

УДК 621.791

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.240422.40.841

## ФАЗОУТВОРЕННЯ В ДИФУЗІЙНІЙ ЗОНІ ТИТАН – ПЛАТИНА

САНІН А. Ф.<sup>1</sup> докт. техн. наук, проф.,МАМЧУР С. І.<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц.,МАМЧУР І. О.<sup>3\*</sup> асп.,ДЖУР Є. О.<sup>4</sup> докт. техн. наук, проф.,НОСОВА Т. В.<sup>5</sup> канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел.: +38 (067) 563-62-55, e-mail: [Afedsa60@gmail.com](mailto:Afedsa60@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5614-3882

<sup>2</sup> Кафедра технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: [1964stella1965@gmail.com](mailto:1964stella1965@gmail.com), тел.: +38 (098) 411-22-46, ORCID ID: 0000-0002-8146-8849

<sup>3\*</sup> Кафедра технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел.: +38 (063) 272-66-02, e-mail: [mamchurmoney@gmail.com](mailto:mamchurmoney@gmail.com)

<sup>4</sup> Кафедра технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: [dzhurya@gmail.com](mailto:dzhurya@gmail.com), тел.: +38 (067) 636-23-33, ORCID ID: 0000-0002-9026-0134

<sup>5</sup> Кафедра технології виробництва, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел.: +38 (096) 570-69-35, e-mail: [amaretanya0512@gmail.com](mailto:amaretanya0512@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0855-568X

**Анотація. Постановка проблеми.** 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. Установлено, 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 мікроструктуру з'єднання платина – титан та проведено вимірювання мікротвердості. Це дозволило приблизно визначити загальну ширину перехідного шару. На основі проведених досліджень установили імовірний фазовий склад дифузійної зони. Для уточнення проводили ідентифікацію фаз на дифрактометрі ДРОН 1.5. Вивчення інтенсивності максимумів рентгенограми та розрахунок ідентифікації ліній дозволили встановити наявність інтерметалідів та їх суміші з твердими розчинами. **Матеріали та методика.** Мікроструктурний аналіз, вимірювання мікротвердості, визначення фазового складу на дифрактометрі ДРОН-1.5 дозволили встановити фазовий склад з'єднання платина – титан та ширину кожної зони. **Результати.** Параметри зварювання впливають на якість з'єднання. Змінюючи час витримки зварювання, можна міняти загальну ширину як дифузійної зони, так і окремих прошарків. Таким чином, визначення механічних властивостей з'єднання, отриманого дифузійним зварюванням у вакуумі, дозволяє встановити оптимальний час витримки. **Наукова новизна.** Встановлено, що фазовий склад та протяжність інтерметалідних зон залежать від параметрів зварювання та впливають на якість з'єднання титан – платина, отриманого дифузійним зварюванням у вакуумі. **Практична значимість.** На основі експериментальних досліджень рекомендовано режим дифузійного зварювання у вакуумі: T = 1 138 K, P = 6, 37 МПа, τ = 1 800 с.

**Ключові слова:** дифузійна зона; інтерметалід; механічні властивості; титан; платина; дифузійне зварювання у вакуумі

## PHASE FORMATION IN THE DIFFUSION ZONE OF TITANIUM – PLATINUM

SANIN A.F.<sup>1</sup>, Doct. Sc. (Tech.), Prof.,MAMCHUR S.I.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,MAMCHUR I.A.<sup>3\*</sup>, Postgraduate Student,DZHUR Yev.O.<sup>4</sup>, Doct. Sc. (Tech.), Prof.,NOSOVA T.V.<sup>5</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

<sup>1</sup> Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel.: +38 (067) 563-62-55, e-mail: [Afedsa60@gmail.com](mailto:Afedsa60@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5614-3882

<sup>2</sup> Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel.: +38 (098) 411-22-46, e-mail: [1964stella1965@gmail.com](mailto:1964stella1965@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8146-8849

<sup>3\*</sup> Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel.: +38 (063) 272-66-02, e-mail: [mamchurmoney@gmail.com](mailto:mamchurmoney@gmail.com)

<sup>4</sup> Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel.: +38 (067) 636-23-33, e-mail: [dzhurya@gmail.com](mailto:dzhurya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9026-0134

<sup>5</sup> Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Naharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel.: +38 (096) 570-69-35, e-mail: [amaretanya0512@gmail.com](mailto:amaretanya0512@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0855-568X

