

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри зварювального
виробництва *Драган С.В.*

«___» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

**на тему: *Розробка технології паяння металокерамічних вузлів з
використанням активних припоїв***

Виконав: студент групи 6121м

_____ Ісаєнко С.М.

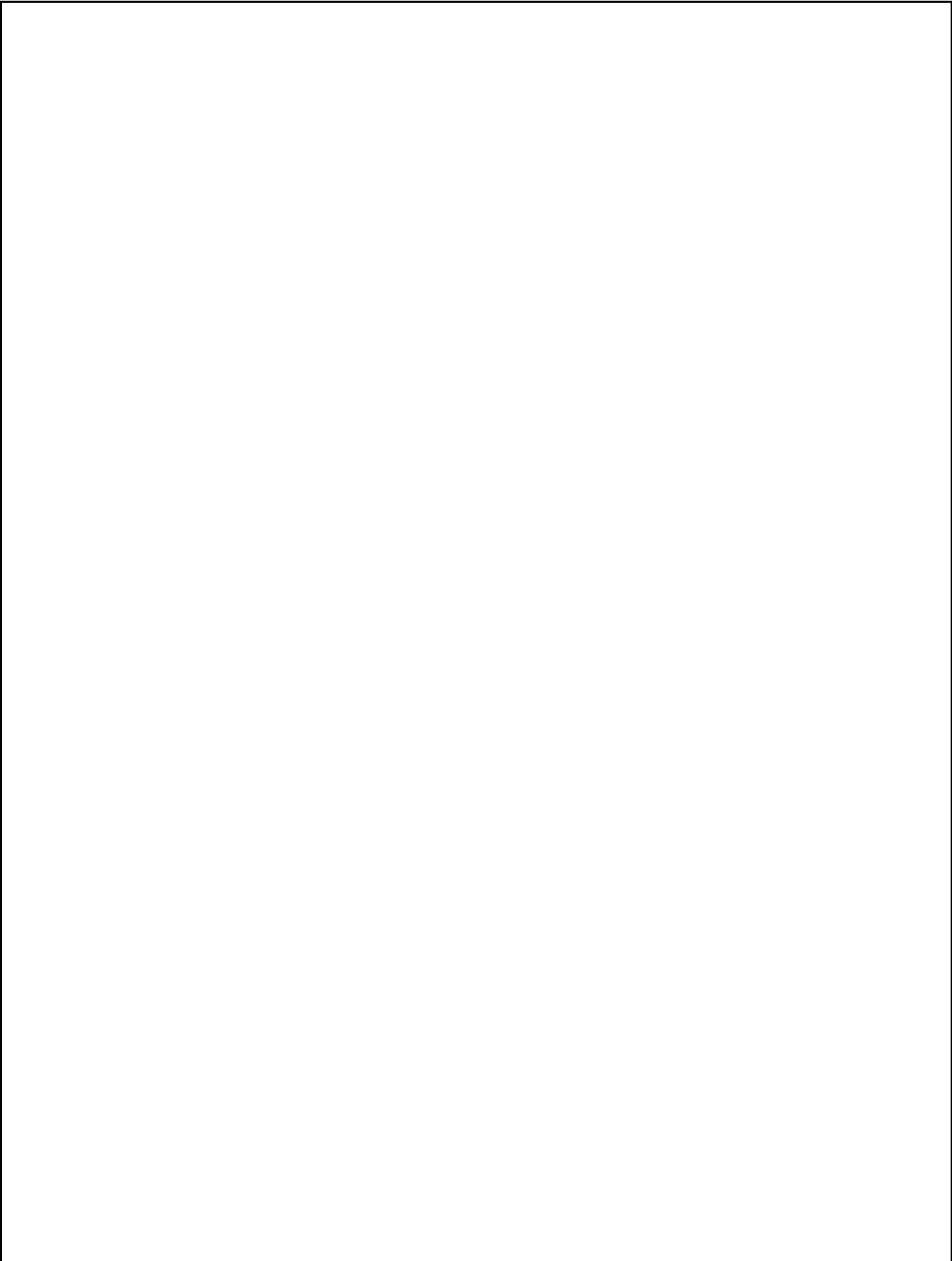
(підпис)

Керівник роботи:

к.т.н., доц. НУК

_____ *Лабарткава О.В.*

(підпис)



					КР.131.6121м.05.00.ПЗ			
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата				
Студент		Ісаєнко С.М.			Зміст			
Керівник		Лабарткава О.В.						
Консулт								
Зав.кафед		Драган С.В.						
					Лит	Лист	Листів	
						1		
					НУК ім. Адм. Макарова			

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ	
1.1. Особливості конструювання металокерамічних вузлів.....	
1.2. Загальна характеристика матеріалів для металокерамічних вузлів	
1.2.1. Кераміка.....	
1.2.2. Металеві матеріали	
1.3. Способи з'єднання кераміки з металами.....	
1.3.1. Дифузійне зварювання у вакуумі кераміки із металами	
1.3.2. Паяння кераміки з металами	
1.4. Проблеми з'єднання металів з керамікою	
Висновки та завдання дипломного проекту	
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1. Досліджувані матеріали.....	
2.2. Обладнання та апаратура.....	
2.3. Структурний, рентгеноструктурний та рентгеноспектральний аналізи	
Висновки.....	
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ТИТАНОЗМІСНИХ ПРИПОЇВ З ОКСИДНОЮ КЕРАМІКОЮ І КОВАРОМ.....	
3.1. Вивчення крайових кутів змочування	
3.2. Металографічне дослідження паяного металокерамічного вузла гермовводу.....	
3.3. Дослідження механічних властивостей паяного металокерамічного вузла гермовводу.....	
Висновки	
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ АКТИВНОЇ КОНТАКТНО- РЕАКТИВНОЇ ПАЙКИ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ГЕРМОВОДІВ.....	

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1. Основні технічні вимоги до металокерамічних високовольтних гермовводів для електронно-променевих гармат установок для зварювання та напilenня	
4.2. Розробка оснастки для паяння металокерамічних гермовводів під тиском	
4.3. Технологія паяння під тиском металокерамічних гермовводів для електронно-променевих гармат.....	
4.3.1. Підготовчі роботи.....	
4.3.2. Складання вузла гермоввода під паяння.....	
4.3.3. Паяння металокерамічного гермовводу.....	
4.3.4. Контроль паяних гермо вводів	
Висновки	
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ РІЧНОЇ ПРОГРАМИ ВИПУСКУ	
Висновки	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ	

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата										
Студент	Ісаєнко С.М.				ВСТУП				Лит		Лист		Листів	
Керівник	Лабарткава О.В.										1			
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова					
Зав. кафедр	Драган С.В.													

ВСТУП

В сучасній промисловості широко використовуються конструкції з металу та кераміки чи інших неметалів [15]. Розробка технології з'єднання кераміки з металами можлива тільки з урахуванням властивостей матеріалів, а також процесів, що відбуваються в зоні паяння чи зварювання.

Способи зварювання плавленням, зазвичай, не підходять для з'єднання металів з неметалами внаслідок природної несумісності композитів, що з'єднуються. Процес паяння знайшов широке застосування при з'єднанні зазначених матеріалів [10, 25]. Однак, при конструюванні та розробці технології виготовлення деталей та вузлів необхідно враховувати проблему процесу паяння - погане змочування неметалів, що потребує використання адгезійно-активних припоїв [17]. Вирішення проблеми досягається паянням металізованої кераміки [11] та застосування узгоджених спаїв.

Паяння – технологічний процес з'єднування матеріалів при температурах, нижчих від їх температур автономного плавлення, за допомогою припоїв [31]. Недоліком паяння металізованої кераміки є висока трудомісткість металізації, що включає операцію спалювання пасти при температурі близько 1600 °C [14, 23].

У техніці широко використовують гермовводи різного призначення, у тому числі високовольтні гермовводи електронно-променевих гармат в установках для зварювання та напилення. У таких вузлах зазвичай використовують узгоджені спаї, такі як кераміка і ковар, що мають близькі термічні коефіцієнти лінійного розширення (ТКЛР). Отже, розробка технології паяння металокерамічних вузлів з використанням активних припоїв є актуальною задачею.

					131.6121м.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ			
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Студент	Ісаєнко С.М.				ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ	Лит	Лист	Листів
Керівник	Лабарткава О.В.						1	
Консулт						НУК ім. Адм. Макарова		
Зав.кафед	Драган С.В.							

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

1.1 Особливості конструювання металокерамічних вузлів

Особливості конструювання металокерамічних вузлів та з'єднання різнорідних матеріалів визначаються властивостями металу та кераміки. Наприклад, при конструюванні зварних з'єднань із різнорідних матеріалів враховують такі особливості [12]:

- 1) істотні відмінності в температурах плавлення матеріалів, що з'єднуються, при яких в момент досягнення одним з матеріалів температури плавлення інший знаходиться ще в твердому стані;
- 2) велика відмінність ТКЛР металів, що з'єднуються, що призводить до появи значних власних напруг;
- 3) відмінність теплопровідності і теплоємності матеріалів, що з'єднуються, призводить до зміни температурних полів і, впливає на характер змочування матеріалів;
- 4) при відмінності в електромагнітних властивостях матеріалів, що з'єднуються, можливе незадовільне формування шва;
- 5) значні труднощі виникають через присутність у зварювальній ванні тугоплавких оксидних плівок, що утворюють включення у зварному чи паяному шві;
- 6) на формування якісної сполуки та її працездатність вирішальний вплив надає хімічний склад фаз, що утворюються, їх кількість, властивості, характер розташування та форма.

При конструюванні метало-керамічних виробів зазвичай використовують так звані «узгоджені» спаї, тобто, обирають метал із близькими до кераміки ТКЛР, зазвичай ковар [16], проте при температурі вище 450 ... 550 ° С ТКЛР ковару різко збільшується, тому використовують різні конструктивні методи регулювання напруги та деформації, описані в роботі [18].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У праці [4] для підвищення працездатності паяного з'єднання з різнорідних матеріалів на паяних поверхнях пропонується сформувати виступи. Пайку діелектрика пропонується проводити не безпосередньо з металевою основою, а через проміжну прокладку, попередньо сформувавши пустотілі пірамідальні виступи на прокладці та металевій основі (рис. 1.1). Зниження власних напруг автори пояснюють збільшенням поперечної жорсткості основи, а отже, зменшенням напруг вигину в діелектриці.

Застосування проміжних шарів, що забезпечують з'єднання по всій поверхні з'єднання, розглядається в роботах [3]. Автори [1] пропонують проміжний шар сформувати у вигляді металевої щітки (рис. 1.2). Передбачається, що застосування такої схеми дозволить отримати значну жорсткість і міцність конструкції, а також підвищити пластичність проміжного шару, що має призвести до зниження власної напруги.

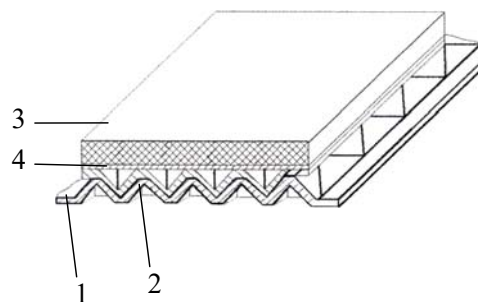


Рис. 1.1. Схема з'єднання діелектричної підкладки з металевою основою:

1 – металева основа; 2 – пустотілі виступи;
3 – діелектрична підкладка; 4 – проміжний елемент

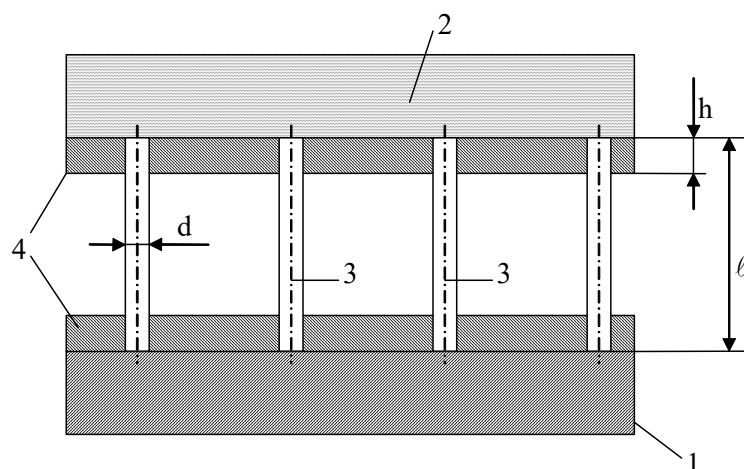


Рис. 1.2. Схема паяного з'єднання: 1 – метал; 2 – кераміка;
3 – пружна прокладка; 4 – припій

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У праці [3], для збільшення стійкості металокерамічного з'єднання до термомеханічних впливів пропонується використання проміжного прошарку у вигляді циліндричних спіралей (рис. 1.3), а для збільшення опору конструкції напругам стиснення всередину спіралей поміщають жорсткі сердечники. Однак, дані про стійкість даної конструкції до напруг, що розтягують, не наводяться.

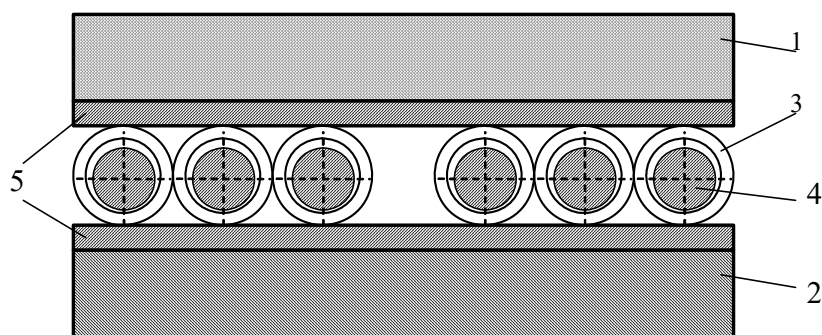


Рис. 1.3. Ескіз паяного з'єднання кераміки з металом: 1 – кераміка;
2 – металева пластина; 3 – гвинтові спіралі; 4 – сердечники;
5 – припій

При виготовленні елементів вогнетривких стін автори роботи [2] пропонують вести пайку металевої основи з керамічною деталлю через проміжний шар з гнучких елементів (рис. 1.4). Проміжний шар виконується профілюванням з сітки текстильного переплетення. При цьому висота проміжного шару, що рекомендується, коливається в широких межах від 2,5 до 30 d , де d – діаметр металевого дроту, з якого виконана сітка.

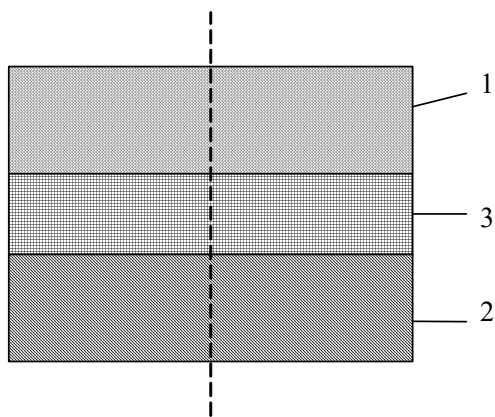


Рис. 1.4. Схема паяного з'єднання: 1 – кераміка; 2 – метал;
3 – проміжний шар

У праці [27] показана можливість отримання якісного паяного з'єднання ніобію зі сталлю електронно-променевим зварюванням через проміжну прокладку з міді.

Для отримання якісного з'єднання кераміки з металами запропоновано здійснювати паяння через проміжну прокладку спеціальної форми (рис. 1.5). Показано, що під час використання рифленого проміжного шару міцність з'єднання залежить від напрямку застосування навантаження. Застосування в якості проміжного шару металевої пластини з вм'ятинами округлої форми (рис. 1.5,б) більш бажано. Однак, дані щодо оптимальної висоти проміжних прокладок відсутні.

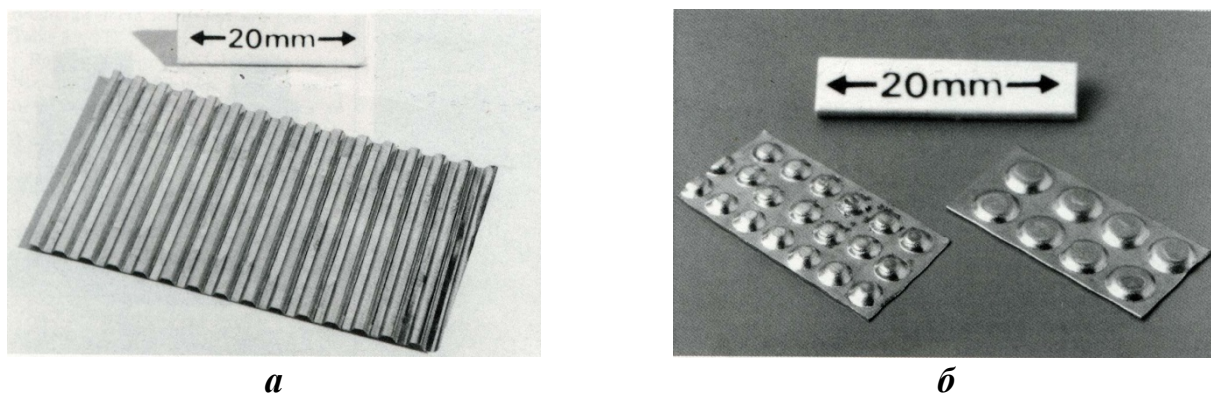


Рис.1.5. Форма проміжного шару: *а* – гофрований; *б* – з вм'ятинами округлої форми

Для виробів циліндричної форми найпростіші типи з'єднань металу з керамікою показані на рис. 1.6.

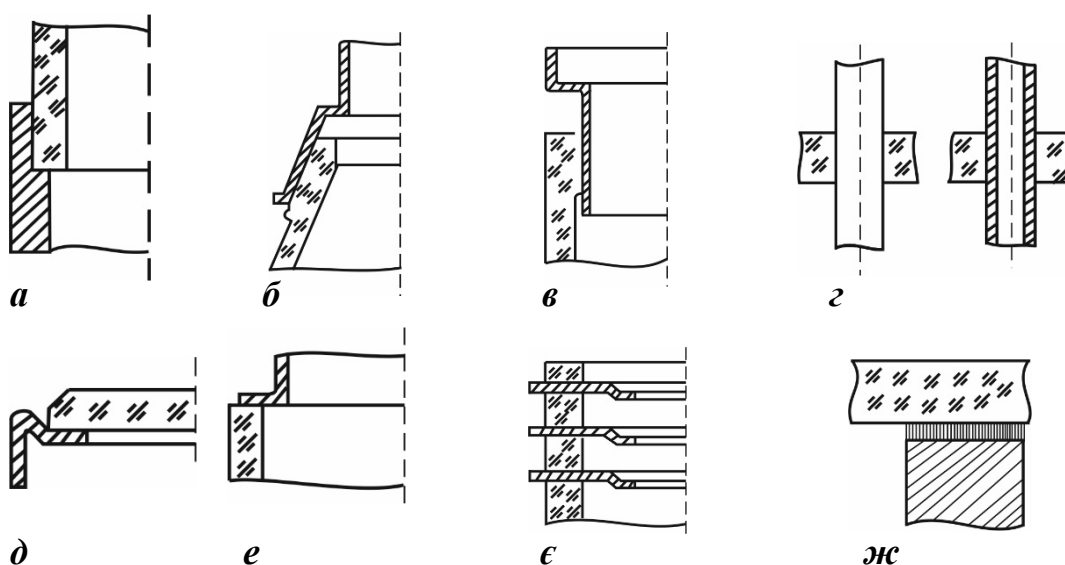


Рис. 1.6. Деякі типи металокерамічних з'єднань: охоплюючі (а, б, в), внутрішні (г), торцеві (д, е, є), типу щітки (ж)
 На рис. 1.7 представлені гермовводи серії ІАКВ для електронно-променевих гармат.



