

УДК 669.715

**ДИFUZІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ У ВАКУУМІ РІЗНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ****Мамчур І.О.<sup>19</sup>, аспірант  
ДНУ ім. Олесея Гончара**

**Анотація.** Обрано технологію з'єднання різнорідних матеріалів титан-платина за допомогою дифузійного зварювання у вакуумі. Проаналізовано діаграму стану Ti-Pt та визначено основні типи взаємодії компонентів. Встановлено, що утворення зварного з'єднання за рахунок росту дифузійної зони в платині і титані шляхом послідовного зростання інтерметалідних шарів Ti<sub>3</sub>Pt, TiPt, TiPt<sub>3</sub>, а також зон твердих розчинів. На виготовлених зразках вивчено мікро-структуру з'єднання платина-титан та проведені вимірювання мікротвердості. Це дозволило приблизно визначити загальну ширину перехідного слою. На основі проведених досліджень встановили імовірний фазовий склад дифузійної зони. Для уточнення проводилась ідентифікація фаз на дифрактометрі ДРОН 1.5. Вивчення інтенсивності максимумів рентгенограми та розрахунок ідентифікації ліній дозволив встановити наявність інтерметалідів та їх суміші з твердими розчинами.

**Ключові слова:** дифузійна зона, інтерметалід, механічні властивості, титан, платина, зварне з'єднання.

**VACUUM DIFFUSION WELDING OF DIFFERENT MATERIALS****Mamchur I.O., postgraduate  
DNU named after Oles' Ghonchar**

**Annotation.** The technology of joining heterogeneous titanium-platinum materials using diffusion welding in a vacuum was chosen. The state diagram of Ti-Pt was analyzed and the main types of interaction of the components were determined. It was established that the formation of the welded joint is due to the growth of the diffusion zone in platinum and titanium through the sequential growth of intermetallic layers Ti<sub>3</sub>Pt, TiPt, TiPt<sub>3</sub>, as well as zones of solid solutions. The micro-structure of the platinum-titanium connection was studied on the manufactured samples and microhardness measurements were carried out. This made it possible to approximately determine the total width of the transition layer. On the basis of the conducted studies, the probable phase composition of the diffusion zone was established. On the basis of the conducted studies, the probable phase composition of the diffusion zone was established. For clarification, the phases were identified on a DRON 1.5 diffractometer. Studying the intensity of X-ray diffraction peaks and calculating the identification of lines made it possible to establish the presence of intermetallics and their mixtures with solid solutions.

**Key words:** diffusion zone, intermetallic, mechanical properties, titanium, platinum, welded joint.

**Вступ**

Сучасні технології потребують використання нових перспективних матеріалів, технології їх отримання та технології виготовлення деталей і конструкцій. Перспективним напрямком є використання технологій отримання нероз'ємних з'єднань шляхом зварювання. Якщо конструкція передбачає з'єднання різнорідних матеріалів, які утворюють інтерметалідні фази, виникають певні ускладнення. Інтерметаліди, які розташовані безперервним ланцюгом є фазою, за якою здійснюється руйнування [1,2]. Тому різнорідні матеріали потребують з'єднання у твердій фазі за допомогою методів зварювання тертям, вибухом, дифузійного зва-

---

<sup>19</sup> Під керівництвом наукового керівника проф., д.т.н. Санін А.Ф.

рування у вакуумі. Регулюючи параметри зварювання, можна контролювати фазовий склад та ширину дифузійної зони.

### Аналіз публікацій

Дифузійне зварювання у вакуумі внесло суттєві зміни в розвиток науки і техніки, дозволяючи з'єднувати деталі і вузли з однорідних і різнорідних металів, а також металів та їх сплавів з неметалами при забезпеченні комплексу властивостей, які не можна отримати іншими способами зварювання: пайки, склеюванням і механічним кріпленням. Автором нового способу з'єднання матеріалів у твердій фазі був професор Н.Ф. Казаков. За час, що минув після отримання цим способом першого зварного з'єднання, в Україні і за кордоном виконана велика кількість науково-дослідних робіт теоретичного і прикладного характеру з дифузійного з'єднання різнорідних матеріалів.

### Мета і постановка завдання

Встановити вплив параметрів дифузійного зварювання у вакуумі на фазоутворення дифузійної зони та якість зварного з'єднання різнорідних матеріалів титана і платини.

### Основний матеріал досліджень

Матеріалом дослідження є метали платина і титан, з'єднані дифузійним зварюванням у вакуумі за різних параметрів. Аналіз діаграми платина-титан дозволяє встановити що платина має малу розчинність у  $\alpha$ -титані і значно більш обмежену розчинність у  $\beta$ -титані, а також утворюються 3 типи інтерметалідів:  $Ti_3Pt$ ,  $TiPt$ ,  $TiPt_3$  [5,6]. Зварювання проводили на конструкції, яка складається з титанового зразка  $10 \times 10 \times 10$  мм з платиновою фольгою товщиною 50 мкм за наступними режимами  $T = 1138K$ ,  $P = 6,37$  МПа,  $\tau = 900, 1800, 2700$  с. Після зварювання виготовлялись зразки в перетині поперечному поверхні зварювання. Далі використовували теплове травлення під час полірування. На рис. 1 наведена мікроструктура з'єднання з відбитками мікротвердості, отриманими на мікротвердомірі ПМТ-3 і навантаженні 50 г.