**Abstract. Formulation of the problem.** The technology of different titanium-platinum materials interconnection by means of diffusion welding in vacuum is presented. The diagram of Ti–Pt state was analyzed and the main types of components interaction were determined. It was found that formation of the welded joint through the growth of the diffusion zone in the titanium by the successive growth of intermetal Ti<sub>3</sub>Pt, TiPt, TiPt<sub>3</sub> balls as well as zones of solid solutions. **Materials and methodology.** The microstructure analysis, microhardness measurement, phase composition definition on the DRON-1.5 allowed to determine the phase composition of platinum – titanium compound and the width of each zone. **Results.** Welding parameters influence weld quality. It is possible to change the overall width of the diffusion zone as well as that of individual joints by changing the welding cycle time. Thus, the determination of the mechanical properties of the joint obtained by diffusion welding in vacuum, allows setting the optimum operating time. **Scientific novelty.** It was found that the phase composition and length of intermetal zones depend on the welding parameters and influence the quality of the titanium – platinum joint achieved by diffusion welding under vacuum. **Practical significance.** Based on experimental investigations, a diffusion welding procedure in vacuum is recommended: T = 1 138 K, P = 6, 37 MPa, τ = 1 800 s.

**Keywords:** *diffusion zone; intermetallic; mechanical properties; titanium; platinum; diffusion welding in vacuum*

## Вступ

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

Регулюючи параметри зварювання, можна контролювати фазовий склад та ширину дифузійної зони. 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, забезпечуючи комплекс 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 виконано велику кількість науково-дослідницьких робіт теоретичного і прикладного характеру з дифузійного з'єднання різнорідних матеріалів [3; 4].

## Матеріали та методи

Матеріалом дослідження стали метали платина і титан, з'єднані дифузійним зварюванням у вакуумі за різних параметрів. Аналіз діаграми платина – титан дозволяє встановити, що платина має малу розчинність в α-титані і значно більш обграничену розчинність у β-титані, а також утворюються три типи інтерметалідів: Ti<sub>3</sub>Pt, TiPt, TiPt<sub>3</sub> [5; 6].

Зварювання проводили на конструкції, яка складається з титанового зразка 10×10×10 мм з платиновою фольгою товщиною 50 мкм за такими режимами T = 1 138 K, P = 6,37 MPa, τ = 900, 1 800, 2 700 с. Після зварювання виготовлялись зразки в перетині поперечному поверхні зварювання. Далі виконували теплове травлення під час полірування (рис. 1).



Рис. 1. Дифузійна зона з'єднання титан – платина,  $\times 500$ . Наведено мікроструктуру з'єднання з відбитками мікротвердості, отриманими на мікротвердомірі ПМТ-3; навантаження 50 г

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

Аналіз зміни мікротвердості від чистого титану до чистої платини показав наявність широкої області дифузійної взаємодії (460 мкм). Установили, що значення мікротвердості відповідають інтерметалідам (ширина шару 80 мкм), які розташовані біля поверхні зварювання. Також значення мікротвердості та аналіз діаграми дозволили припустити наявність шарів твердих розчинів. Для ідентифікації фазового складу дифузійної зони проводили дослідження на дифрактометрі ДРОН-1.5.

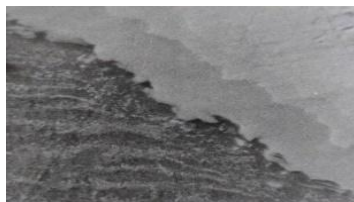


Рис. 2. Дифузійна зона з'єднання платина – титан ( $T_{зв} = 1138\text{K}$ ,  $P_{зв} = 6,37\text{ МПа}$ ,  $\tau = 2700\text{с}$ ,  $\times 4000$ )

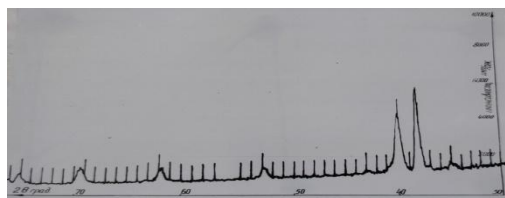


Рис. 3. Інтенсивність розсіяння рентгенівського випромінювання титаном

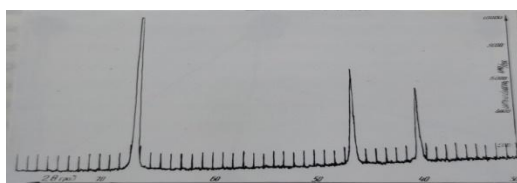


Рис. 4. Інтенсивність розсіяння рентгенівського випромінювання платиною

## Результати та їх обговорення

Інтенсивність максимумів рентгенограми пропорційна кількості фаз і представляється однією або двома найбільш інтенсивними лініями, які були попередньо записані для платини і титану. Рентгенограми наведені на рисунках 3, 4.