Рис. 1.7. Гермовводи серії ІАКВ, розраховані на напругу 60 кВ (зовнішній діаметр до 256 мм; секція прискорювальної трубки)

До основних експлуатаційних вимог, що пред'являються до гермовводів, відносяться:

- усі спаї металу з керамікою повинні бути вакуумнощільними;
- усі площини деталей мають бути плоскопаралельними;
- не повинно бути відхилень від центрів;
- повинні забезпечуватись необхідні електроізоляційні властивості між струмопідводами.

1.2. Загальна характеристика матеріалів для металокерамічних вузлів

1.2.1. Кераміка.

Кераміка є неорганічним мінералом, що одержується шляхом спікання мінералів оксидів, карбідів, нітридів та інших компонентів. Будь-який керамічний матеріал є багатофазовою системою. У кераміці можуть бути кристалічна,

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

склоподібна і газова фази [5]. Кристалічна фаза являє собою певні хімічні сполуки або тверді розчини. Ця фаза становить основу кераміки та визначає значення механічної міцності, термостійкості та інших її основних властивостей.

Склоподібна фаза знаходиться в кераміці у вигляді прошарків скла, що зв'язують кристалічну фазу. Зазвичай кераміка містить від 1 до 40% склофази, що знижує механічну міцність та погіршує теплові показники. Однак склоутворюючі компоненти (глинисті речовини) полегшують технологію виготовлення виробів.

Газова фаза являє собою гази, що знаходяться в порах кераміки; по цій фазі кераміку поділяють на щільну, без відкритих пір і пористу. Наявність навіть закритих пір небажана, оскільки знижується механічна міцність матеріалу.

У промисловості також використовують:

– кераміку чистих оксидів на основі Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , ThO_2 , BeO , MgO , а також шпинель $MgAl_2O_4$ та форстерит Mg_2SiO_4 ;

– безкисневу кераміку на основі нітридних та карбідних сполук (Si_3N_4 , SiC , TiC та ін.), а також комбіновану кераміку на основі оксикарбідів та оксинітридів, наприклад сіалони;

- магнітну кераміку (ферити), основу якої складають оксиди Fe_2O_3 , MnO_2 , NiO та ін;

- П'єзокераміку на основі титанату, цирконату свинцю.

Керамічні матеріали мають крихкий характер руйнування у стандартних умовах. У кераміці за нормальної температури повністю відсутня пластична деформація.

Залежно від фазового складу кераміки змінюється характер руйнування керамічних матеріалів. Руйнування при стисканні, згинанні, розтягуванні відбувається або по тілу склоподібної маси, або по кристаліту. У матеріалах суто кристалічної будови руйнація відбувається за межами зерен.

Вміст у кераміці дрібних тріщин, біля яких відбувається концентрація напружки, призводить до зниження міцності керамічного матеріалу і подальше його руйнування.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У промисловості найбільшого поширення набула корундова кераміка, що містить понад 80% Al_2O_3 . Кераміка із чистого оксиду алюмінію також знайшла широке застосування. Оксиди алюмінію (алунд, сапфір) хімічно інертні, тугоплавкі речовини, що відрізняються високим електричним опором, стійкістю до дії активних відновників, високою щільністю. Корундова кераміка Al_2O_3 має температуру плавлення 2000–2045°C, робочу температуру 1700°C, щільність 3950 кг/м³, температурний коефіцієнт лінійного розширення $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, міцність при розтягуванні 176...190, стисненні 1900...2000, згибі 280...450 МПа.

Міцність керамічних матеріалів визначається складом та мікроструктурою. Фазовий склад та структура корундової кераміки визначаються хімічним складом маси, умовами її приготування, методом формування та режимом випалу. У табл. 1.1, 1.2 наведено хімічний та фазовий склад деяких марок вакуумно-щільної кераміки.

Кераміка з Al_2O_3 (корундова) має високу міцність, яка зберігається при високих температурах, хімічно стійка, відмінний діелектрик. Термічна стійкість корунду невисока. Вироби з нього широко застосовують у багатьох галузях техніки. Кераміка з щільною структурою використовується як вакуумна кераміка, пориста як термоізоляційні матеріали. Фізичні властивості вакуумно-щільної кераміки наведені у табл. 1.3.

Таблиця 1.1.

Хімічний склад вакуумно-щільної кераміки

Кераміка		Хімічний склад, %			
Вид	Марка	Al_2O_3	SiO_2	MgO	Інші складові
Корундова	ВК100-1*	99,8	—	0,2	
	ВК100-2**	99,8	—	0,2	
	ВК99-1	98,8	—	0,3	0,9 Ba_2O_3
	ВК98-1	98,0	—	0,5	1,5 B_2O_3
	ВК95-1	95,3	3,3	1,2	0,2 CaO
	ВК94-1	94,4	2,8	—	0,5 Cr_2O_3 ; 2,3 MnO
	ВК94-2	94,2	3,7	—	2,1 CaO
Бромелитова	ВБ100-1	—	0,5	—	99,5 BeO
	ВБ97-1	1,2	0,9	—	0,9 CaO ; 97,0 BeO
Форстеритова	ВФ52.42-1	0,8	41,7	51,5	6,0 BaO

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

	ВФ48.44-1	2,1	43,7	48,4	5,8 BaO
	ВФ46.43-1	3,9	42,8	45,8	7,5 BaO
Кліноенстантитова (стеатитова)	ВКл32.63-1	2,6	62,8	31,6	2,1 B ₂ O ₃ ; 0,9 BaO
* Оптично прозора.					
** Оптично непрозора.					

Таблиця 1.2.

Фазовий склад вакуумно-щільної корундової кераміки, % за обсягом

Кераміка	Кристалічна фаза	Скловидна фаза	Пори
ВК94-1	95	10	5
ВК94-2	81-87	13-19	4
ВК100-2	96	0	4

Таблиця 1.3

Фізичні властивості вакуумно-щільної кераміки

Кераміка	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁷ К ⁻¹ , в інтервалі температур, °С			Межа міцності при згинанні, МПа	Модуль пружності, ГПа
	20-200	20-500	20-900		
ВФ52.42-1	83	98	109	147	—
ВФ46.43-1	80	—	—	167	148-152
ВКл32.63-1	92	91	88	118	84-99
ВКл32.63-2	82	84	84	147	—
ВК100-1	57	—	75	274	370-390
ВК100-2	60	70	79	314	380
ВК98-1	67	78	86	294	300-400
ВК94-1	62	73	80	314	255
ВК94-2	61	69	80	294	190-220
ВК95-1	62	73	82	304	300
ВК97-1	53	—	86	137	300-320
ВБ100-1	64	72-75	81-88	196	260

Відповідно до ДСТУ 20419-83 «Матеріали керамічні електротехнічні» який встановлює міцність на розтягування групи 100 підгрупи 110 – 30 МПа

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

неглазурованого та 35 МПа глазурованого зразків; підгрупи 110.1 відповідно 45 та 55; підгрупи 120 - 55 і 65 МПа; підгрупи 130 - 60 і 70 МПа відповідно при міцності на вигин у 2 рази більшою; групи 200 підгрупи 220 відповідно 45 і 60 МПа при міцності на вигин 120 МПа, стиснення 600 МПа; групи 400 міцність на вигин неглазурованого зразка 70...50 МПа та на розтяг 25 МПа. Основним показником є лише міцність на вигин, решта є довідковими. Для високоглиноземистих керамік групи 700 основним показником є лише міцність при згинанні, що становить 200...300 МПа, на розтяг і стиснення міцність не наводиться.

1.2.2. Металеві матеріали.

Кераміку з'єднують з невеликою кількістю металів та сплавів. Це пояснюється тим, що, крім експлуатаційних характеристик, необхідно одержати високонадійні металокерамічні сполуки, зберігши електроізоляційні, оптичні, п'єзоелектричні або феромагнітні властивості керамічного виробу. Надійність з'єднань, головним чином, визначається узгодженістю ТКЛР.

Основні вимоги до конструкційних металів для металокерамічних вузлів (МКУ) наведені нижче [25].

1. ТКЛР металів та сплавів повинен збігатися у широкому діапазоні температур з ТКЛР керамічних матеріалів. Висока термічна та механічна надійність з'єднань досягається у тому випадку, коли неузгодженість ТКЛР в інтервалі температур від кімнатної до температури зварювання або паяння не перевищує 10 %.

2. Металеві деталі повинні мати малу межу текучості, низьким модулем пружності та високими значеннями відносного подовження. Це дозволяє внаслідок пластичної деформації металевої деталі зменшити рівень залишкової напруги. При виборі металів необхідно враховувати, що, як правило, що менше домішок, то вище пластичні властивості, тобто. нижче рівень залишкової напруги.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Метали повинні бути газонепроникними, при мінімальних товщинах і характеризуватись малим газовиділенням.

4. Метали повинні піддаватися різним видам механічної обробки, добре зварюватись і паятись, не втрачати первісних властивостей.

У промисловості для з'єднання керамікою широко використовують залізонікелеві сплави, наприклад, ковар 29НК, та якщо з чистих металів мідь, нікель, титан, алюміній, молібден, вольфрам. Основні фізичні властивості металів, які застосовуються при розробці МКУ, наведено в табл. 1.4.

Алюміній. Практичне застосування алюмінію при виготовленні МКУ зумовлене його малою щільністю (2699 кг/м^3), гарною корозійною стійкістю, високою хімічною активністю, високими пластичними властивостями, які зберігаються до кріогенних температур.

Одним із суттєвих недоліків алюмінію є його здатність утворювати на поверхні щільну, термодинамічно міцну, оксидну плівку Al_2O_3 , яка погано змочується припоями.

Алюміній активно поглинає водень при нагріванні, тому зварювання та паяння МКУ здійснюють у вакуумі близько $10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ Па}$.

Таблиця 1.4.

Властивості металів і сплавів, що застосовуються в МКУ

Метал чи сплав	Температура плавлення, °C	КЛТР при 20-200 °C, $\alpha 10^{-6} \text{K}^{-1}$	Модуль пружності, ГПа	Тимчасовий опір, МПа
Алюміній	660	23,8	66-73	80-110
Мідь	1083	16,5	117-130	160-500
Титан	1670	8,2	98-117	450-1020
Залізо	1531	12,5	207-217	180-620
Нікель	1452	13,3	180-227	320-1080
Тантал	2996	6,5	186-190	1400-1800
Платина	1771	9,1	100-175	140-370
Вольфрам	3410	4,4	365-400	1800-4150
Молібден	2660	5,5	280-330	700-1000
Цирконій	1952	6,0	90-100	350-1200
Паладій	1552	11,9	112-130	140-540
Платиніт	—	6,0-6,5	—	280-380

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

46Н	—	7,7	180-227	320-1080
Ковар	1450	5,0	—	540
Сталь 12Х18Н10Т	1425	17,3	190-200	560-630

За електронною будовою алюміній відноситься до р-елементів, що багато в чому визначає характер взаємодії зі сполуками, що входять до складу скла та кераміки. В результаті високої хімічної активності в зоні зварювання або паяння алюмінію з керамікою відбуваються окислювально-відновлювальні процеси, причому їхня швидкість часто виявляється досить високою. Цю обставину необхідно враховувати під час розробки технології зварювання.

Мідь. Хімічна активність міді невелика. З воднем мідь не реагує, проте за наявності кисню у міді відбувається хімічна взаємодія.

Незважаючи на велику ТКЛР міді, з'єднання кераміки з міддю широко поширені. Їх відрізняє висока надійність та довговічність. Широке застосування міді в МКУ обумовлено низькими значеннями межі плинності та модуля пружності, а також добрими вакуумними властивостями.

Мідні сплави мають гарні механічні, технологічні та антифрикційні властивості, а також високу пластичність. Широко застосовуються мідно-нікелеві (константан) сплави. Латуні практично не застосовуються через високу леткість цинку, а з бронз використовують берилієву бронзу, що містить близько 2% берилію, але бронзи мають малу пластичність.

Титан. Титан має високі механічні властивості, що мало змінюються у всьому температурному інтервалі експлуатації МКУ. Механічні властивості залежать від чистоти металу та попередньої механічної та термічної обробки. Якщо в сплаві титану є високолеткі компоненти (алюміній та ін), то в процесі зварювання на керамічній деталі може утворитися тонка провідна плівка, що призводить до погіршення електроізоляційних властивостей керамічних вузлів.

Залізо. Чисте залізо дуже пластичний метал, легко обробляється тиском у гарячому та холодному станах. Властивості заліза залежить від його чистоти.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Залізо та його сплави за рядом своїх властивостей є прийнятними матеріалами для з'єднання з керамікою багатьох марок.

З точки зору застосування заліза в сполуках з керамікою і в вакуумно-щільних МКУ, що прогріваються, особливо шкідливий вуглець. При взаємодії заліза з вуглецем утворюються тверді розчини проникнення – ферит і аустеніт. Тимчасовий опір та межа плинності сталі зі збільшенням вмісту вуглецю швидко зростають [25].

Значного покращення фізико-механічних властивостей низьковуглецевих та слаболегованих сталей з метою їх використання в МКУ можна досягти попереднім знеуглерожуванням у процесі відпалу у відповідній атмосфері або застосовувати АРМКО-залізо.

Залізо є основним компонентом великої кількості сплавів, що знайшли широке застосування для з'єднання з керамічними деталями. До них відносяться залізонікелеві та залізонікелькобальтові прецизійні сплави із заданими значеннями ТКЛР (табл. 1.5).

Таблиця 1.5.

Властивості залізонікелевих сплавів

Марка сплаву	Густина, кг/м ³	Границя текучості	Тимчасовий опір	Модуль пружності, ГПа	ТКЛР при 20-200 °С, 10 ⁻⁷ К ⁻¹
		МПа			
29НК	8300	352	510	148	50
42Н	8100	194	700	148	51
46Н	8200	284	730	142	47
47НД	8200	200	—	150	99
Примітка: Температура плавлення всіх сплавів 1723 К.					

Широко застосовується, для з'єднання з електротехнічним склом, а також різними керамічними матеріалами, сплав 29НК та його аналоги.

При проектуванні МКУ необхідно враховувати, що сплав 29НК схильний до міжкристалітної ерозії в контакт з рідкою фазою, наприклад з розплавленими

припоями. Дуже інтенсивно за межами зерен дифундує срібло. У ряді випадків для запобігання проникненню срібла використовують бар'єрні покриття з міді або нікелю, які оплавляють або спікають після нанесення на поверхню деталі.

З корозійностійких сталей у МКУ використовуються хромонікелеві сталі марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н9 та 12Х18Н9Т. Через високі значення ТКЛР їх порівняно рідко використовують для безпосереднього з'єднання з керамікою. Вони застосовуються у поєднанні із залізонікелевими сплавами у складних конструкціях.

Нікель, ніобій, тантал, платина. Ці матеріали найбільш повно відповідають основним вимогам до металів, призначених для використання в МКУ. Вони характеризуються високою температурою плавлення, пластичні, мають ТКЛР близький до ТКЛР корундових матеріалів.

Активна взаємодія з газами при підвищених температурах та їх висока вартість є стримуючими факторами їх широкого застосування у МКУ.

Вольфрам. Відмінність вольфраму від інших тугоплавких металів полягає у його великій густині ($19\,200\text{ кг/м}^3$) та високій температурі плавлення ($\sim 3395^\circ\text{C}$). Окислення вольфраму починається при температурі 400°C з утворенням WO_3 . З воднем не взаємодіє, а з азотом взаємодіє при температурі 1500°C .

Використання вольфраму у МКУ визначається однією властивістю – найнижчою ТКЛР. Це дозволяє використовувати його для внутрішніх спаїв із діелектриками.

Легування вольфраму ренієм, молібденом і хромом істотно впливає на температуру його рекристалізації та міцність після відпалу. Присадка ренію покращує пластичні властивості та покращує зварюваність.

Молібден. За твердістю, тимчасовим опором та модулем пружності молібден відноситься до металів з високими механічними властивостями. Після термообробки молібден порівняно легко деформується, відносно подовження стає близьким до відносного подовження звичайних м'яких металів (20...25%). При тривалих витримках може статися укрупнення зерна, тому молібден стає

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

крихким, що призводить до втрати здатності деформуватися. Свої високі механічні властивості молибден зберігає і за високих температур. У рекристалізованому стані його властивості близькі до властивостей пластичних металів.

ТКЛР молибдену дозволяє виконувати узгоджені з'єднання з тугоплавким склом різних марок, а також отримувати з'єднання з багатьма марками корундової кераміки. ТКЛР молибдену дозволяє виконувати узгоджені з багатьма марками корундової кераміки.

1.3. Способи з'єднання кераміки з металами

Світовий досвід створення металокерамічних виробів та вузлів показує, що практично єдиними способами отримання надійних сполук металів з керамікою є дифузійне зварювання та паяння [15, 10]. Однак ці способи з'єднання мають також проблеми.

1.3.1. Дифузійне зварювання у вакуумі кераміки із металами.

Виходячи з фізико-механічних властивостей (ФМВ) металів та керамічних матеріалів, дифузійне зварювання (ДЗ) має ряд особливостей. Через те, що повзучість більшості керамік починається вище 1100 °С, фізичний контакт на першій стадії зварювання формується у процесі пластичного деформування металів.

Великий вплив на зварюваність кераміки з металами має і мікроструктура. Збільшення розмірів зерен кераміки, що містить склофазу, призводить до зменшення протяжності границь а, отже, ділянок найбільш активної взаємодії. У крупнозернистої кераміці позначаються ушкодження тріщинуватого шару, що вносяться механічною обробкою.

Наявність склофаз в кераміці прискорює процес зварювання, з'єднання з такою керамікою виходять більш міцними, ніж з керамікою, в якій склофаз менше або взагалі відсутня. При зварюванні кераміки, що не містить склофаз, з

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

металами спостерігається закономірність, за якою міцність з'єднання крупнозернистої кераміки з міддю в кілька разів нижча за міцність з'єднання, отриманого з дрібнозернистою керамікою. Це ще раз підтверджує, що найактивніше процеси хімічної взаємодії протікають по межах зерен, навіть за відсутності склофази [12, 6].

Докладніше процес ДЗ кераміки з металами розглянемо на прикладі з'єднання корундової кераміки з металами.

Основними параметрами при ДЗ є: тиск, температура, час ізотермічної витримки, середовище, в якому здійснюється зварювання, та підготовка поверхні.

