовка - стрічка з берилієвої бронзи товщиною 0,15 мм.

1. Гартування стрічки. Температура нагрівання 780°C, вода.
2. Вибрати тип розкрою (рис.3.5).
3. Вирубання та пробивання отворів (рис. 3.6).
4. Гнуття (рис.3.7).
5. Калібрування (рис.3.8).
6. Галтування (рис. 3.9 – 3.11)
7. Складання. Знежирити поверхню. Приклепати пружину до тримача.
8. Термообробка. Старіння при 300 - 350 °C 3 години. Охолодження разом із піччю.

### **3.6. Технічний контроль якості продукції.**

Технічний контроль якості продукції є сукупністю заходів на всіх стадіях виробництва з метою запобігання або ліквідації браку та забезпечення випуску продукції згідно з установленими вимогами. Він включає контроль якості вихідних матеріалів, контроль технологічних процесів і контроль продукції після термічної обробки. При виготовленні пружини реле поворотів

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КВРМТВА 2311502. 14.00

автомобіля з берилієвої бронзи потрібно виконати наступні контрольні операції.

### 3.6.1. Контрольно - вимірювальні операції та прилади для їх виконання.

При виготовленні пружини реле поворотів автомобіля з берилієвої бронзи потрібно виконати наступні контрольні операції.

1. Виміряти твердість бронзової стрічки в стані постачання. Твердість має бути HRB 75 - 85.
2. Виміряти товщину бронзової стрічки.
3. Виміряти геометричні параметри пружини після її одержання листовим штампуванням: контролювати товщину, радіус вигину, наявність концентраторів напружень. На кромках пружини не повинно бути задирок після вирубання та пробивання отворів.
4. Контролювати радіус вигину: він має бути більшим за дві товщини пластини.
5. Візуально контролювати якість клепаання. Біля отвору клепки не має бути тріщин або напливів металу.
6. Після термообробки контролюється площинність.
7. Контроль твердості, вона має бути в межах HRC 36 – 42.
8. Визначити пружність пружини.
9. Контроль стану поверхні.
10. Контроль електричних параметрів.
11. Металографічний аналіз.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Геометричні параметри** (товщину пружини) вимірюють мікрометром, площинність контролюється на поворотній плиті. Залежність зусилля, з яким пружина діє на контакт від її товщини описується степенною функцією (кубичною), помилка на 0,02 мм при вимірюванні товщини може змінити жорсткість на 20 -30%.

Контроль площинності дозволяє встановити наявність внутрішніх напружень, які залишаються після термічної обробки. Пружина не повинна мати слідів «поводки».

**Механічні властивості** визначають після термічної обробки. Твердість вимірюють за методом Роквелла чи Віккерса. Модуль Юнга перевіряють, вимірюючи зусилля при заданому відхиленні. Пружина повинна повертатись до вихідних розмірів без залишкової деформації після 10 - 20 циклів повного натискання.

Візуальним оглядом контролюють **стан поверхні**. Плямистість вказує на порушення теплового режиму. Окисна плівка має бути рівномірною солом'яного чи синюватого кольору

**Електричні параметри** – перехідний опір та відсутність перегріву перевіряють так: міліометром між клепання та кінцем пластини вимірюють перехідний опір. Про відсутність перегріву свідчить те, що пластина не змінює колір або не деформується від тепла при проходженні номінального струму (до 30 А). **Фазовий склад** бронзи після термообробки перевіряють на мікрошліфах [14]. Структура має бути двофазною  $\alpha$ -твердий розчин з дрібнозернистими рівномірно розміщеними включеннями  $\gamma$  – фази. Контролюють рівномірність розподілу часточок  $\gamma$  – фази. Коагульовані часточки не бажані в структурі, так як така бронза буде мати гірші властивості.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікроструктурним аналізом визначається **глибина окислення**, якщо термічна обробка проводилась у звичайній електричній печі, берилій на поверхні може вигоряти. Вимірюють товщину оксидної плівки та пористість поверхні. Краще нагрівання проводити у вакуумних печах чи у середовищі інертного газу. Якість зони після клепання також перевіряють на мікрошліфах. Дослідження проводять на поперечних шліфах для виявлення мікротріщин. Зерна металу в зоні клепки мають бути цілими, не розірваними і не сильно витягнутими, щоб при гартуванні в цій зоні не виникли тріщини.

Параметри що перевіряються показані в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10. Контроль якості продукції.

Параметр	Інструмент	Значення
Твердість в стані постачання	Твердомір ТК-2	HRB 75 - 85
Твердість після старіння	Твердомір ТК-2	HRC 35 - 40
Геометрія	Мікрометр	Допуск $\pm 0,02$ мм
Пружність	Динамометр	Відсутність залишкової деформації
Стан поверхні	Лупа x10	Відсутність мікротріщин біля клепки
Мікроструктура,	Металографічний мікроскоп	$\alpha$ -твердий розчин з дрібнозернистими рівномірно розміщеними включеннями $\gamma$ – фази.
Окиснений шар	Металографічний мікроскоп	визначається товщина

Параметри, що контролюються під час мікроструктурного аналізу показані в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11. Параметри, що контролюються на мікрошліфах

Об'єкт дослідження	Нормативні параметри	Ознаки браку
Розмір зерна	10 – 30 мкм (дрібне)	Великі зерна (ознака перегріву при гартуванні)
Виділення фази CuBe	Дисперсні, точкові	Суцільні грубі шари на межах зерен
Зона клепки	Плавний вигин зерен, границі не розірвані	Гострі чорні зазубрини, порожнечі.
Реактив для травлення бронзи : 5 г FeCl <sub>3</sub> + 10 мл HCL + 100 мл води. Травити зануренням. Час травлення 5 -10 секунд.		
Реактив для травлення NH <sub>4</sub> OH 25% - розчин 50мл, перекис водню H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> - 3 % розчин -20 – 50 мл. Реактив готують безпосередньо перед використанням. Час травлення 1 – 3 хвилини.		