## Висновки

Обрано технологію з'єднання різнорідних матеріалів титан і платина – дифузійне зварювання у вакуумі; виготовлено мікросліфи для мікροструктурного дослідження; проаналізовано взаємодію титану і платини за діаграмою стану; проведено вимірювання мікротвердості на виготовлених зразках; виконано дослідження на дифрактометрі ДРОН-1.5; проведено ідентифікацію фаз. На основі наведеної схеми досліджень зроблено такі висновки:

- 1) мікроструктура, отримана за допомогою РЕМ ISM-35, свідчить про наявність трьох дифузійних прошарків;
- 2) аналіз діаграми стану платина – титан та вимірювання мікротвердості дозволив установити ширину дифузійної зони 460 мкм, наявність інтерметалідів (ширина шару 80 мкм) та прошарків твердих розчинів;
- 3) отримані дані свідчать про наявність інтерметалідів  $\text{Ti}_3\text{Pt}$ ,  $\text{TiPt}$ ,  $\text{TiPt}_3$  і твердих розчинів;

4) 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 шарів і фазоутворення, що впливає на якість дифузійного з'єднання.

На рисунках 3, 4 показано, що найбільш інтенсивні відображення для даних умов потрапляють у діапазон кутів  $20 \dots 65^\circ$ . Точність визначення періодів ідентичності складає близько  $0,002 \text{ \AA}$ . 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 її міжплощинних відстаней і відносною інтенсивності відповідних ліній на

рентгенограмі. Після розрахунку ідентифікацію ліній проводили за довідником. За результатами досліджень виявлено інтерметаліди  $Ti_3Pt$ ,  $TiPt$ ,  $TiPt_3$  та їх суміші з твердими розчинами [7]. Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити фазовий склад дифузійної зони.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Люшинский А. В. Диффузионная сварка разнородных металлов. Москва : Академия, 2006. 208 с.
2. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка материалов. Москва : Машиностроение, 1976. 312 с.
3. Фирстов С. А., Горбань В. Ф., Печковский Э. П., Мамека Н. А. Уравнение индентирования. *Доповіди Національної Академії наук України*. 2007. № 12. С. 100–106.
4. Гуревич С. М., Замков В. Н. Metallurgy and technology of welding titanium and its alloys. Київ : Наукова думка, 2017. 300 с.
5. Пешков В. В., Булков А. Б. Диффузионная сварка титановых слоистых конструкций аэрокосмической техники. Воронеж : ФГБОУ ВПО, 2016. 312 с.
6. Казаков Н. Ф., Браун А. Г. Диффузионная сварка за рубежом. *Автоматическая сварка*. № 11. 1984. С. 50–54.
7. Ustinov A. I., Falchenko Iu. V., Melnychenko T. V., Petrushynets L. V., Liapina K. V., Shishkin A. E. Diffusion welding through vacuum-deposited porous interlayers. *Automatic Welding*. 2015. № 9. Pp. 268 – 279.

### REFERENCES

1. Lyushinsky A.V. *Diffuzionnaya svarka raznorodnykh metallov* [Diffusion welding of dissimilar metals]. Moscow: Academy Publ., 2006, 208 p. (in Russian).
2. Kazakov N.F. *Diffuzionnaya svarka materialov* [Diffusion welding of materials]. Moscow : Mechanical Engineering, 1976, 312 p. (in Russian).
3. Firstov S.A., Gorban V.F., Pechkovsky E.P. and Mameka N.A. *Uravneniye indentirovaniya* [The indentation equation]. *Dopovidi Natsional'noyi Akademiyi nauk Ukrayiny* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2007, no. 12, pp. 100–106. (in Russian).
4. Gurevich S.M. and Zamkov V.N. *Metallurgiya i tekhnologiya svarki titana i yego splavov* [Metallurgia and the technology of welding titanium and its alloys]. Kyiv : Naukova Dumka, 2017, 300 p. (in Russian).
5. Peshkov V.V. and Bulkov A.B. *Diffuzionnaya svarki titanovykh sloistykh konstruktivnykh aerokosmicheskoy tekhniki* [Diffusion welding of titanium layered structures of aerospace engineering]. Voronezh : FGBOU VPO, 2016, 312 p. (in Russian).
6. Kazakov N.F. and Brown A.G. *Diffuzionnaya svarka za rubezhom* [Diffusion welding abroad]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding]. 1984, no. 11, pp. 50–54 p. (in Russian).
7. Ustinov A.I., Falchenko Iu.V., Melnychenko T.V., Petrushynets L.V., Liapina K.V. and Shishkin A.E. Diffusion welding through vacuum-deposited porous interlayers. *Automatic Welding*. 2015, no. 9, pp. 268–279.

Надійшла до редакції: 12.02.2022.