У створенні надійного фізичного контакту взаємодіючих поверхонь найважливішу роль відіграє тиск, проте при зварюванні корундової кераміки воно не повинно перевищувати 16 МПа через можливість появи тріщин в кераміці.

Оскільки термодинамічні характеристики матеріалів, що з'єднуються, залежать від температури, то температура зварювання є визначальним фактором в утворенні зварного з'єднання металу з керамікою. Температура зварювання має бути в межах 900 ... 950 ° С [25, 6].

Час зварювання обирається дуже ретельно. При ізотермічній витримці повинні утворитися фізичний контакт, здійснитися активація поверхонь, що з'єднуються, а також в достатній мірі пройти реакції взаємодії, що призводять до утворення перехідної зони відповідно до законів термодинаміки об'єднаних систем.

При температурі до 1000°C збільшення часу зварювання, як правило, до 20 хв, призводить до зростання міцності з'єднання, а потім механічні характеристики з'єднання стабілізуються. Вищі температури (вище 1100°C) роблять кераміку менш стійкою, і ізотермічна витримка під тиском понад 45 хв може призвести до появи термічної втоми, тобто. до появи тріщин та до руйнування. Очевидно, ізотермічна витримка для кераміки будь-якої марки має визначатися дослідним шляхом і не перевищувати 45 хв [25].

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш широко в якості зварювального середовища використовують вакуум, водень і форміргаз (H_2 , N_2). У вакуумі виникає небезпека виникнення оксидів металу, створених раніше на його поверхні, тому при зварюванні використовують неглибокий вакуум порядку $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па.

При зварюванні у водні слід враховувати, що це середовище у якому присутність парів води може мати окислювальну здатність. Слід вимірювати точку роси балонного водню, оскільки можливі деякі коливання кількості вологи, що міститься в ньому. По відношенню до більшої частини металів водень вважається відновним середовищем, коли точка роси не перевищує 223 К. Якщо водень містить вологу або кисень вище за допустиму норму, то в ньому також можливе окислення металу при зварюванні. Окислення стає найбільш помітним із зростанням температури зварювання [16].

Таблиця 1.6.

Вплив середовища на міцність зварного з'єднання металу з керамікою
($P = 16-18$ МПа, $t = 15-20$ хв)

З'єднувальна пара	Середовище	T , °C	Міцність на відрив МПа
Ковар-ВК94-1	Водень	1200	100
	Вакуум		120
12Х18Н10Т-ВК94-1	Водень	1200	100
	Вакуум		200
12Х18Н10Т-ВК94-2	Водень	1473	115
	Вакуум		115
Ніхром-ВК100-1	Водень	1250-1300	100
	Вакуум		100
Паладій-ВК100-1	Водень	1250-1300	160
	Вакуум		160
Сталь Ст3-ВК100-1	Водень	1250-1300	5
	Вакуум		5

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що на якість зварних з'єднань впливає температура нагрівання деталей, питомий тиск, тривалість витримки виробу при максимальній температурі, а також якість обробки поверхонь, що з'єднуються.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз розроблених режимів ДЗ показує, що температура ДЗ зварювання перевищує 1000 ° С, великий тиск (до 16 МПа) та час зварювання (близько 20 хв.), а також складна підготовка поверхонь кераміки перед зварюванням.

1.3.2. Паяння кераміки з металами

Успіхи, досягнуті останніми роками, дозволили підняти технологічні і експлуатаційні температури на МКУ до 500...700°C зі збереженням високих вакуумних і термомеханічних властивостей конструкцій [25].

Способами з'єднання МКУ є дифузійне зварювання та паяння. Але через велику різноманітність поєднань матеріалів застосовується в основному пайка, так як при цьому можуть бути використані різні композиції припоїв з метою отримання надійних та працездатних швів.

При отриманні спаїв кераміки з металами необхідно враховувати такі особливості [12, 25]:

- а) проблеми змочування кераміки припоями;
- б) відмінність ТКЛР та інших теплофізичних властивостей паяних металів, що є причиною виникнення власних напруг у паяних сполуках;
- в) відносно низьку міцність та крихкість кераміки;
- г) складність механічної обробки деталей з кераміки та їх доведення до точних розмірів;
- д) необхідність ретельного дотримання режимів нагріву, витримки та охолодження під час паяння.

Існують наступні способи паяння кераміки з металами: паяння за попередньо металізованою керамікою, активне паяння, паяння склоприпоями, паяння по сирому металізованому шару і паяння неметалізованої кераміки під тиском.

У табл. 1.7 надано рекомендації щодо вибору типу з'єднання в залежності від способів отримання металокерамічних сполук [14].

Таблица 1.7

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип металокерамічних з'єднань та способи їх отримання

Спосіб отримання з'єднань	Типи з'єднань	Примітки
Багатоступінчастий (паяння металізованої кераміки)	Торцеві, циліндричні охоплюючі, конусні та циліндричні внутрішні	При паянні високотемпературними припоями ($T_{пл} \geq 780^{\circ}\text{C}$) витримки та завищення температури мінімальні
Одноступінчастий (активне паяння) із застосуванням: активного металу в якості манжет активного припою порошків активних металів та їх гідридів	Торцеві, циліндричні, охоплюючі та конусні Торцеві Торцеві та конусні	Для зменшення залишкових внутрішніх напруг з'єднання необхідно повільно охолоджувати
Паяння склоприпоєм	Циліндричні внутрішні, конусні	На керамічних деталях потрібно робити фаски. ТКЛР металів, що використовуються для внутрішніх з'єднань та кераміки повинні бути близькими
Паяння по сирому (не випаленому) металізованому покриттю	Торцеві, конусні	Слід паяти мідним та мідно-золотим припоями у водневому середовищі та при вологості по точці роси від -10 до $+5^{\circ}\text{C}$
Паяння неметалізованої кераміки під тиском (дифузійна паяння)	Торцеві	Слід паяти мідним та мідно-золотими припоями під тиском 3-5 МПа та при витримці 5-10 хв.

Паяння металізованої кераміки.

Спосіб полягає в нанесенні та закріпленні тонкого шару металу на керамічну деталь (за допомогою металізованих паст) та подальшій пайці металізованої деталі з металом, цей спосіб називається також багатоступінчастим. Утворення зв'язків між керамікою та металом відбувається в результаті хімічної реакції по межі міграції склофази. На рис. 1.8 наведено процес отримання МКУ за багатоступінчастою технологією [14, 24, 28].

У процесі впаяння у вологому азотно-водневому середовищі при температурі $1300...1600^{\circ}\text{C}$ молібдено-марганцевої пасті (80 % Мо 20 % Mn)

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відбувається окислення марганцю до окису марганцю, що вступає у взаємодію з керамікою з утворенням алюмінату марганцю, $MnO \cdot Al_2O_3$, який при нагріванні знаходиться у розм'якшеному стані. При досягненні температури 1400 °С, коли починається помітне спікання частинок молібдену, розм'якшена шпинель з'єднує металізований шар з керамікою.

Велика роль в утворенні зв'язків між металом і керамікою відводиться склофазі, оскільки вона є легкоплавкою складовою кераміки. За відсутності склофазу у складі кераміки її спеціально вводять до складу металізованої кераміки.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

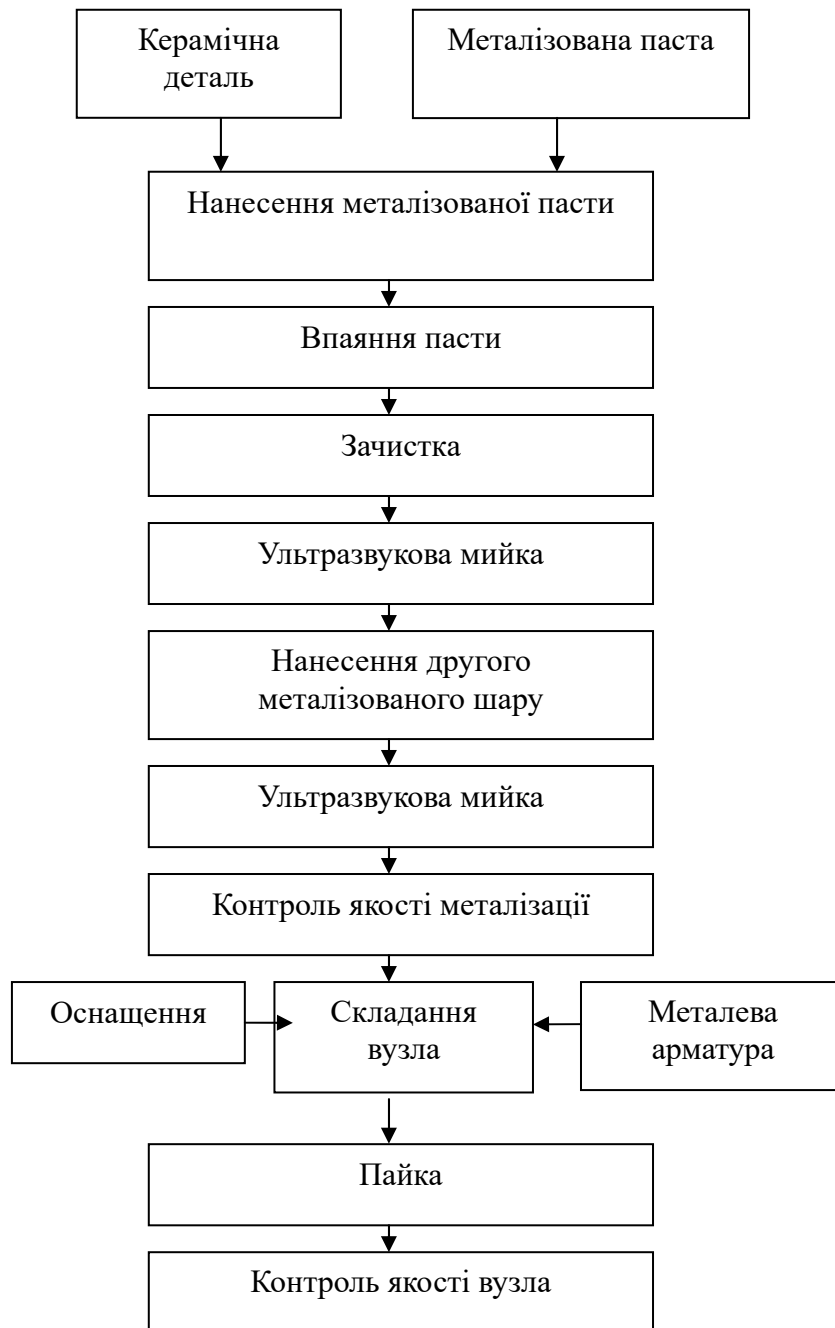


Рис. 1.8. Процес отримання металокерамічних вузлів за багатоступінчастою технологією

Активна пайка.

Другим найбільш розповсюдженим методом паяння є активна пайка чи пайка одноступінчастим методом.

Сутність методу полягає в тому, що для створення зв'язків між металами і неметалевими матеріалами без нанесення металевих шарів може бути використана здатність деяких металів відновлювати інші метали з оксидів (Al_2O_3 , SiO_2 , BeO , Cr_2O_3 та ін). До цих металів належать титан, цирконій, тантал, індій [14, 24]. Найкращими відновниками є титан та цирконій.

Можна виділити три найбільш характерні різновиди цього методу [14]:

1) паяння кераміки безпосередньо з титаном або цирконієм, при цьому активні компоненти переходять у припій в результаті розчинення металевих манжет, що з'єднуються з керамікою;

2) паяння кераміки з попереднім нанесенням на місце з'єднання порошку активного металу або його гідриду;

3) паяння кераміки із застосуванням активних припоїв, тобто, припоїв, що містять титан та цирконій.

Для утворення міцного спаю, на межі розділу припій-кераміка, потрібен певний вміст титану до 20...30 %, що забезпечується регулюванням товщини прошарку припою та режимами паяння. Підвищення вмісту титану вище 36% підвищує температуру плавлення припою та знижує його пластичні властивості, а також веде до утворення тріщин, спричинених появою інтерметалідів [29]. Зменшення вмісту титану менше 24% не забезпечує надійної взаємодії з компонентами кераміки і тим самим знижує міцність паяної сполуки. Результатами міцнісних випробувань та мікрорентгеноспектральним аналізом підтверджується позитивна роль титану в утворенні зв'язку між керамікою та металевим припоєм. На рис. 1.9 показано розподіл титану у зоні спаю кераміки з припоєм.

При взаємодії активних металів (або сплавів) з окислами кераміки останні частково відновлюються з утворенням у граничній зоні складних розчинів проникнення та заміщення. Так, при взаємодії Al_2O_3 з титаном окис алюмінію частково відновлюється (при $950^\circ C$) і віддає кристалічній решітці титану, кисень з утворенням твердого розчину проникнення. Алюміній, що звільнився при

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відновленні Al_2O_3 також розчиняється в титані, але з утворенням твердого розчину заміщення. При взаємодії SiO_2 з титаном утворюється твердий розчин кисню в титані та виникають інтерметалічні сполуки титану з кремнієм. При підвищенні вмісту кераміки SiO_2 спостерігається зменшення крайових кутів змочування кераміки [10]. Ці процеси є визначальними в утворенні міцного з'єднання при пайці металокерамічних виробів за активною технологією. Припій полегшує перенесення активного металу до кераміки та заповнює проміжки між керамікою та металом.

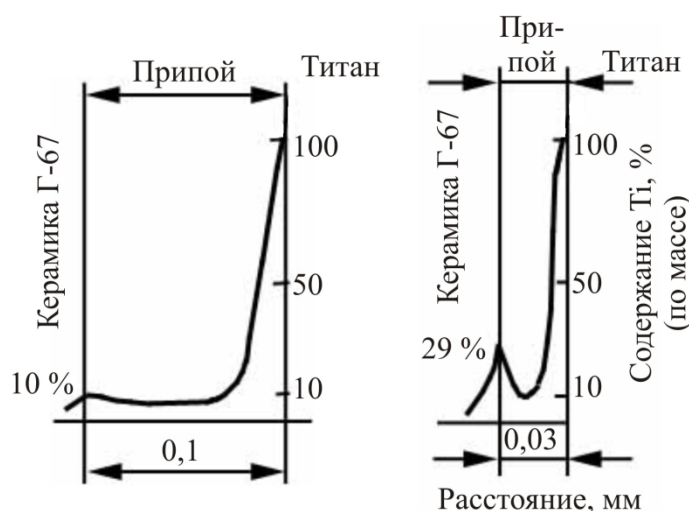


Рис. 1.9. Розподіл титану у поєднанні кераміки з титаном, припій ПСр72

Для паяння титану з алюмооксидними кераміками в якості припою використовують сплав ПСр.72, срібло, мідь, і нікель, а також мідно-титанові та нікель-титанові сплави. Паяння за допомогою гідриду титану відбувається за такою технологією: пасту з порошку гідриду титану наносять на кераміку. Після того, як паста підсохне, керамічну деталь збирають з металевої. У місце спаю поміщають припій. Пайка відбувається у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па. При нагріванні до $450 \dots 550^\circ\text{C}$ гідриди титану розкладаються, титан утворює з рідким припоєм активний сплав, який забезпечує отримання вакуумно-щільного спаю за раніше наведеним механізмом.

Паяння кераміки з деталями із титану необхідно виконувати з використанням керамічних матеріалів, погоджених ТКЛР з титаном. При

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

недотриманні цієї умови у зоні спаю з'являються тріщини. Для отримання високоякісного з'єднання необхідно більш щільне прилягання титанової деталі до кераміки та мінімальна кількість припою.

Паяння таких з'єднань здійснюють у печах при вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па або в аргонному середовищі. Нагрівання виконують зі швидкістю 15...20 °С/хв. Температура паяння перевищує температуру плавлення припою на 20 ... 40 °С. Охолодження після паяння відбувається зі швидкістю 10 °С / хв.

При паянні кераміки з коваром із використанням припою Ti(50 %) –Cu(50 %), за даними В.Д. Кожевнікова (рис. 1.10), утворюється ряд перехідних шарів у зонах спаїв. Замір мікротвердості паяних матеріалів і шарів, що утворилися при пайці, показує, що на межі кераміки і припою виникає шар з проміжними властивостями між зоною сплавлення і керамікою.

Мікроструктура з'єднання ковару (Н29К17) з керамікою, металізованою хромом (припій ПМ-17), представлена на рис. 1.11. Дані мікротвердості (кгс/мм²), наведені нижче, свідчать про наявність перехідного шару на межі кераміки та зони сплавлення:

Ковар (Н29К17)	230-250
Шар на межі ковар - зона сплавлення	307-325
Зона сплавлення	252-254
Перехідний шар	
Кераміка - зона сплавлення	929-1069
кераміка (мікроліт)	2250-2780



Рис.1.10. Мікроструктура з'єднання кераміки (мікроліт) з коваром припоєм системи Ti-Cu (50 і 50%). Температура паяння 1100 °С, витримка у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па протягом 5 хв, х 200

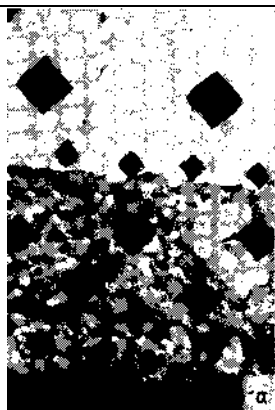


Рис. 1.11. Мікроструктура з'єднання кераміки, металізованої хромом, з коваром. Температура паяння 1010°С, витримка у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па протягом 5 хв, х300

При паянні кераміки з коваром із використанням припоїв Ti-Cu (50 і 50%) та ПМ-17 відбувається утворення перехідних шарів на межі кераміки з металізованим покриттям (рис. 1.12). Мікротвердість зон шва представлена у табл. 1.8.

Відомий спосіб паяння на основі системи Ti-Cu-Ni [9]. Недоліком зазначеного способу є необхідність суворого контролю вмісту нікелю у припої. Порушення заданої стехіометрії призводить до утворення надлишкових інтерметалідних сполук та розтріскування паяного шва.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



a



б

Рис.1.12. Мікроструктура з'єднання кераміки, металізованої Мо-Мп покриттям, з коваром (за В.Д. Кожевінковим):
а – припій системи Ті-Сu, температура паяння 980 °С; б - припій ПМ-17, температура паяння 1000 °С

Таблиця 1.8

Мікротвердість у зоні з'єднання при паянні кераміки з коваром

З'єднувальні матеріали	Мікротвердість, кгс/мм ²				
	Ковар	Дифузійної зони на межі ковару із зоною сплавлення	Зони сплавлення	Перехідної зони Мо-Мп, покриття–кераміка	Кераміки (мікроліта)
Кераміка–ковар, ПМ-17	222	394-405	250-280	957	2250-2780
Кераміка–ковар, Ті (50 %)-Сu (50 %)	222	307-325	252-254	957	2250-2780

1.4. Проблеми з'єднання металів з керамікою

Існуючі проблеми з'єднання поділяють на дві групи: металургійні та механічні. Металургійні проблеми з'єднання різнорідних матеріалів визначаються властивостями цих матеріалів: відмінність фізико-хімічних властивостей матеріалів, утворення крихких інтерметалідних фаз, відмінність капілярних

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

властивостей та параметрів взаємодії припоїв з металами та керамікою, зокрема, поганим змочуванням кераміки та розтіканням припою.