Рис. 1. Дифузійна зона з'єднання титан-платина, х500

Для більш детального дослідження тонкої будови дифузійної зони використовували растровий електронний мікроскоп ISM-35 (рис.2).



Рис. 2. Дифузійна зона з'єднання платина-титан ( $T_{зв} = 1138K$ ,  $P_{зв} = 6.37$  МПа,  $\tau = 2700$  с, х4000)

Аналіз зміни мікротвердості від чистого титана до чистої платини показав наявність широкої області дифузійної взаємодії (460 мкм). Визначили, що значення мікротвердості відповідають інтерметалідам (ширина слою 80 мкм), які розташовані біля поверхні зварювання. Також значення мікротвердості та аналіз діаграми дозволили припустити наявність шарів твер-

дих розчинів. Для ідентифікації фазового складу дифузійної зони проводили дослідження на дифрактометрі ДРОН-1.5. Інтенсивність максимумів рентгенограми пропорційна кількості фаз і представляється однією або двома найбільш інтенсивними лініями, які були попередньо записані для платини і титану.

Найбільш інтенсивні відображення для даних умов потрапляють у діапазон кутів  $20^{\circ}$ - $65^{\circ}$ . Точність визначення періодів ідентичності складає біля  $0.002\text{Å}$ . Дослідження проводились на скошених шліфах від платини з поступовим зняттям під невеликим кутом до поверхні титану. Зразки встановлювали на дифрактометрі ДРОН-1.5, таким чином, щоб випромінювання падало на поверхню зразка, через яку проходить вісь обертання зразка і лічильника. Мета дослідження – провести ідентифікацію речовини в суміші за набором його міжплощинних відстаней і відносної інтенсивності відповідних ліній на рентгенограмі. Після розрахунку ідентифікацію ліній проводили за довідником. За результатами досліджень виявлені інтерметаліди  $\text{Ti}_3\text{Pt}$ ,  $\text{TiPt}$ ,  $\text{TiPt}_3$  та їх суміші з твердими розчинами [7]. Таким чином проведені дослідження дозволили встановити фазовий склад дифузійної зони.

### Висновки

Обрано технологію з'єднання різнорідних матеріалів титан і платина – дифузійне зварювання у вакуумі; виготовлені мікрошліфи для мікроструктурного дослідження; проаналізовано взаємодію титана і платини за діаграмою стану; проведені вимірювання мікротвердості на виготовлених зразках; проведені дослідження на дифрактометрі ДРОН-1.5; проведена ідентифікація фаз. Мікроструктура яка отримана за допомогою РЕМ ISM-35 свідчить про наявність трьох дифузійних прошарків. Аналіз діаграми стану платина-титан та вимірювання мікротвердості дозволив встановити ширину дифузійної зони  $460\text{мкм}$ , наявність інтерметалідів (ширина слою  $80\text{мкм}$ ) та прошарків твердих розчинів. Отримані дані свідчать про наявність інтерметалідів  $\text{Ti}_3\text{Pt}$ ,  $\text{TiPt}$ ,  $\text{TiPt}_3$  і твердих розчинів. Визначення фазового складу зварної зони на дифрактометрі ДРОН-1.5 дозволило ідентифікувати наявність інтерметалідів, а також їх суміші з твердими розчинами. Дані отримані за допомогою наведених методів дослідження дозволяють контролювати зростання фронтальних фазових слоїв і фазоутворення, що впливає на якість дифузійного з'єднання.

### Література

1. Люшинський А.В. Дифузійне зварювання різнорідних металів: - М.: Академія, 2006. – 208с.
2. Калініна Н.С., Калінін О.В., Носова Т.В. Розробка технології дисперсного модифікування жароміцних нікелевих сплавів для лопаток термоциклічних двигунів // XXVI Міжнародний Конгрес двигунобудівників, ХАІ. - Херсон, 2021. - С. 49-53
3. Рівняння ідентифікації / С.А. Фірстов, В.Ф. Горбань, Е.П. Печковський, Н.А. Мамека // Доп. Нац. Академії наук України. – 2007. – № 12. – С. 100–106.
4. Гуревич С.М., Замков В.Н. Металургія та технологія зварювання титану та його сплавів: Наукова думка – Київ: 2017. – 300с.
5. Санін А.Ф., Мамчур І.О., Мамчур С.І. Дослідження фазового складу та протяжності дифузійних слоїв з'єднання  $\text{LaB}_6\text{-Zr-Nb}$ // IV Міжнародна конференція “Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід”. -м. Гельсінкі, Фінляндія, 2021. - С.164-177 с.
6. Калініна Н.С., Носова Т.В., Мамчур С.І. Спеціальні сплави з особливими властивостями// Д: Поліграфцентр “Формат”, 2021. - 32с.
7. A.I.Ustinov, Iu.V. Falchenko, T.V.Melnychenko, L.V. Petrushynets, K.V.Liapina, A.E.Shishkin Diffusion welding through vacuum-deposited porous interlayers // Automatic welding – 2015. - № 9. – P.268 – 279.