### 3.6.2. Контрольно- вимірювальні прилади

Для контролю якості проведеної обробки використовують прилади та інструменти, показані на рис.3.13 – 3.19.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.3.13 – Металографічний мікроскоп    Рисунок 3.14 - Твердомір



Рисунок 3.15 Камерна піч для термічної обробки

Живлення печі здійснюється від мережі трифазним струмом. Піч оснащена нагрівальними елементами, виготовленими з ніхрому у вигляді дроту діаметром 7 мм. Робоча температура печі (до 1250°C) регулюється автоматично. Двері піднімаються і опускаються з допомогою електромеханічного приводу.

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.16 – Загальний вигляд бака для охолодження  
деталей при гартуванні



Рисунок 3.17- Вимірювальний мікроскоп

Вимірювальний мікроскоп для визначення розмірів та контролю допусків.  
Вимірювальний мікроскоп ММ-200 з монокулярною оптичною головкою,  
або ММ-200 із C- Mount (відеоголовкою для ММ-200).

					КвРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.18 - Динамометр аналоговий пружинний універсальний



Рисунок 3.19 - Мікрометр

### Висновки по роботі.

1. Берилієві бронзи мають унікальні властивості (табл. 3.8, 3.9)- високу міцність, твердість, межу пружності та витривалості. Тому їх доцільно

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовувати для виготовлення пружин в таких приладах як реле поворотів автомобіля.

2. Берилієві бронзи поєднують унікальні властивості – механічні та електричні, що робить їх потрібним матеріалом для машинобудування та електронної техніки.

3. Широкому вжитку берилієвих бронз перешкоджає їх висока вартість через дефіцит берилію. Легування Mn, Ni, Ti, Co дає змогу зменшити вміст берилію до 1,7...1,9% без помітного зниження механічних властивостей і в такий спосіб здешевити матеріал (БрБНТ-1,7; БрБНТ-1,9).

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання - Прес, 2003. – 511с.
2. Дерещ О.Л. Електронне та електричне обладнання автомобілів/конспект лекцій для студентів напряму 6.070106 “Автомобільний транспорт” денної та заочної форм навчання . Дніпродзержинськ. 2016 48 с.
3. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. [ISBN 978-966-2989-39-7](https://doi.org/10.26907/2542-0406.2017.04.0448)
4. ДСТУ 6836:2004 Срібло та сплави на його основі. Марки
5. Богун Л., Плешаков Е., Швако С., Тепла Т. Кольорові метали та сплави. Частина 1: Мідь та мідні сплави. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2017. - 47 с. [ISBN 978-966-941-051-1](https://doi.org/10.26907/2542-0406.2017.04.0448).
6. Кімстач Т. В., Узлов К. І., Усенко Р. В., Солоненко Л. І. Корозійна стійкість бронзових виробів. Стратегія якості в промисловості і освіті: матеріали. XVI Міжнародної конференції, м. Варна, Болгарія, 02–05 червня 2021 р. Варна: ТУ–Варна, 2021. С. 78–83. URL: <https://nmetau.edu.ua/file/--sbornik-varna-2021-full.pdf>.
7. Дзюбіна А. В., Узлов К. І., Кімстач Т. В. Закономірності структуроутворення ливарних алюмінієвих бронз. Молоді вчені 2021 – від теорії до практики: матеріали XII Всеукраїнської конференції, м. Дніпро, 25 березня 2021 р. Дніпро: НМетАУ, 2021. С. 34–38. URL: <https://nmetau.edu.ua/file/--molvch-2021-full.pdf>.
8. Аналіз відповідності нормативних вимог до алюмінієвих бронз закономірностям структуроутворення в системі Cu-Al // Узлов К.І., Реп'ях

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

С.І., Дзюбіна А.В., Кімстач Т.В., Мовчан О.В /Теорія і практика металургії №5, 2019 55 ISSN 1028-2335 с. 55 - 63.

9. ГОСТ 493-79 Бронзы безолов'яні ливарні. Марки – 1979. – 3 с.

10. ДСТУ 2776-94 (ГОСТ 24301-93) Прутки і труби бронзові та латунні литі. Технічні умови:

11. ГОСТ 18175-78 Бронзы безолов'яні, оброблювані тиском. Марки.

12. Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Боровик Л.В. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону. Навчальний посібник. Рекомендований Вченою Радою Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. м. Хмельницький. НАДПСУ, 2019. 264с

13. ДСТУ ISO 6508-1: 2013. Матеріали металеві. Визначення твердості за методом Роквеллу.

14. ДСТУ 8697-2019. Визначення знеуглецьованого шару

14. ДСТУ 8967 -2019. Сталь. Методи визначення знеуглецьованого шару.

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КВРМТВА 2311502. 14.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		