Для запобігання утворенню інтерметалідних фаз у роботі [19] дифузійне зварювання пропонується вести через проміжні прошарки або в певній температурно-часовій ділянці, в якій у процесі зварювання не відбувається утворення крихких інтерметалідних фаз.

В [17] для досягнення високої змочуваності та адгезії металевих розплавів до оксидів, нітридів, карбідів та боридів пропонується застосування адгезійно-активних припоїв. Сплави міді з титаном, хромом, кремнієм, іншими адгезійно-активними елементами часто використовуються як припої. Добре змочуються та успішно паяються адгезійно-активними припоями на основі системи $\text{Cu}(\text{Ag}, \text{Sn}, \text{In}, \text{Ga}, \text{Zn}, \text{Pb}) - \text{Ti}(\text{Cr}, \text{Zr}, \text{Si}, \text{Mn})$ такі матеріали як алмаз, графіт, кварц, кераміка тощо [17].

В якості припоїв для паяння керамічних матеріалів з тугоплавкими металами та сплавами найбільший інтерес представляють сплави на основі титану та цирконію. Для поліпшення змочування та міцності паяних з'єднань у титано-нікелеві припої вводять добавки ніобію, молібдену, хрому, ванадію, вольфраму, цирконію, алюмінію, заліза, магнію [20].

При паянні металографітових матеріалів з металами однією з проблем є непропаї, в місцях контактування припою між поверхнями, що з'єднуються. Припої, що застосовуються, наприклад, $95\text{Sn}+5\text{Ti}$, мають температуру плавлення $350...400\text{ }^{\circ}\text{C}$, а змочування графіту відбувається при температурі $900...1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ [26]. При паянні, внаслідок перегріву припою, можливе його витікання із зазору, а отже, незаповнення всього обсягу зазору, що може спричинити утворення неспаю. Для вирішення цієї проблеми в [8] пропонується зменшувати проміжок між поверхнями, що паяються попереднім натягом.

Проблеми власних напружень та деформацій зумовлені різницею фізико-механічних властивостей матеріалів. В результаті дії напруг, що виникають, при

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

паянні або в процесі експлуатації можлива втрата експлуатаційних характеристик вузла або руйнування відразу після паяння.

Виходячи з наведеного огляду, слід зазначити, що металокерамічні вироби досить широко використовуються в сучасній техніці. Одним з них є металокерамічні герметичні виводи електронно-променевих гармат зварювальних установок. Для з'єднання металів з керамікою застосовують дифузійне зварювання і пайку. Дифузійне зварювання вимагає трудомісткої підготовки керамічної поверхні і тривалої витримки під тиском при температурі зварювання.

Ширше використовується паяння, але при цьому існує проблема поганого змочування кераміки. Її рішення ґрунтується на теорії адгезійно-активних припоїв, але дослідження у кожному конкретному випадку мають виконуватися експериментально.

Друга проблема, обумовлена великою відмінністю фізико-механічних властивостей матеріалів, що з'єднуються і формуванням власних напруг при охолодженні, не залежить від способу з'єднання. Для її вирішення рекомендовані різні способи управління напружено-деформованим станом вузла при охолодженні, що є найважливішою операцією технології паяння металів з неметалами.

Найбільш складною та трудомісткою є технологія паяння металізованої кераміки, що включає попереднє нанесення на поверхню кераміки двох металевих шарів.

Значно простіше одноступінчасте активне паяння. Для металокерамічних гермовводів рекомендовано використовувати в якості струмопідведення ковар 29НК для виготовлення «узгодженого» спаю, але при температурі вище 450 °С ТКЛР ковару різко зростає. Тому при необхідності виконання паяння високотемпературними припоями уникнути формування власної напруги неможливо.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки та завдання дипломного проекту:

1. Основною проблемою при виготовленні високовольтних гермовводів, що складаються з металу і кераміки, що чергуються між собою, є виникнення власних залишкових напруг і деформацій у зв'язку з різницею фізико-механічних властивостей матеріалів, що може призвести до руйнування вузла в місці стику.

2. Для зменшення власних напруг і деформацій при конструюванні металокерамічних вузлів застосовують матеріали з близькими ТКЛР, зокрема ковар або попередньо металізують поверхню кераміки.

3. Аналіз літератури показав, що найбільш підходящим способом з'єднання металокерамічних вузлів є активне паяння, оскільки паяння металізованої кераміки процес трудомісткий, що включає операцію спалювання пасти при температурі близько 1600 °С, проте при цьому виникає проблема поганого змочування неметалів.

4. Застосування повільного або ступінчастого охолодження при паянні дозволяє використовувати процеси релаксації для зниження залишкової напруги.

Відповідно до мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

– дослідити характеристики змочування ковару та кераміки, формування з'єднання в процесі контактнo-реактивного плавлення фольги титану та міді, склад, структуру та властивості паяної сполуки;

– оптимізувати конструкцію металокерамічного гермовводу електронно-променевої гармати та технологію паяння, розробити типову технологію активного високотемпературного паяння, виробити пайку штатних виробів.

					КР.131.6121м.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ										
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата											
Студент		Ісаєнко С.М.			МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ					Лит		Лист		Листів	
Керівник		Лабарткава О.В.											1		
Консулт										НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед		Драган С.В.													

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Досліджувані матеріали

В наш час для виготовлення металокерамічних виробів широко застосовується корундова, алундова кераміка та муліт ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$). Виходячи з експлуатаційних вимог, що пред'являються до гермоводів, керамічні кільця виготовляють з корундової кераміки, оскільки вона має високий електричний опір, стійкість до впливу активних відновників, високу густину. Корундова кераміка Al_2O_3 має температуру плавлення $2000\ldots 2045^\circ\text{C}$, робочу температуру 1700°C , густину 3950 кг/м^3 , міцність при розтягуванні $176\ldots 190\text{ МПа}$, стисненні - $1900\ldots 2000\text{ МПа}$, згин - $280\ldots 450\text{ МПа}$. Муліт класичного складу 3:2 має формулу $3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$ і містить $71,8\%\text{ Al}_2\text{O}_3$ та $28,2\%\text{ SiO}_2$.

Алундова кераміка А-995 містить $99,5\%\text{ Al}_2\text{O}_3$. Корундова кераміка містить щонайменше $94\%\text{ Al}_2\text{O}_3$. Наприклад, кераміка ВК94-1 містить (мас,%): $94,4\text{ Al}_2\text{O}_3$, $0,19\text{ Cr}_2\text{O}_3$, $2,76\text{ SiO}_2$, $2,35\text{ MnO}$; кераміка ВК94-2 - $94,2\text{ Al}_2\text{O}_3$, $3,7\text{ SiO}_2$, $2,1\text{ CaO}$. Зазначені марки кераміки мають близькі ТКЛР та механічні властивості (табл. 2.1) [16].

Струмопідведення виготовляються із матеріалів з ТКЛР близькими до ТКЛР кераміки. Важливим елементом конструкції гермоввода є струмопідведення. Товщина струмопідведення з одного боку впливає на жорсткість та деформації вузла під час експлуатації, а з іншого - на рівень залишкової напруги після паяння. Найбільш підходящими матеріалами є прецизійні залізо-нікель-кобальтові сплави типу ковару (29НК, 33НК, 38НК), що є основним конструкційним матеріалом для виготовлення металокерамічних вузлів, що працюють при температурі до $400\ldots 450^\circ\text{C}$ [7, 22]. Фізико-механічні властивості сплаву 29НК наведено на рис. 2.1, а хімічний склад у табл. 2.2.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1.

Фізико-механічні властивості кераміки [16]

Характеристика	ВК94-1	ВК94-2	А-995
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-6}$, град-1, в інтервалі, °С			
20-200	6,2	6,1	6,2
20-400	7,1	6,7	6,8
20-600	7,5	7,2	7,5
20-800	7,8	7,8	7,8
20-1000	8,0	—	8,1
Модуль пружності, $E \cdot 10^{-5}$, МПа при температурі, °С			
20	2,55	2,04	3,8
1000	1,8	—	3,5
Міцність на вигин, МПа при температурі, °С			
20	400	335	340
1000	90,0	—	370
Міцність на розрив, МПа	130	85	100

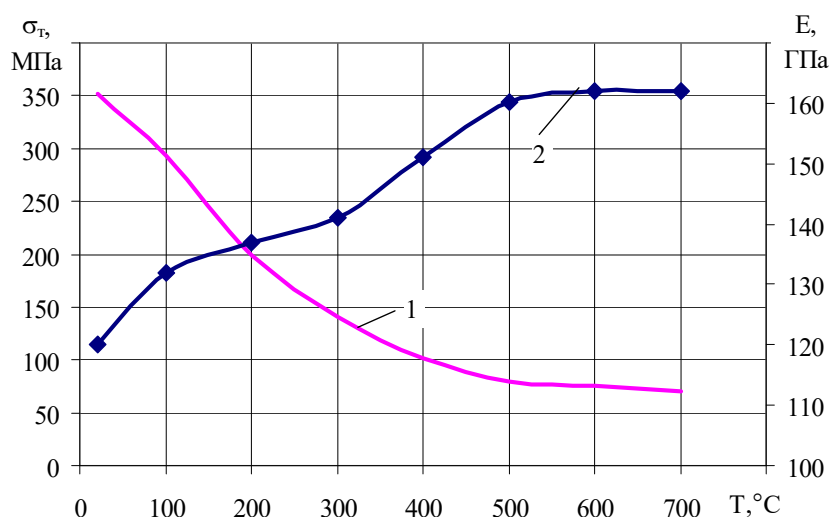


Рис. 2.1. Температурна залежність межі текучості (1) та модуля пружності (2) сплаву 29НК [22]

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2.

Хімічний склад у % сплаву 29НК (ДСТУ 10994 - 74)

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Co	Ti	Al	Cu
51,14...54,5	до 0,03	до 0,3	до 0,4	28,5...29,5	до 0,015	до 0,015	до 0,1	17...18	до 0,1	до 0,2	до 0,2

В якості припоїв для виробництва металокерамічних вузлів останнім часом широко застосовуються активні припої та пасти (табл. 2.3). Для активно-контактно реактивного паяння застосовується фольга міді марки М1 та титану марки ВТ1-00 (табл. 2.4, 2.5).

Таблиця 2.3.

Припої та пасти для активного паяння кераміки

Марка	Склад в % маси				Область плавлення, °С	Температура пайки, °С
	Ag	Cu	In	Ti		
BrazeTec CB1	72,5	19,5	5	3,0	730...760	850...950
BrazeTec CB2	96	-	-	4,0	970	1000...1050
BrazeTec CB4	70,5	26,5	-	3,0	780...805	850...950
BrazeTec CB5	64	34,2	-	1,8	780...810	850...950
BrazeTec CB10 (паста)	64,8	25,2	-	10	780...805	850...950
BrazeTec CB11 (паста)	90	-	-	10	970	1000...1050
CTEMET 1203	-	50	-	50	950	1000...1050
CTEMET 1204	-	72	-	28	875	1000...1100

Таблиця 2.4.

Хімічний склад фольги міді марки М1 % мас. (ДСТУ 859-2001)

[illegible]

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

0,005	0,002	0,004	0,002	0,005	0,004	0,05	0,002	0,001	0,002		
-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	--	--

Таблиця 2.5.

Хімічний склад фольги титану марки ВТ1-00 % мас. (ДСТУ 19807-91)

Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Домішки
до 0,15	до 0,05	до 0,08	до 0,04	99,58...99,9	до 0,2	до 0,008	інших 0,1

2.2. Обладнання та апаратура

Паяння гермоводів з тиском виконували у вакуумній печі СНО-1.3,1/20ІІ. В установці СНО-1.3,1/20ІІ встановлені системи автоматичного підтримання заданої температури типу ТРМ-251 з можливістю контролю та запису процесу за допомогою персонального комп'ютера. В Установці СНО-1.3,1/20ІІ застосовується радіаційний метод нагрівання.

Вакуумна піч СНО-1.3,1/20ІІ має робочий вакуум близько 10^{-2} Па. Зовнішній вигляд вакуумної печі СНО-1.3,1/20ІІ показано на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд вакуумної печі СНВ-1.3,1/20ІІ

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При паянні експериментальних зразків температуру вимірювали за допомогою хромель-алюмелевих термопар з точністю ± 2 °С. Ця температура підтримувалася електронним регулятором з точністю ± 2 °С. Температура на кераміці вимірювалася за допомогою приладу серії Optris СТ, що представляє собою інфрачервоний датчик безконтактного вимірювання температури в діапазоні від 250 °С до 1800 °С з похибкою (при температурі навколишнього середовища 23 °С) $\pm 0,3\%$ ІВ +2 °С.

2.3. Структурний, рентгеноструктурний та рентгеноспектральний аналізи

Структурні дослідження проводили за допомогою оптичної металографії, растрової електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу.

Оптичну мікроскопію виконували на оптичному мікроскопі Неофот-21. Для травлення використовували 4% розчин азотної кислоти в етиловому спирті.

Растрову електронну мікроскопію та локальний рентгеноспектральний мікроаналіз проводили на установці РЕММА 102-02 з енергодисперсійними та хвильовими спектрометрами.

Перед растровою мікроскопією зразки напилялися шаром вуглецю товщиною 0,01 мм за допомогою установки ВУП-5М.

Рентгеноструктурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-УМ1 у монохроматичному $\text{Cu K}\alpha$ – випромінюванні методом крокового сканування.

В якості монохроматору використовували монокристал графіту. Обробку даних дифрактометричного експерименту проводили з використанням програми для повнопрофільного аналізу рентгенівських спектрів суміші полікристалічних фазових складових Powder Cell.

Фази паяного шва та його твердість визначали за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3, та на багатофункціональному приладі «Мікрон-гамма». Похибка вимірювань за довірчої ймовірності 0,95 з урахуванням коефіцієнта Стюдента не перевищувала $\pm 10\%$.

Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.05.02.ПЗ

Лист

Висновки:

1. Проведено аналіз матеріалів які досліджуються.
2. Для дослідження розтікання припоїв, паяння металокерамічних вузлів вибрана вакуумна піч с радіаційним нагрівом СНВ-1.3,1/2011.
3. Вибрано обладнання для дослідження структурного, рентгеноструктурного та рентгеноспектрального аналізів.

					КР.131.6121м.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата										
Студент	Ісаєнко С.М.				ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ТИТАНОЗМІСНИХ ПРИПОЇВ З ОКСИДНОЮ КЕРАМІКОЮ І КОВАРОМ				Лит		Лист		Листів	
Керівник	Лабарткава О.В.										1			
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед	Драган С.В.													

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ТИТАНОЗМІСНИХ ПРИПОЇВ З ОКСИДНОЮ КЕРАМІКОЮ І КОВАРОМ

3.1. Вивчення крайових кутів змочування

Для досліджень крайових кутів змочування використовувався аморфний припій СТЕМЕТ-1203 з температурою паяння 1000...1050 °С та припій, який формувався у процесі контактено-реактивного плавлення фольги титану та міді марки ВТ1-0 та М1 відповідно.

Відомо, що для утворення міцного спаю, на межі розділу припій-кераміка, необхідно забезпечити вміст титану в межах 20...30 % мас., що регулюється кількістю та складом прошарку припою та режимами паяння [29]. Вміст титану в прошарку припою понад 36% мас. призводить до підвищення температури його плавлення та зниження пластичності. У цьому випадку, в паяному шві, гарантовано утворюються крихкі інтерметалідні з'єднання, що призводить до його розтріскування. При вмісті титану менше 24% мас. припій не завжди забезпечує надійну взаємодію з компонентами кераміки, внаслідок чого знижується міцність паяної сполуки [21]. У зв'язку з цим аналіз діаграми стану системи Ti-Cu (рис. 3.1) показує, що оптимальним вмістом є співвідношення 50 % Ti-50 % Cu за обсягом або 28 % Ti-72 % Cu за мас. (Далі за текстом Ti-Cu). У дослідженні витримувалося це співвідношення.

В якості підкладок для дослідження процесів змочування використовували поліровані ($R_z \approx 0,01$ мкм) пластинки прецизійного сплаву 29НК товщиною 0,55 мм, кераміку марки ВК 94-1 і муліт ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$). Маса припоїв СТЕМЕТ-1203 та Ti-Cu становила 50 мг. Припої виставлялися на підкладку у вигляді фольги, скрученої в кульку. Припій Ti-Cu формувався у процесі контактено-реактивного плавлення фольги титану та міді безпосередньо при нагріванні зразків. Перед експериментом підкладки з ковару, припій СТЕМЕТ-1203, фольга титану та міді піддавалися очищенню в ультразвуковій ванні серед ацетону, потім ретельно протиралися спиртом. Кераміка ВК 94-1 і муліт ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$) відпалювалися у вакуумі порядку 10^{-2} Па при $T = 950^\circ\text{C}$ протягом 30 хв.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

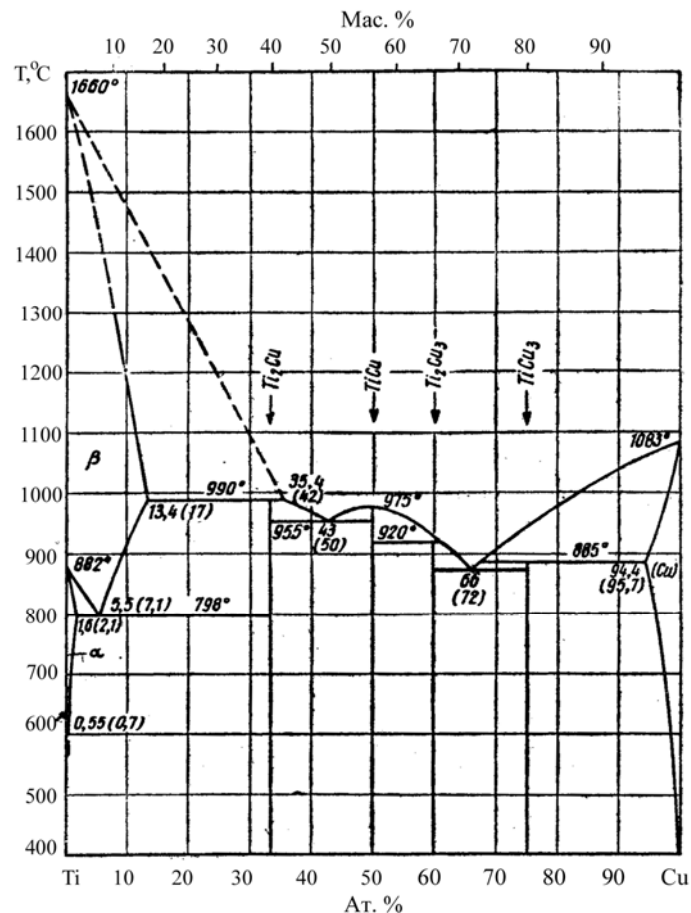


Рис. 3.1. Діаграма стану системи Ti-Cu

Характеристики змочування досліджували методом нерухокої краплі. Зразки нагрівали у вакуумній печі СНО-1-3-1/16Н1 до температур 960, 990 і 1020 °С, витримка 3 хв, швидкість нагрівання 20 °С на хвилину, вакуум $4 \cdot 10^{-2}$ Па. Після порізки і травлення в 4% розчині азотної кислоти в етиловому спирті зразки досліджувалися на оптичному мікроскопі Неофот-21.

Крайові кути змочування припоями досліджуваних матеріалів при температурах 960, 990 та 1020 °С наведено на рис. 3.2. Аналіз отриманих результатів показав, що в цілому припій Ti-Cu, порівняно з припоєм СТЕМЕТ-1203, демонструє більш високу адгезійну активність. Так, наприклад, крайові кути змочування муліт припоєм СТЕМЕТ-1203 становлять 43 ... 47 град. та 33...37 град. при температурах 960 і 1020С відповідно. Припій Ti-Cu забезпечує в аналогічних умовах крайовий кут змочування 32...35 град. та 22...26 град. відповідно, що у 10...15 град. менше, ніж у СТЕМЕТ-1203.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд розтікання припоїв за досліджуваними матеріалами при температурі 960 °С показано на рис. 3.3.

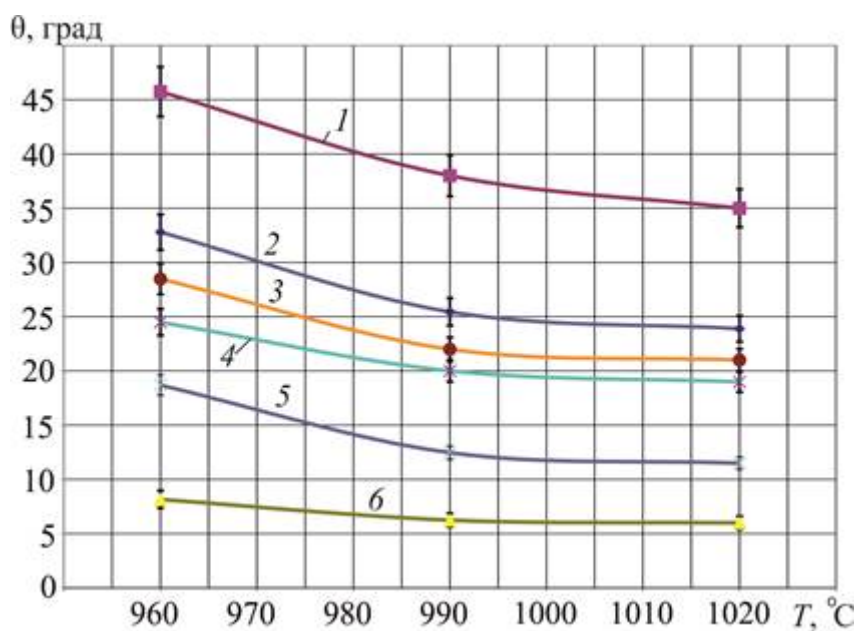


Рис. 3.2. Крайові кути змочування припоїв досліджуваних матеріалів:

1 – СТЕМЕТ-1203 з моліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$); 2 – Ti-Cu з моліту $3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$;
3 – СТЕМЕТ-1203 з кераміки ВК 94-1; 4 – Ti-Cu з кераміки ВК 94-1; 5 – СТЕМЕТ-1203 з ковару 29НК; 6 – Ti-Cu з ковару 29НК

Кераміка ВК 94-1 змочується припоями краще ніж моліт. Вимірювання крайових кутів змочування показали, що припій СТЕМЕТ-1203 при взаємодії з керамікою ВК 94-1 забезпечує крайові кути змочування 27...30 град. та 20...23 град. при температурах 960 та 1020 °С відповідно. Припій Ti-Cu забезпечує в аналогічних умовах крайовий кут змочування 23...26 град. та 18...20 град. відповідно.

Значна перевага процесу контактно-реактивного плавлення спостерігається також при змочуванні ковару 29НК. Так, припій СТЕМЕТ-1203 змочує ковар із крайовими кутами 18...20 град. та 10...12 град. при температурах 960 °С та 1020 °С відповідно. Припій Ti-Cu забезпечує значно кращі показники: 7...9 град. та 5...7 град. відповідно.



a

б



в

г



д

е

Рис. 3.3. Зовнішній вигляд розтікання СТЕМЕТ-1203 (а, в, д) та Ti-Cu (б, г, е) по прецизійному сплаву 29НК (а, б), кераміці ВК 94-1 (в, г), мулліт (д, е)) при температурі 960 °С

Таким чином, комплексний аналіз отриманих результатів показав, що використання припою Ti-Cu забезпечує підвищення адгезійної активності порівняно з припоєм СТЕМЕТ-1203 і дозволяє знизити температуру паяння в середньому на 40...90 °С. Крім того, для виготовлення металокерамічних гермовводів оптимальним є поєднання ковар 29НК - кераміка ВК 94-1, оскільки їх ТКЛР практично рівні. Зазначене комплексне рішення гарантовано забезпечує

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження залишкових напруг у паяному вузлі та покращує його напружено-деформований стан.

3.2. Металографічне дослідження паяного металокерамічного вузла гермовводу

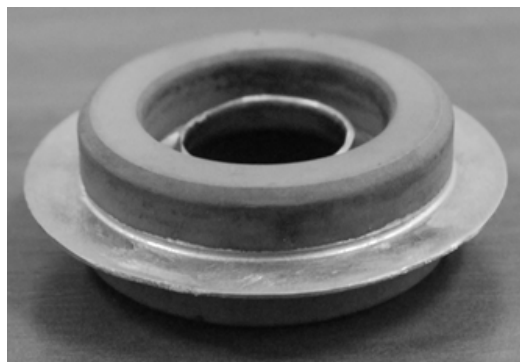
З урахуванням отриманих закономірностей була розроблена технологія паяння з тиском ковару 29НК і кераміки ВК 94-1 припоєм Ti-Cu, що формується в процесі контактнореактивного плавлення фольги титану і міді безпосередньо при нагріванні. Режими паяння з тиском у вакуумі оптимізувалися у роботі [23]. Крім того, для забезпечення релаксації та зменшення залишкових напруг у паяному вузлі в процесі нагрівання та охолодження, нами було обґрунтовано термічний цикл регламентованого за швидкістю нагріву та ступінчастого охолодження з витримкою на кожному ступені, що істотно підвищує якість паяння, зокрема, вакуумну щільність та електроопір паяного вузла. Таким чином, паяння здійснювали з урахуванням рекомендацій робіт [23].

Пайка вузла гермоввода проводилася у вакуумній печі СНО-1-3-1/16Н1 на наступних режимах: вакуум не нижче 10^{-2} Па, тиск стиснення 5 МПа, температура паяння 960 °С, охолодження ступінчасте (при зниженні температури на 100 °С відбувається витримка 10...20 хв до 600 °С, при температурі 550 °С витримка 20...40 хв, після охолодження з пічкою до кімнатної температури. Зовнішній вигляд паяного вузла та його розріз показано на рис. 3.4. Контактнореактивне паяння виконувалося з використанням фольги титану та міді завтовшки 0,1 мм кожна.

Характерна мікроструктура паяної сполуки ковар 29НК – кераміка ВК 94-1 показана на рис. 3.5. Оптичне дослідження паяного шва і мікротвердості показало утворення характерних трьох зон: однорідний шар, що прикристалізувався до ковару, протяжністю 19...45 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 1,9...2,2$ ГПа (зона I); середня зона – неоднорідний за товщиною та фазовим складом паяний шов протяжністю 7...58 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 2,1...2,8$ ГПа (зона II); та зона активної взаємодії припою з керамікою, що має нерівномірну протяжність 15...53

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

мкм, з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 3,2 \dots 3,6$ ГПа (зона ІІІ). Дифузійне проникнення припою до кераміки спостерігається до 30 мкм.



a



б

Рис. 3.4. Загальний вид паяного металокерамічного вузла (*a*) та його розріз (*б*)

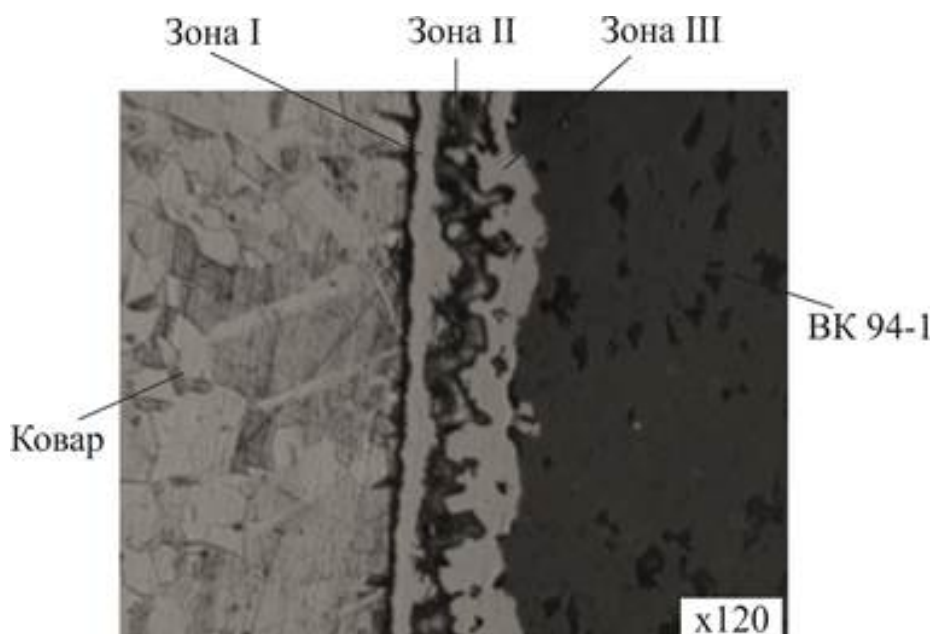


Рис. 3.5. Мікроструктура паяного з'єднання ковар 29НК - кераміка ВК 94-1 припоєм Ti-Cu; x120

На Рис. 3.6 показано мікроструктуру паяного шва з точками локального рентгеноспектрального мікроаналізу пофазно, у середній зоні (зона ІІ).

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічний склад металу шва у точці 1 евтектики становить 74,5...73,0 % Cu і 25,6...27 % Ti. У точці 2 концентрація титану становить 20...21 %, інше – мідь.

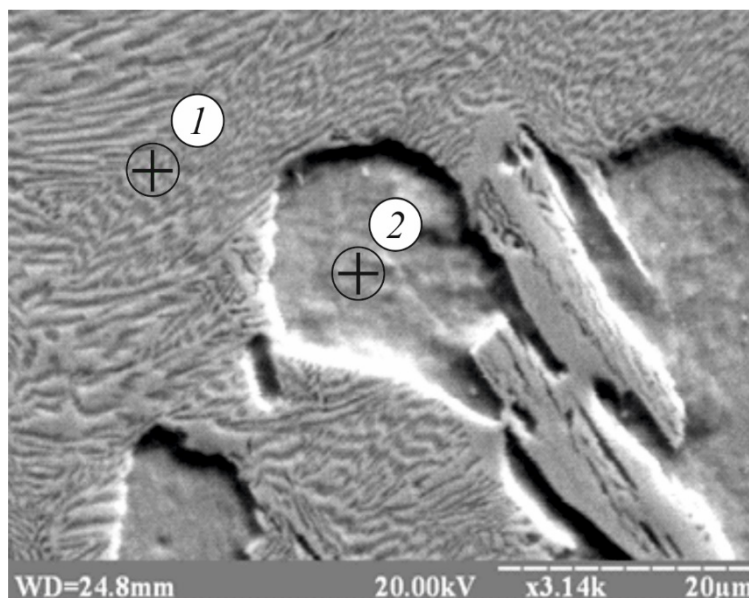


Рис. 3.6. Мікроструктура металу паяного шва в зоні II

Вивчення характеру розподілу хімічних елементів у паяному з'єднанні ковар 29НК – кераміка ВК 94-1 показало (див. рис. 3.7), що у зоні контакту припою з керамікою, спостерігається підвищення хімічної активності титану, що виражається у збільшенні його концентрації. Середня зона містить підвищену концентрацію міді, що пояснюється її інертністю по відношенню до ковару та кераміки, та забезпечує необхідну концентрацію титану з точки зору забезпечення міцності та пластичності паяної сполуки. Прикристалізований до ковару однорідний рівномірний шар білого кольору, який збагачений залізом, нікелем і кобальтом, що збільшує його пластичність по відношенню до середньої зони, про що свідчить зниження мікротвердості приблизно на 20 %. У свою чергу, ковар має ще нижчу мікротвердість $H_{\mu 50} = 1,6...2,1$ ГПа, яка на границі з припоєм демонструє тенденцію до зменшення і становить $H_{\mu 50} = 1,1...1,8$ ГПа. Розподіл мікротвердості в паяному з'єднанні ковар 29НК-кераміка ВК 94-1 припоєм Ti-Cu показано на рис. 3.8. Таким чином, тришарова зона паяного з'єднання являє

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

собою своєрідний прошарок змінної жорсткості, жорсткість якої плавно збільшується від ковару до кераміки. Зазначений факт, ймовірно, сприяє релаксації та зменшенню залишкових напруг у паяному вузлі, що запобігає його розтріскуванню та сприятливо позначається на якості паяння.

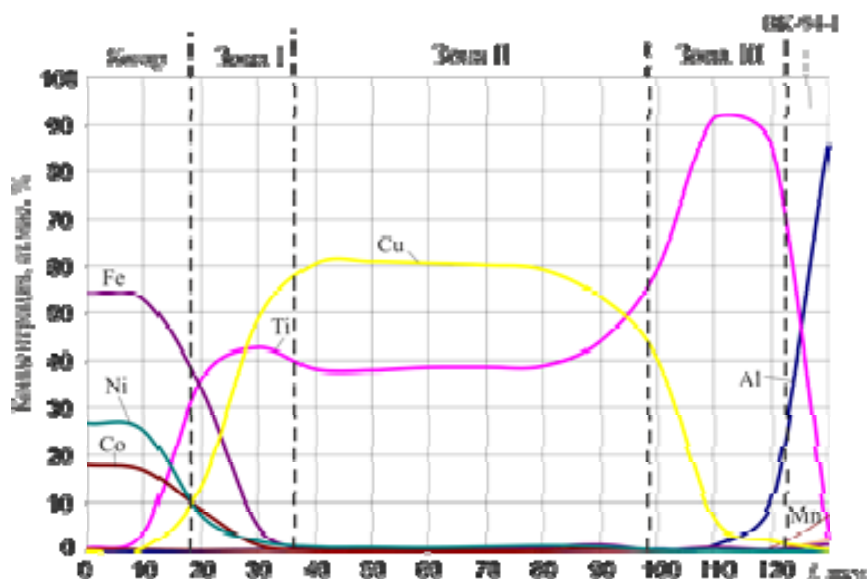


Рис. 3.7. Розподіл елементів у паяному з'єднанні ковар 29НК-кераміка ВК 94-1 припоєм Ti-Cu

Паяна сполука, показана на рис. 3.5 досліджувалася також методом рентгеноструктурного аналізу. Враховуючи її малі розміри і протяжність, дифрактограма була отримана з місця, де з'єднання було максимально широким і включало всі три характерні зони (див. рис. 3.9). Аналіз дифрактограми показав, що крім ліній кераміки $Al_2O_3(R)$ та ковару FeNi (ГЦК), з'єднання також містить три фазові складові з кубічною решіткою, такі як Cu_2Ti_4O , Ti_3Cu_3O та Al_4Cu_9 . Крім того, ймовірно, також можуть бути з'єднання типу $Al_2O_3 (R)$ FeNi (ГЦК) зі зміненими параметрами.

Таким чином, рентгеноструктурний аналіз зон паяної сполуки підтвердив високу хімічну активність припою Ti-Cu у процесі паяння. Титан, що входить у припій, у чистому вигляді взаємодіє з керамікою та коваром з утворенням

комплексних оксидів, що сприяє підвищенню адгезійної активності процесу паяння. Крихких інтерметалідних сполук, за винятком незначної кількості Al_4Cu_9 , яка, ймовірно, локалізується у прикордонній до кераміки області, не виявлено.

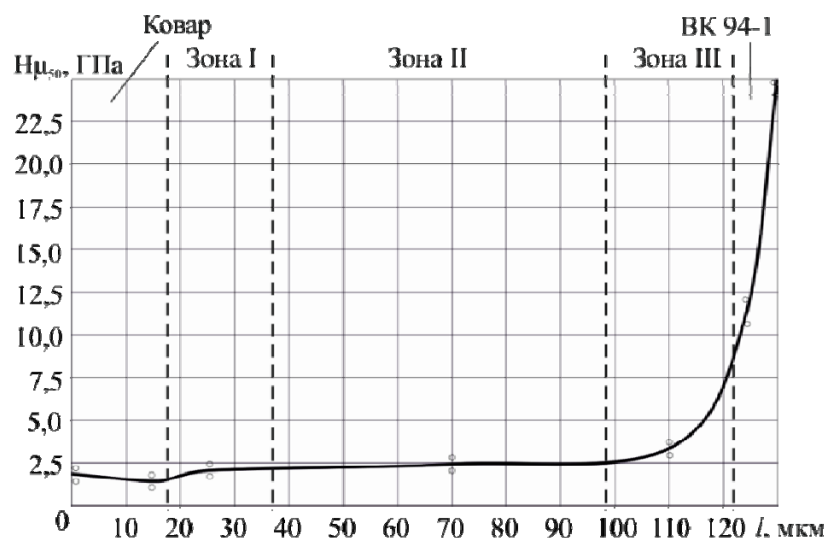


Рис. 3.8. Розподіл мікротвердості у паяному з'єднанні ковар 29НК-кераміка ВК 94-1 припоєм Ti-Cu

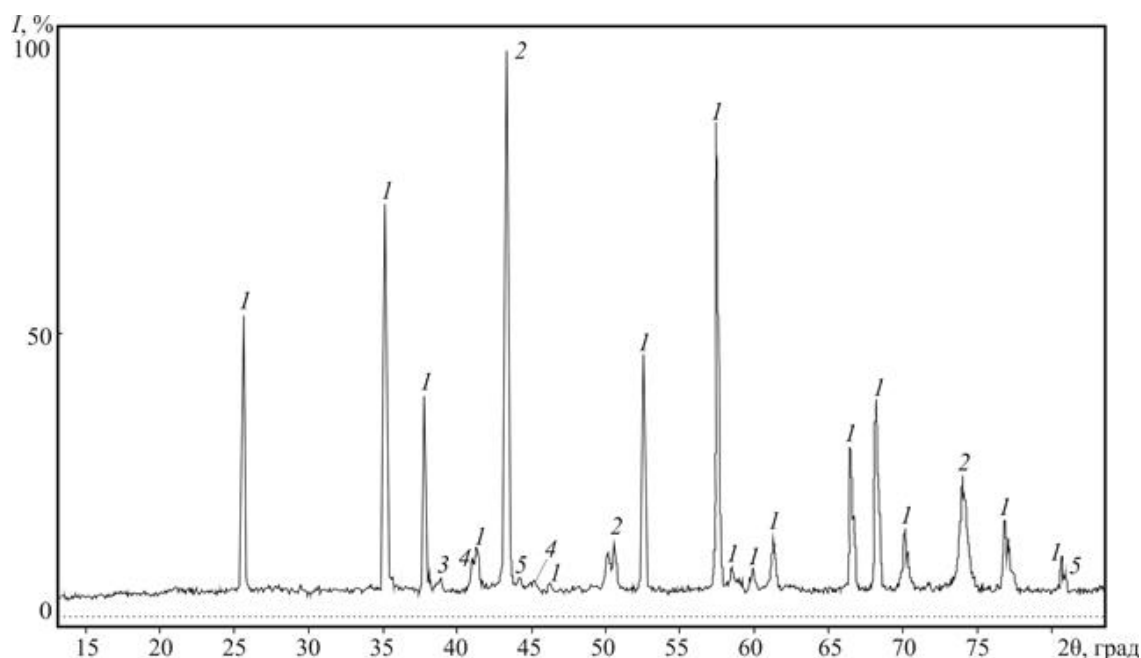


Рис. 3.9. Дифрактограма паяного з'єднання ковар 29НК-кераміка ВК 94-1 припоєм Ti-Cu:

1 - Al_2O_3 (R); 2 - Fe, Ni (ГЦК); 3 – $\text{Ti}_3\text{Cu}_3\text{O}$; 4 – $\text{Cu}_2\text{Ti}_4\text{O}$; 5 – Al_4Cu_9

Загалом паяний шов має високу щільність. Макро- та мікродефекти, такі як пори, раковини, непропаї, тріщини та ін. не виявляються. По периметру гермоввода формуються щільні шви з рівномірною ГАЛТЕЛІЮ (рис. 3.4, а). Поєднання паяного шва з керамікою та коваром плавне. З боку кераміки спостерігається незначна зона просочення кераміки припоєм.

3.3. Дослідження механічних властивостей паяного металокерамічного вузла гермовводу

Стандартна міцність паяних з'єднань вивчалася на зріз шляхом стискування. Для цього паяний вузол (див. рис. 3.4,а) розрізали на чотири рівні сегменти. Сегмент встановлюється в нижню основу, радіус заокруглення якого дорівнює внутрішньому радіусу керамічного кільця. Внутрішня частина струмопідведення вставлялася в проріз, шириною 0,6 мм, зроблений на нижній підставі, за рахунок цього кераміка контактувала всією площею по нижній основі. Для збільшення площі контакту струмопідведення зі штоком зовнішня частина струмопідведення шліфувалася паралельно поверхні тиску. У штоку було пророблено проріз, шириною 0,55 мм і глибиною 2 мм, для запобігання прослизання штока з струмопідводу. Загальний вигляд закріпленого зразка в оснастці для випробування паяної металокерамічної сполуки на зріз шляхом вдавлювання показано на рис. 3.10.

Аналіз результатів випробування показав, що міцність на зріз паяної металокерамічної сполуки, отриманої шляхом активної контактної-реактивної пайки з тиском і ступінчастим охолодженням, методом здавлення, становить

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9,6±0,7 МПа. Діаграма навантаження при випробуванні на зріз наведено на рис. 3.11.

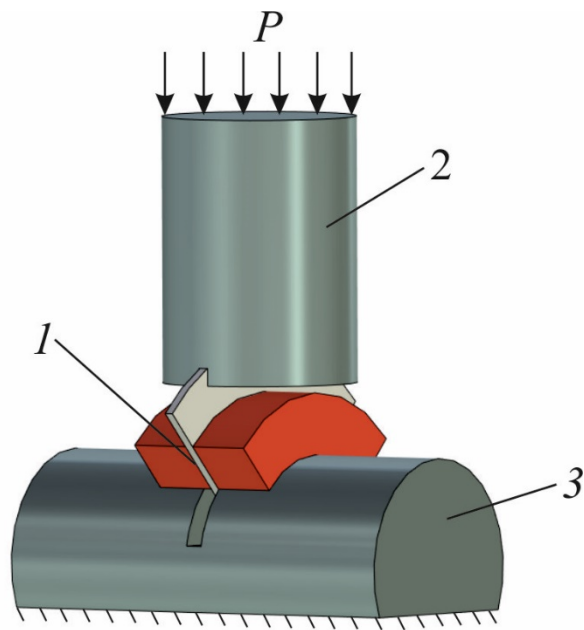


Рис. 3.10. Загальний вид закріплення зразка в оснастці для випробування паяного з'єднання на зріз шляхом стиснення:

1 – спаяний зразок; 2 – шток; 3 – нижня основа

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

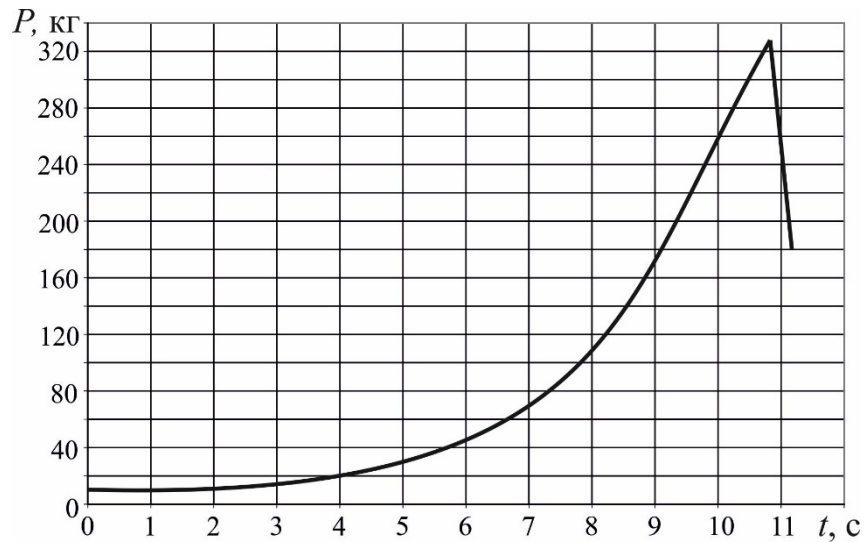


Рис. 3.11. Діаграма навантаження при випробуванні паяної металокерамічної сполуки на зріз методом здавлювання.

Характер механічного руйнування паяного вузла показує, що руйнація відбувається у зоні ІІІ, активної взаємодії припою з керамікою. На рис. 3.12 видно залишки зруйнованої кераміки по зовнішній галтелі та за шириною припою в місцях підвищеної пористості кераміки.



Рис. 3.12. Характер руйнування паяного вузла

Аналіз результатів випробування на зріз паяного металокерамічного вузла та характер механічного руйнування показує, що припій змочує всю поверхню

кераміки, міцність паяного шва відповідає вимогам. Дослідження герметичності вузла гермоввода за допомогою гелієвого течешукача ПТІ-10 показало, що натікання гелію становить не більше $1 \cdot 10^{-13}$ м³ Па/с. Спаяний вузол гермоввода задовольняє експлуатаційним вимогам до гермовводів для електронно-променевих гармат.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки:

1. Визначено, що для паяння метало-керамічних вузлів необхідно застосовувати пайку активними припоями типу СТЕМЕТ-1203 або припоєм, що утворюється в процесі контактнo-реактивного плавлення системи Ti-Cu з оптимальним співвідношенням 50 % Ti-50 % Cu за обсягом.

2. Дослідження крайових кутів змочування розплаву, що утворюється в процесі активного контактнo-реактивного плавлення фольги Ti-Cu по ковару та кераміці, показало, що припій Ti-Cu має підвищену адгезійну активність, порівняно з аморфним припоєм СТЕМЕТ-1203, що дозволяє знизити паяння в середньому на 40...90 °С.

3. Встановлено, що при активній контактнo-реактивній пайці з тиском 5 МПа, кераміки з коваром, припоєм Ti-Cu у паяному шві утворюється три зони: однорідний шар, що прикристалізувався до ковару, протяжністю 19...45 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 52} = 1$ зона I); середня зона – неоднорідний за товщиною та фазовим складом паяний шов протяжністю 7...58 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 2058...2803$ МПа (зона II); та зона активної взаємодії припою з керамікою, що має нерівномірну довжину 15...53 мкм, з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 3146...3548$ МПа (зона III). Дифузійне проникнення припою до кераміки спостерігається до 30 мкм.

4. У процесі паяння прецизійного сплаву 29НК з керамікою ВК 94-1 припоєм Ti-Cu формується з'єднання, яке містить три фазові складові з кубічною решіткою, такі як Ti_3Cu_3O , Cu_2Ti_4O та Al_4Cu_9 . Крихких інтерметалідних сполук, за винятком незначної кількості Al_4Cu_9 , що локалізується у приграничній до кераміки області, не було виявлено.

5. Результати випробування на зріз та перевірка герметичності паяного металокерамічного вузла гермовводу припоєм Ti-Cu показали, що міцність паяної сполуки становить $9,6 \pm 0,7$ МПа, натікання гелію не більше $1 \cdot 10^{-13}$ м³·Па/с.

					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Спаяний вузол гермоввода задовольняють експлуатаційним вимогам, що пред'являються до гермовводів для електронно-променевих гармат.

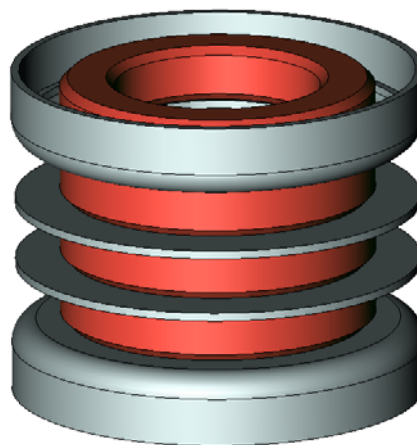
					КР.131.6121м.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.6121м.05.04.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата										
Студент		Ісаєнко С.М.			РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ АКТИВНОЇ КОНТАКТНО-РЕАКТИВНОЇ ПАЙКИ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ГЕРМОВОДІВ				Лит		Лист		Листів	
Керівник		Лабарткава О.В.									1			
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед		Драган С.В.												

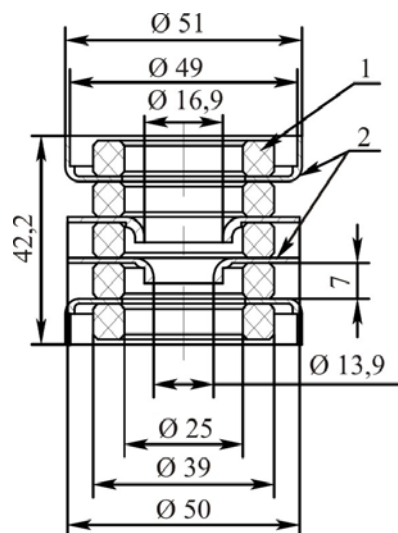
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ АКТИВНОЇ КОНТАКТНО-РЕАКТИВНОЇ ПАЙКИ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ГЕРМОВОДІВ

4.1. Основні технічні вимоги до металокерамічних високовольтних гермовводів для електронно-променевих гармат установок для зварювання та напилення

Гермовводи для електронно-променевих гармат, в установках для зварювання та напилення, складаються з 5-ти керамічних кілець із зовнішнім діаметром 39 мм, внутрішнім 25 мм, товщиною 7 мм та 4-х струмопідводів з ковару (рис. 4.1).



a



б

Рис. 4.1. Загальний вигляд гермоввода (*a*) та його переріз (*б*): 1 – керамічні кільця; 2-токопідведення з ковару (29НК)

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

До основних експлуатаційних вимог, що пред'являються до гермовводів для електронно-променевих гармат відносяться:

- усі спаї керамічних кілець із струмопідведеннями повинні бути вакуумнощільними;
- усі площини деталей мають бути плоскопаралельними;
- не повинно бути відхилень від центрів;
- повинні забезпечуватися необхідні електроізоляційні властивості між струмопідводами;
- гермовводи повинні витримувати перепад температури між внутрішніми та зовнішніми стінками у 200 °С;
- зберігати працездатність при температурі 600 °С

4.2. Розробка оснастки для паяння металокерамічних гермовводів під тиском

Відомо, що для паяння з тиском циліндричних пустотілих деталей використовуються пристрої з гвинтовим притисканням деталей, при цьому зусилля стиснення утворюється парою гвинт-гайка. Матеріали цього пристрою повинні мати ТКЛР, рівним або близьким до ТКЛР матеріалів деталей. Ці пристрої не забезпечують постійного тиску в процесі паяння за рахунок розширення деталей вузла в процесі нагрівання, при цьому величина тиску стиснення при пайці збільшуватиметься, що може призвести до видавлювання рідкого припою [23].

Виходячи з вимог, що пред'являються до металокерамічних гермовводів, і необхідністю докладання постійного тиску під час паяння було розроблено технологічне оснащення. Загальний вигляд і розріз по діаметральній площині показаний на рис. 4.2.

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

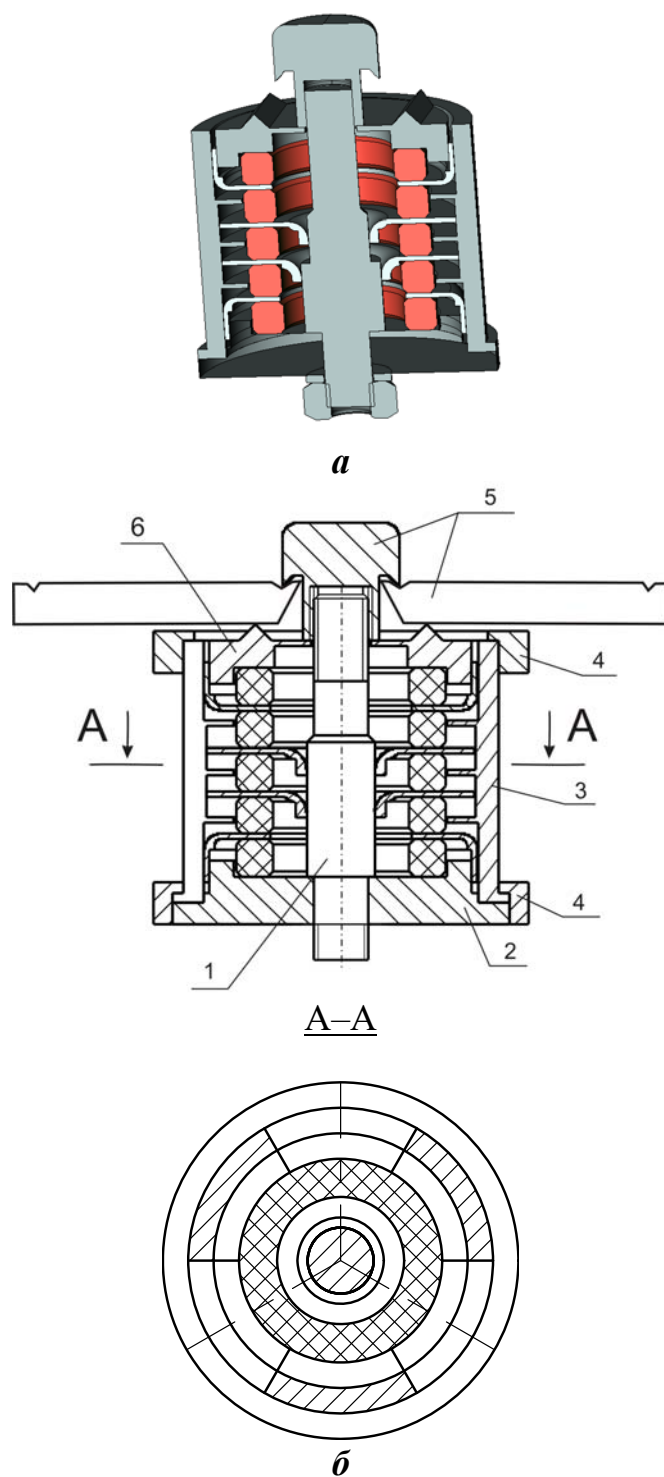


Рис. 4.2. Загальний вид (а) і розріз по діаметральній площині (б) технологічної оснастки для пайки металокерамічних гермовводів

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішнє центрування коварових струмопідводів відбувається за рахунок осі 1 вставленої з натягом в нижню основу 2. Зовнішнє центрування керамічних кілець, струмопідведення забезпечується трьома центруючими сегментами 3, які закріплюються завдяки стопорним кільцям 4. Верхня основа 6 забезпечує центровку. Тиск передається на гермоввод за рахунок механізму навантаження 5 через фланець 6.

Оскільки основне центрування забезпечується завдяки осі 1, то вона виготовляється з матеріалу з близьким до ТКЛР ковару та кераміки, наприклад, інвару, але найкраще виготовляти з ковару. Інші складові оснастки виготовляються зі Ст 3.

Розрахункова схема навантажувального механізму показано на рис. 4.3.

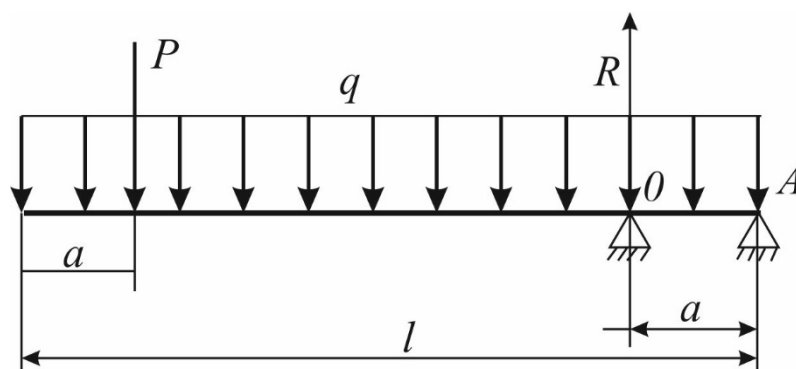


Рис. 4.3. Розрахункова схема механізму навантаження ($l = 205$ мм; $a = 5$ мм)

Визначення моменту щодо точки А.

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\frac{ql^2}{2} + P \cdot (l - a) - R \cdot a = 0$$

Визначення реакції точки О

$$R = \frac{\frac{ql^2}{2} + P \cdot (l - a)}{a} = \frac{ql^2}{2a} + \frac{P(l - a)}{a};$$

$$R = 4202.5q + 40P$$

Визначення навантаження, що діє на зразок

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = 2R = 8405q + 80P$$

Тиск, що діє на зразок, знаходиться за формулою

$$p = F/s$$

$$F = ps$$

$$8405q + 80P = ps$$

$$P = \frac{p \cdot s - 8405q}{80}$$

Площа керамічного кільця $s = 703,36 \text{ мм}^2$.

Додаткова вага необхідна для створення необхідного навантаження визначається за такою формулою:

$$P = 8,792p - 105q$$

Розподілене навантаження від стрижня $q = 2,17 \text{ г/мм}$.

З літературних даних відомо, що паяння здійснюються при тиску 3 ... 10 МПа [23, 25]. При паянні металокерамічних високовольтних гермовводів для електронно-променевих установок використовувався тиск p рівним 5 МПа.

Для забезпечення тиску 5 МПа необхідно на важелі механізму, додатково вішають важки загальною масою 4200 г.

4.3. Технологія паяння під тиском металокерамічних гермовводів для електронно-променевих гармат

Технологічний процес паяння металокерамічних гермовводів включає виконання підготовчих робіт, паяння і вихідний контроль якості вузла на вакуумну щільність і електроопір.

4.3.1. Підготовчі роботи.

Деталі вузла виготовляються у суворій відповідності до креслень - п'ять керамічних кілець і двох пар струмопідведення з ковару (29НК) на один вузол.

Під час вхідного контролю проводиться візуальний огляд щодо виявлення цілісності комплектуючих, відсутність сколів, тріщин та інших механічних пошкоджень. Після візуального огляду здійснюються виміри габаритних розмірів комплектуючих:

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- внутрішній діаметр керамічних кілець;
- зовнішній діаметр керамічних кілець;
- висоту керамічних кілець;
- зовнішній і внутрішній діаметр струмопідводів;
- товщину струмопідведення в місці спаю h.

Керамічні кільця вимірюються на електричний опір. Електричний опір при 10 кВ має становити щонайменше 20 ГОм.

Вироби, що мають відхилення, відбраковуються.

За допомогою пробійника готуються кільця припою з фольги міді марки М1 та титану ВТ1-00 товщиною 0,1 мм, у вигляді кілець, із внутрішнім діаметром 29 мм, зовнішнім – 34 мм.

Струмопідводи фольги титану та міді очищаються в ультразвуковій ванні в середовищі ацетону, потім ретельно протираються спиртом. Кераміка ВК 94-1 відпалювалася у вакуумі порядку 10^{-2} Па при $T = 950$ °С протягом 30 хв.

Мідне кільце лягає на струмопідведення, дотримуючись співвісності, не допускаючи перекосів, деформацій та механічних пошкоджень. Після цього проводиться прихватка кільця до струмопідводу точковим зварюванням на конденсаторній машині вісьмома симетричними точками по колу мідного кільця. Вказану операцію виконати з обох сторін струмопідведення.

Після прихватки всіх мідних кілець, кільце з титанової фольги лягає на мідне і прихоплюється точковим зварюванням. При правильному з'єднанні титанового кільця мідне кільце не повинно проглядатися.

4.3.2. Складання вузла гермоввода під паяння.

Складання гермоввода здійснювати відповідно до схеми представленої на рис. 4.2, забезпечуючи центрування та плоскопаралельність всіх деталей гермоввода. Послідовність збирання вказана нижче:

- встановити перше компенсуюче керамічне кільце на центруючу вісь 1 у проріз нижньої основи 2;

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановити струмопідведення на центруючу вісь 1 фланцем вниз на керамічне кільце дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити на струмопідвід друге керамічне кільце, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити на друге керамічне кільце струмопідведення розтрубом вниз, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити третє керамічне кільце на струмопідведення з розтрубом, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити на третє керамічне кільце струмопідведення розтрубом вниз, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити четверте керамічне кільце на струмопідведення з розтрубом, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити в прорізі нижньої основи 2 три центруючі сегменти 3, розташовуючи їх під кутом 120° ;
- зафіксувати керамічні кільця, центруючими сухариками. Візуально перевірити симетричність та співвісність встановлених керамічних кілець;
- встановити на нижні торці центруючих сегментів 3 стопорне кільце 4;
- встановити на четверте керамічне кільце струмопідведення фланцем вгору, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити на струмопідвід п'яте керамічне кільце, дотримуючись співвісності та симетрії;
- встановити на п'яте керамічне кільце верхню основу 6;
- встановити на верхні торці центруючих сегментів 3 стопорне кільце 4;
- закріпити складання гайкою механізму навантаження 5.

Для контролю температури попередньо приварити термопару ТХА точковим зварюванням до зовнішньої поверхні верхньої основи 6 і верхньої поверхні робочого столу.

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановити оснастку у зібраному вигляді на робочий стіл. У прорізі гайки механізму навантаження вставляють молибденові стрижні (коромисла). На кінці стрижнів чіпляються важки. На рис. 4.4 показаний зібраний гермоввод в оснастці, для паяння під тиском, на робочому столі.



Рис. 4.4. Зібраний гермоввод в оснастці для паяння під тиском на робочому столі

Зібрана конструкція завантажується у робочу камеру установки СНО-1-3-1/16Н1. За допомогою ватерпаса робочий стіл у вакуумній камері встановлюється горизонтально. Переконалися, що є проміжки не менше 20 мм між оснасткою та нагрівальними елементами робочої камери.

Підключити кінці термопар до клемних колодок установки СНО-1-3-1/16Н1. Перевірити справність роботи термопар за приладом ТРМ 251 на пульті керування. Закрийте кришку робочої камери.

4.3.3. Паяння металокерамічного гермовводу.

Паяння гермоввода здійснюється під тиском. Циклограма паяння гермоввода під тиском показана на рис. 4.5.

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

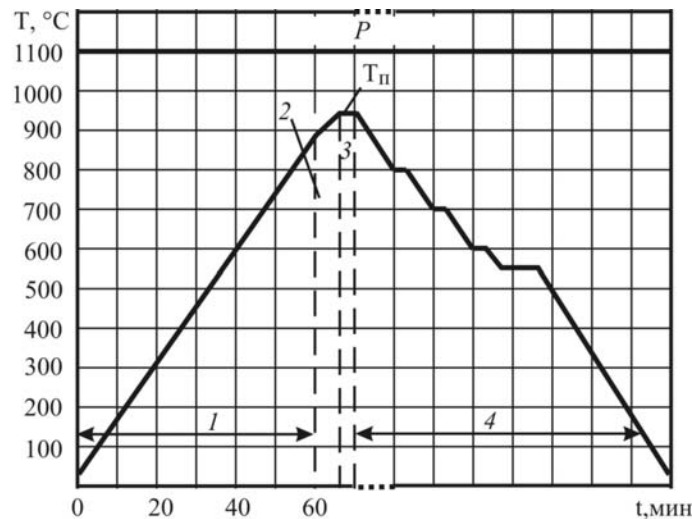


Рис. 4.5. Циклограма паяння гермоввода під тиском: 1 – час виходу на температуру паяння; 2 – час стабілізації температури; 3 – час паяння; 4 – час керованого охолодження

Основні параметри технологічного циклу:

Тиск стиснення $P = 5 \pm 0,5$ МПа;

Температура паяння гермоввода - $940 \dots 950$ °С;

Час стабілізації температури – 2 хв;

Рівень вакууму у робочій камері, не нижче – 10^{-2} Па.

Охолодження вузла гермоввода проводиться у вакуумі під тиском до температури 100 °С. Охолодження ступінчасте з наступною витримкою на кожному ступені $10 \dots 15$ хв до 600 °С включно. При температурі 550 ± 10 °С витримка 30 хв.

Вакуумна піч СНО-1-3-1/16Н1 обладнана програмним ПД-регулятором ОВЕН ТРМ 251. Цей прилад поєднав у собі можливості сучасного, універсального засобу управління технологічним процесом, простоту в експлуатації, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс оператора та надійність, забезпечену застосуванням сучасної елементної бази. ТРМ 251 відповідає класу «А» з електромагнітної сумісності у промислових умовах.

Циклограма процесу паяння визначається за допомогою ПК. Управління процесом здійснюється в автоматичному режимі приладом ТРМ-251. Температури з термопаром в процесі паяння записується в PUR files з частотою

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

опитування 0,3 с. Температура на кераміці контролюється за допомогою інфрачервоного датчика приладу Optris CT із записом PUR files на ПК.

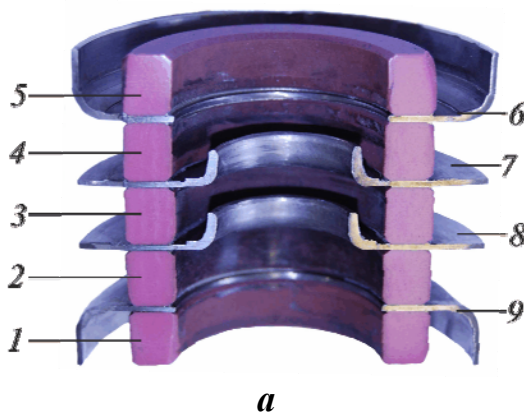
4.3.4. Контроль паяних гермо ввідів.

Після охолодження гермоввод виймається з оснастки і проводиться його візуально-оптичний огляд під час якого перевіряються паяні шви. За допомогою штангенциркуля вимірюється висота гермоввода по двох діаметрально розташованих площинах. Перекіс не повинен перевищувати 0,1 мм.

Електроопір керамічних кілець між струмопідведеннями замірялося за допомогою мегомметра Ф4102/1-1М. Електричний опір при 10 кВ становило 20 ГОм.

Герметичність паяного гермоввода перевірялася за допомогою гелієвого течешукача ПТІ-10. Натікання гелію становить трохи більше $1 \cdot 10^{-13}$ м³·Па/с. Результати перевірки герметичності та електроопору дослідної партії гермовводів у кількості 50 штук показали, що вихід придатних виробів становить не менше 95 %. Розріз по перерізу (рис. 4.6, *a*) та зовнішній вигляд спаяних гермовводів показані на рис. 4.6.

Спаяні гермовводи задовольняють експлуатаційні вимоги до гермовводів для електронно-променевих гармат. Розроблена технологія дозволила вперше виготовляти гермовводи в Україні з товщиною струмопідводів 0,5 мм, які мають вищі експлуатаційні характеристики порівняно із зарубіжними аналогами.



					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



б

Рис. 4.6. Розріз по перерізу (*а*) та зовнішній вигляд (*б*) спаяних металокерамічних гермовводів, розрахованих на прискорюючу напругу 20 кВ, потужністю електронної гармати 60 кВт, для електронно-променевих установок:
1...5 кераміка марки ВК 94-1; 6...9 металеві електроди з прецизійного сплаву 29НК

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки.

1. Результати виконаних досліджень дозволили оптимізувати конструкцію та технологію паяння металокерамічних гермоводів системи фокусування пучка в електронно-променевих гарматах в установках для зварювання та напилення.

2. Результати досліджень дозволили розробити типову технологію активного контактно-реактивного паяння під тиском для виготовлення високовольтних металокерамічних гермоводів. Гермоводи задовольняють технічним вимогам і застосовуються замість імпорتنих у системах фокусування пучка при виготовленні електронно-променевих гармат.

3. Розроблена технологія дозволила вперше виготовити в Україні гермоводи з товщиною струмопідведення 0,5 мм, які мають вищі експлуатаційні характеристики порівняно із зарубіжними аналогами.

4. Розроблена технологія унеможливорює трудомісткий процес металізації кераміки, що на 50 % знижує вартість вузлів у порівнянні з імпортними. Технологія забезпечує гарантовану якість паяних сполук, сприяє енергозбереженню та підвищенню продуктивності праці.

					131.6121м.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ													
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПАЯННІ						Лит		Лист		Листів			
Студент	Ісаєнко С.М.													1				
Керівник	Лабарткава О.В.										НУК ім. Адм. Макарова							
Консулт																		
Зав.кафед	Драган С.В.																	

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПАЯННІ

Введення

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, соціально-гігієнічних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини.

Розвиток економіки країни передбачає постійне прискорення темпів розвитку промисловості, яка вимагає широкої механізації та автоматизації виробничих процесів, впровадження нової техніки і технологій. При цьому питанням охорони праці відводиться значна увага, оскільки від цього залежить економічна ефективність промислового виробництва і соціальна стабільність суспільства.

Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірності ураження або хвороби працюючих з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній виробничій ефективності.

Основним законодавчим актом з охорони праці є Закон України "Про охорону праці" прийнятий Верховною Радою з 14.10.1992 року. А стандарт ДСТУ 12.0.003-74 поширюється на небезпечні та шкідливі виробничі фактори, встановлює їх класифікацію і містить особливості розробки стандартів на вимоги і норми за видами небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Держава повинна турбуватися про поліпшення умов і охорони праці, її організації, про скорочення важкої фізичної роботи за рахунок удосконалення та впровадження механізації та автоматизації в промисловості.

Охорона здоров'я працюючих, забезпечення безпеки умов роботи, лікування професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну з головних турбот держави.

За кожною людиною закріплено право на охорону здоров'я. Це право забезпечувати розвитком техніки безпеки і виробничої санітарією, безплатною медичною допомогою, заходами з оздоровлення, попередження і зниження професійних захворювань.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У наш час впроваджується багато нових складальних пристроїв і механізмів. У зв'язку з цим зростає роль охорони праці, яка повинна не тільки забезпечувати безпеку роботи людини, а й покращувати її умови. В даний час комп'ютеризація міцно увійшла в наше життя. Вона проникла в усі сфери економіки та народного господарства: промисловість, управління, банківська справа, торгівлю. Підвищення рівня освіти так само тісно пов'язане з використанням комп'ютерів. Але комп'ютеризація тягне за собою і багато проблем. Одна з них - екологічна, так як комп'ютер має на організм людини певні впливи.

5.1. Аналіз потенційних небезпек при паянні

У комплекс заходів охорони праці при пайці входить забезпечення техніки безпеки при підготовці деталей і пайки, при експлуатації обладнання і виробництві паяльних робіт, на рис. 5.1 показаний план лабораторії.

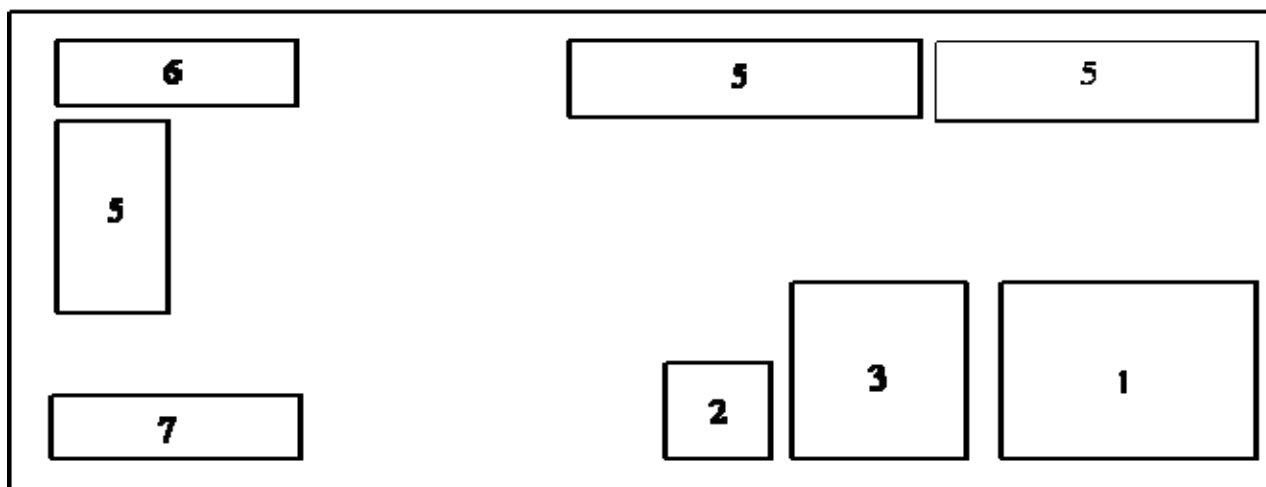


Рис. 5.1. План лабораторії: 1 - джерело живлення; 2 - вакуумний насос, 3 - муфельна піч; 4 - робочий стіл, 5 - стелажі для зразків і припоїв; 6 - електронний мікроскоп; 7 - твердомер

Ці процеси пов'язані з низкою небезпечних і шкідливих факторів, найбільш характерними з яких є:

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- * Ураження струмом при несправному обладнанні;
- * Велике виділення тепла в робочій зоні;
- * Шум і вібрація;
- * недостатня кількість природного світла.

Електричний струм уражає нервову систему або викликає опіки. Ступінь ураження залежить від сили струму, напруги в мережі і опору організму людини. $I \leq 0,002$ А людина переносить безболісно, $I = 0,05$ А є небезпечним і викликає больові відчуття, $I > 0,05$ А може привести до смертельного результату. При провідці ліній для освітлювальних цілей необхідно враховувати, що допустима напруга в сирих приміщеннях не повинно перевищувати 12 В.

Варто зауважити, що всі електричні пристрої на робочій ділянці повинні бути заземленими, це необхідно для того, щоб запобігти ураження струмом. Відповідно до Правил опір захисного заземлення не повинне перевищувати 4 Ом. Таким чином, при дотику до корпусу обладнання під напругою, людина включається паралельно в ланцюг струму. Але в цьому випадку завдяки невеликому опору заземлювачів через людину буде проходити струм безпечної величини. Заземленню підлягають: корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників; приводи електричних апаратів; вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів; каркаси розподільних щитів керування, щитків і шафи; металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт; металеві оболонки й броні контрольних і силових кабелів, проводів; сталеві труби електропроводки й інші металеві конструкції, пов'язані з установкою електроустаткування; арматури світильників, металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів і ін.

Захисне відключення.

Так називається система захисту, заснована на автоматичному відключенні струмоприймача у випадку, якщо на його металевих частинах, що нормально не перебувають під напругою, з'являється струм. Захисне відключення виконується за допомогою автоматичних вимикачів або контакторів, оснащених спеціальним реле захисного відключення від мережі ушкодженого приймача струму. Перевага

Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КР.131.6121м.05.05.ПЗ

Лист

захисного відключення в його миттєвій (приблизно 0,02 с) дії. Крім того, захисне відключення може спрацьовувати навіть на самому початку появи ушкодження. Разом з тим, воно іноді не спрацьовує, якщо пригоряє контакт або відривається провід, але застосування його безумовно доцільно, особливо тоді, коли за якимиись причинами не можна скористатися захисним заземленням або зануленням.

Також необхідно забезпечити персонал устаткуванням індивідуального захисту.

У процесі підготовки виробів до пайки і при пайці в повітрі робочої зони можуть знаходитися шкідливі речовини: ацетон, молибденовий пил, їдкі луги. Агрегатні стани речовин в умовах виробництва: пари або газу (П); аерозолі (А); суміші парів і аерозолів (П + А).

За ступенем впливу на людину шкідливі речовини поділяють на чотири класи:

- 1 - речовини надзвичайно небезпечні;
- 2 - речовини високонебезпечні;
- 3 - помірно небезпечні;
- 4 - малонебезпечні.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати встановлених гранично допустимих концентрацій. У табл. 5.1 вказані гранично допустимі концентрації характерних для ділянки пайки шкідливих речовин згідно ДСТУ 12.1.005-88.

Оптимальні і допустимі величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря встановлюється для робочої зони лабораторії з урахуванням надлишків тепла, тяжкості виконуваної роботи і сезону року.

Роботи, що виконуються на ділянці пайки, відносяться до робіт середньої важкості.

Параметри повітря робочої зони визначаються ДСТУ 12.1.005-88.

Причиною виникнення вібрацій є неврівноважені силові дії. Загальні вібрації з частотою менше 0,7 Гц хоча і неприємні, але не призводять до

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вібраційної хвороби. Для більшості органів людини власні частоти коливань лежать в діапазоні $6 \div 9$ Гц. Коливання робочих місць і інструментів з зазначеними частотами дуже небезпечні, тому - як можуть викликати механічні пошкодження і розриви органів.

Таблиця 5.1.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони за ДСТУ 12.1.005-88.

Речовина	ПДК, мг/м ³	Клас безпеки	Агрегатний стан
Ацетон	200	4	П
Молібден	6	3	А
Сірчана кислота	1	-	П
Соляна кислота	5	-	П+А
Їдкі луги	0.5	2	А
Фториди, хлориди	0.3	-	П+А

Для забезпечення достатнього освітлення в лабораторії, і компенсації недостатнього природного освітлення, необхідний розрахунок штучного освітлення ділянки пайки.

5.2. Розрахунок штучного освітлення ділянки паяння

Освітленість штучним світлом розраховується методом коефіцієнта використання світлового потоку і враховує пряме і відбите світло. Від світильників загального освітлення на люмінесцентних лампах типу ЛБ освітленість повинна бути не менше 150 лк.

Мінімальна освітленість за методом світлового потоку розраховується за формулою:

$$E_{\min} = \frac{N \cdot F \cdot \eta}{s \cdot k \cdot z} \quad (5.1)$$

де F - світловий потік лампи (світильника);

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

N - кількість світильників;

η - коефіцієнт використання світильників;

s - площа освітлюваного приміщення;

k - коефіцієнт запасу, $k = 1,3$

z - поправочний коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу світлового потоку $z = E_{\min} / E_{\text{ср}}$;

Характеристика люмінесцентних ламп:

* Номінальна напруга 220 В;

* Номінальна потужність 80 Вт;

* Номінальний світловий потік 3680 лм.

У світильнику дві лампи, отже світловий потік світильника:

$$\Phi = 2 \cdot 3680 = 7360 \text{ лм.}$$

Коефіцієнт мінімальної освітленості, значення якого знаходяться в межах 1,1-1,5 [60], приймаємо $z = 1,2$.

Площа приміщення $S = a \cdot b$; $S = 5 \cdot 9 = 45 \text{ м}^2$.

Висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею дорівнює:

$$h_0 = 3,38 \text{ м.}$$

Значення коефіцієнта η визначаємо за таблицями [60] в залежності від коефіцієнта відбиття світлового потоку від стелі та стін і показника індексу приміщення і.

Індекс приміщення визначається з виразу:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_0 \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 9}{3,38 \cdot (5 + 9)} = 1,35 \quad (5.2)$$

де a - ширина лабораторії (5 м);

b - довжина лабораторії (9 м);

h_0 - висота підвісу світильників (3,38 м).

При значеннях коефіцієнтів відбиття від стелі $\rho_{\text{п}} = 0,7$ і від стін $\rho_{\text{с}} = 0,5$ значення коефіцієнта $\eta = 0,54$.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідна кількість світильників визначається за формулою:

$$N = \frac{S \cdot E \cdot k \cdot z}{\Phi \cdot \eta};$$

$$N = \frac{45 \cdot 150 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{7360 \cdot 0,54} = 4.$$
(5.3)

Чотири світильника розташовані в два ряди (див. рис. 5.2.).

Визначаємо освітленість:

$$E = \frac{4 \cdot 7360 \cdot 0,45}{1,3 \cdot 45 \cdot 1,2} = 188,7 \text{ (лк)};$$

Отримане значення освітленості більше мінімально. Отже обрана кількість світильників буде забезпечувати необхідне освітлення робочого місця.

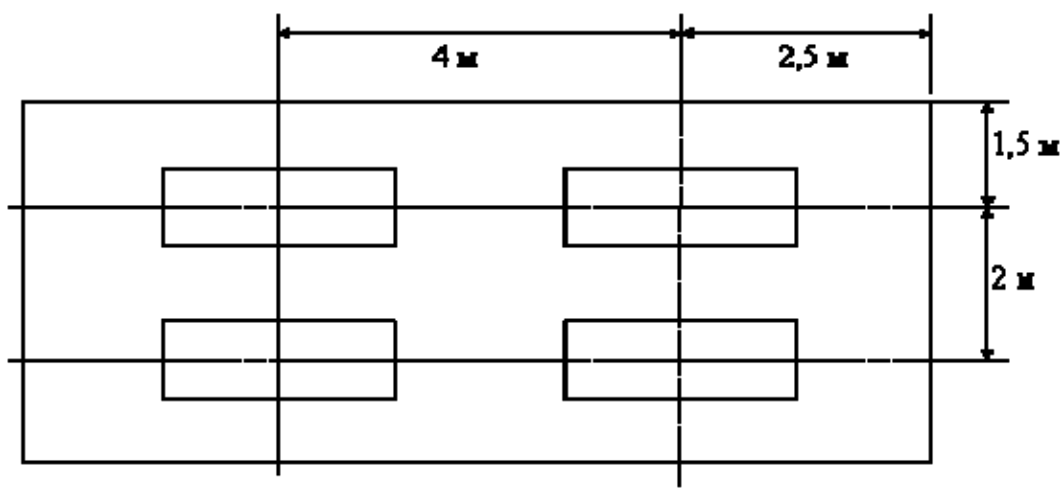


Рис. 5.2. Схема розташування світильників.

5.3. Забезпечення електробезпеки при паянні

Одним з найбільш небезпечних факторів є можливість ураження електричним струмом. Аналіз нещасних випадків у різних галузях промисловості, у тому числі і в суднобудуванні, показує, що кількість травм, які супроводжуються тимчасовою втратою працездатності, викликаних електричним струмом, порівняно невелика і становить 0,5-1% від загального числа нещасних випадків. Зовсім інша картина буде якщо розглядати тільки смертельні випадки. При цьому виявляється, що із загального числа смертельних випадків 20-40% відбувається в результаті ураження електричним струмом.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому, для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції в електроустановках і переходу напруги зі струмовідних частин на метал нетоковедущих частин застосовується захисне заземлення. Дія захисного заземлення засноване на позбавленні напруги корпусу щодо землі. Захисне заземлення, є ефективним в електроустановках напругою до 1000 В. Захисне заземлення, являє собою з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановок із заземленням - сукупністю заземлювача і заземлюючих проводів або декількох, з'єднаних між собою провідників, що знаходяться в зіткненні з землею.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки.

1. При проведенні робіт з паяння обов'язково необхідно виконувати правила безпеки, які пов'язані з наступними чинниками: поразка струмом при несправному обладнанні; велике виділення тепла в робочій зоні; шум і вібрація; недолік природного світла, які можуть викликати опіки, ураження рогівки ока, порушення слуху.

					КР.131.6121м.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ											
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата												
Студент		Ісаєнко С.М.			Загальні висновки					Лит		Лист		Листів		
Керівник		Лабарткава О.В.											1			
Консульт										НУК ім. Адм. Макарова						
Зав.кафед		Драган С.В.														

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз матеріалів які досліджуються.
2. Для дослідження розтікання припоїв, паяння металокерамічних вузлів вибрана вакуумна піч с радіаційним нагрівом СНВ-1.3,1/2011.
3. Вибрано обладнання для дослідження структурного, рентгеноструктурного та рентгеноспектрального аналізів.
4. Визначено, що для паяння метало-керамічних вузлів необхідно застосовувати пайку активними припоями типу СТЕМЕТ-1203 або припоєм, що утворюється в процесі контактнo-реактивного плавлення системи Ti-Cu з оптимальним співвідношенням 50 % Ti-50 % Cu за обсягом.
5. Дослідження крайових кутів змочування розплаву, що утворюється в процесі активного контактнo-реактивного плавлення фольги Ti-Cu по ковару та кераміці, показало, що припій Ti-Cu має підвищену адгезійну активність, порівняно з аморфним припоєм СТЕМЕТ-1203, що дозволяє знизити паяння в середньому на 40...90 °С.
6. Встановлено, що при активній контактнo-реактивній пайці з тиском 5 МПа, кераміки з коваром, припоєм Ti-Cu у паяному шві утворюється три зони: однорідний шар, що прикристалізувався до ковару, протяжністю 19...45 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 52} = 1$ зона I); середня зона – неоднорідний за товщиною та фазовим складом паяний шов протяжністю 7...58 мкм з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 2058...2803$ МПа (зона II); та зона активної взаємодії припою з керамікою, що має нерівномірну довжину 15...53 мкм, з мікротвердістю $H_{\mu 50} = 3146...3548$ МПа (зона III). Дифузійне проникнення припою до кераміки спостерігається до 30 мкм.
7. У процесі паяння прецизійного сплаву 29НК з керамікою ВК 94-1 припоєм Ti-Cu формується з'єднання, яке містить три фазові складові з кубічною решіткою, такі як Ti_3Cu_3O , Cu_2Ti_4O та Al_4Cu_9 . Крихких інтерметалідних сполук, за винятком незначної кількості Al_4Cu_9 , що локалізується у приграничній до кераміки області, не було виявлено.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Результати випробування на зріз та перевірка герметичності паяного металокерамічного вузла гермовводу припоєм Ti-Cu показали, що міцність паяної сполуки становить $9,6 \pm 0,7$ МПа, натікання гелію не більше $1 \cdot 10^{-13}$ м³·Па/с. Спаяний вузол гермоввода задовольняють експлуатаційним вимогам, що пред'являються до гермовводів для електронно-променевих гармат.

9. Результати виконаних досліджень дозволили оптимізувати конструкцію та технологію паяння металокерамічних гермовводів системи фокусування пучка в електронно-променевих гарматах в установках для зварювання та напилення.

10. Результати досліджень дозволили розробити типову технологію активного контактно-реактивного паяння під тиском для виготовлення високовольтних металокерамічних гермовводів. Гермовводи задовольняють технічним вимогам і застосовуються замість імпорتنих у системах фокусування пучка при виготовленні електронно-променевих гармат.

11. Розроблена технологія дозволила вперше виготовити в Україні гермовводи з товщиною струмопідведення 0,5 мм, які мають вищі експлуатаційні характеристики порівняно із зарубіжними аналогами.

12. Розроблена технологія унеможливорює трудомісткий процес металізації кераміки, що на 50 % знижує вартість вузлів у порівнянні з імпортними. Технологія забезпечує гарантовану якість паяних сполук, сприяє енергозбереженню та підвищенню продуктивності праці.

13. При проведенні робіт з паяння обов'язково необхідно виконувати правила безпеки, які пов'язані з наступними чинниками: поразка струмом при несправному обладнанні; велике виділення тепла в робочій зоні; шум і вібрація; недолік природного світла, які можуть викликати опіки, ураження рогівки ока, порушення слуху.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. А.С. 1430201 МКИ⁴ В23К 1/19. Паяное соединение из разнородных материалов [Текст] / Ю.В. Найдич, Б.Д. Костюк, В.Л. Побережнюк и др. – №4006279/31–27. Заявл. 06.10.86. Оpubл. 15.10.88, Бюл. №38 // Открытия. Изобретения. – 1988. – №38.
2. А.С. 1459831 МКИ⁴ В23К 1/19. Паяная конструкция [Текст] / А.М. Дубасов, Г.А. Желобцова, А.Я. Куфайкин. – №4096784/31–27. Заявл. 15.05.86; Оpubл. 23.02.89, Бюл. №7 // Открытия. Изобретения. – 1989. – №7
3. А.С. 1486280 СССР, МКИ⁴ В23К 1/19. Конструкция паяного соединения деталей из разнородных материалов [Текст] / В.С. Несмих, А.В. Кужель. К.А. Ющенко и др. – №4290519/31–27. Заявл. 04.08.87; Оpubл. 15.06.89, Бюл. №22 // Открытия. Изобретения. – 1989. – №22.
4. А.С. 15445533 СССР, МКИ⁴ В23К 1/19. Способ пайки диэлектрической подложки с металлическим основанием [Текст] / Н.Г. Васильченко, А.В. Артемов, М.В. Михайлов. – №4299394/25–27. Заявл. 19.08.87; Оpubл. 23.02.90, Бюл. №7 // Открытия. Изобретения. – 1990. – №7.
5. Балкевич, В.Л. Техническая керамика [Текст] / В.Л. Балкевич. // М.: Стройздат, 1968. – 198 с.
6. Бачин, В.А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами [Текст] / В.А. Бачин // М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
7. Борисова, А.К. Прецизионные сплавы с особыми свойствами теплового расширения и упругости [Текст] / А.К. Борисова, С.С. Грацианова, С.И. Олевский и др. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 152 с.
8. Бугаенко, Б.В. Дефекты паяных металлографитовых узлов и рекомендации по их предупреждению [Текст] / Б.В. Бугаенко, Г.А. Кравицкий, Л.Т. Аникин // Технология судостроения и сварочного производства: Сб. науч. тр. НКИ. – Николаев. – 1983. – С.65–72.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Бушков, А.А. Исследование состава фаз, возникающих при взаимодействии титаносодержащих припоев с алюмооксидной керамикой [Текст] / А.А. Бушков, Л.В. Козловский, В.С. Хейфец // Адгезия расплавов и пайка материалов: Сб. научн. тр. – 1981. – Вып. 8. – С. 67-72.

10. Журавлёв, В.С. Капиллярные и контактные процессы при взаимодействии Nb-содержащих расплавов с материалами системы $Al_2O_3-SiO_2$ при пайке оксидной керамики с тугоплавкими металлами [Текст] / В.С. Журавлёв, Н.Ю. Таранец, А.Ю. Коваль, М.В. Карпец, Ю.В. Найдич // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009, № 3 (426). – С. 38-46.

11. Исследование металлизированных покрытий на основе дисперсионного порошка молибдена [Текст] / В.Е. Барабанов, Е.И. Егорова, В.И. Лисогорский, В.В. Скороход // Адгезия расплавов и пайка материалов. – 1979. – Вып. 4. – С. 94-96.

12. Казаков, Н.Ф. Диффузионная сварка в вакууме [Текст] / Н.Ф. Казаков // М.: Машиностроение, 1968. – 331 с.

13. Квасницкий, В.В. Оптимизация конструкции металлокерамического гермоввода на основе моделирования напряженного состояния и разработка технологии пайки [Текст] / В.В. Квасницкий, Ал.В. Лабарткава // Четвертая международная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах» 27-28 мая 2008 г.: Тез. докл. Межд. конф. Под редакцией профессора В.И. Махненко. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2008. – С. 51-52.

14. Краткий справочник паяльщика [Текст] / Е.И. Петрунин, Ю.И. Маркова, Р.Р. Гржимальский и др.; Под общ. ред. Е.И. Петрунина. // М.: Машиностроения, 1991. – 224 с.

15. Машиностроение. Энциклопедия [Текст] / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – Машиностроение. Технология сварки, пайки

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

и резки.Т. III-4 / В.К. Лебедев, С.И. Кучук-Яценко, А.И. Чвертко и др.; Под. ред. Б.Е. Патона. 2006. – 768 с.

16. Метелкин, И.И. Сварка керамики с металлами [Текст] / И.И. Метелкин, М.А. Павлова, Н.В. Поздеева // М.: Металлургия, 1977. – 160 с.

17. Найдич, Ю.В. Контактные явления в металлических расплавах [Текст] / Ю.В. Найдич // К.: Наукова думка, 1972. – 195 с.

18. Напряженное состояние и снижение напряжений путем релаксации в паяных соединениях ниобиевых сплавов с композитной медью [Текст] / Г.В. Ермолаев, В.Ф. Квасницкий, С.М. Самохин, Л.М. Симаненков // Адгезия расплавов и пайка материалов, 1984, вып. 13, С.82–86.

19. Особенности деформации и напряженного состояния разнородных металлов при диффузионной сварке [Текст] / Л.Н. Лароков, М.Н. Белякова, В.Н. Замков и др. // Автоматическая сварка, 1982. – №12. – С.13–17.

20. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов [Текст] / Ю.В. Найдич, Г.А. Колесниченко, И.А. Лавриненко, Я.Ф. Моцак // Киев: Наукова думка, 1977. – 186 с.

21. Пат. 2058872, Российская Федерация, МПК В23К35/30. Припой для пайки изделий электронной техники [Текст] / В.А. Пономарев, заявитель и патентообладатель «Научно-исследовательский институт материалов электронной техники» – 94009461/08, заявл. 18.03.1994, опуб. 27.04.1996.

22. Прецизионные сплавы [Текст]: справочник / под ред. Б.В. Молотилова. – М.: Металлургия, 1974. – 448 с.

23. Спосіб паяння металокерамічних вузлів [Текст] / В.Ф. Квасницький, В.В. Квасницький, О.М. Костін, Б.В. Бугаєнко // Патент на корисну модель № 67071. Національний університет

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кораблебудування імені адмірала Макарова. Заявл. 23.08.2011, № U 2011 10301. В23К 1/00, В23К 35/30. Опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.

24. Справочник по пайке [Текст] / Под ред. С.Н. Лоцманова, И.Е. Петрунина, В.П. Фролова // М.: Машиностроение, 1975. – 407 с.

25. Теория, технология и оборудования диффузионной сварки [Текст] / В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников, В.Г. Новиков, Г.П. Полушкин // Машиностроение, 1991– 352 с.

26. Технологические особенности пайки металлографитовых узлов цилиндрической формы [Текст] / А.И. Сафонов, Б.В. Бугаенко, Э.П. Кревсун и др. // Технология судостроения и сварочного производства: Сб. науч. тр. НКИ. – Николаев. – 1979. – С.80–88.

27. А.С. 3708615 DE, В23К 31/02. Verbindung eines Bauteils aus Niob mit einem aus Stahl [Текст] / Holl Helmut. – №P 3708615.4. Anmeldetag 17.03.87; Offenlegungstag 29.09.88.

28. Brazing of Hot Isostatically Pressed–Al₂O₃ to Stainless Steel (AlSI 304L) by Mo-Mn Route Using 72Ag-28Cu Braze [Текст] / P. Mishra; P. Sengupta; S.N. Athavale; A.L. Pappachan; et al. // Metallurgical and Materials Transactions; Jun 2005; 36A, 6; ProQuest Science Journals, pg. 1487.

29. Crack formation mechanisms in Al₂O₃/Kovar brazed joint [Текст] / Z.S. Yu; P. Yang; R.F. Li; K. Qi // Materials Science and Technology; Jul 2006; 22, 7; ProQuest Science Journals pg. 864

30. Hanson, W. Ceramics in turbine applications [Текст] / W. Hanson, J. Fernie // Bulletin TWI. – September/October 1994. – №5. P.103–106.

31. Г. В. Єрмолаєв, В. В. Квасницький, В. Ф. Квасницький, С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов, В. В. Чигарьов ; за загальною редакцією В. Ф. Хорунова і В. Ф. Квасницького. – Миколаїв : НУК, 2015. – 340 с.

					КР.131.6121м.05.00.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		