

УДК 621.791.18:669.231:669.295

doi: 10.32620/aktt.2022.4sup2.18

А. Ф. САНИН, І. О. МАМЧУР, Є. О. ДЖУР, С. І. МАМЧУР, Т. В. НОСОВА

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДИФУЗІЙНОЇ ЗОНИ З'ЄДНАННЯ ПЛАТИНА-ТИТАН

В роботі розглянуто можливість отримання якісного з'єднання титан-платина. Труднощі з'єднання різнорідних металів полягають в тому, що при їх взаємодії утворюються крихкі інтерметаліди, які є причиною руйнування виробу під час експлуатації. Для контролю товщини та розмірів інтерметалідних включень застосовують методи зварювання в твердій фазі. В якості технології обрано дифузійне зварювання у вакуумі. Для визначення утворення фаз у дифузійній зоні проаналізовано діаграму стану Ti-Pt. Встановлено які типи взаємодії можливі між компонентами. Визначено, що утворення зварного з'єднання відбувається за рахунок утворення і росту дифузійної зони в платині і титані. Під час зварювання спостерігається зростання інтерметалідних фаз Ti_3Pt , $TiPt$, $TiPt_3$, а також зон твердих розчинів. Виготовлені мікрошліфи, на яких вивчено мікроструктуру з'єднання платина-титан та проведені вимірювання мікротвердості. Визначено загальну ширину перехідного дифузійного слою. Проведені дослідження дозволили встановити послідовність фазових складових дифузійної зони. Застосування дифрактометра ДРОН 1.5 дало змогу провести ідентифікацію фаз. Максимуми рентгенограми та розрахунок ідентифікації ліній встановив наявність інтерметалідів та їх суміші з твердими розчинами. У роботі застосовані наступні методи: мікроструктурний аналіз, вимірювання мікротвердості, визначення фазового складу. Для отримання якісних мікрошліфів застосовувалась спеціальна методика. У зв'язку з тим, що під час тривалого шліфування в дифузійній зоні утворюється ступінь за причини різних властивостей титана і платини. Було встановлено фазовий склад з'єднання платина-титан та протяжність кожної зони. Проведені експерименти свідчать, що тиск, температура та час витримки впливають на якість з'єднання. Змінюючи ці параметри зварювання, можна змінювати мікроструктуру дифузійної зони. Для визначення механічних властивостей проводили іспит на розрив. Для цього виготовлені спеціальні триметалеві зразки. Визначення механічних властивостей дозволило встановити за яких параметрів з'єднання платина-титан відповідає вимогам експлуатації.

Ключові слова: дифрактометр; мікрошліф; мікротвердість дифузійна зона; інтерметалід; титан; платина; зварне з'єднання.

Вступ

Захист морських об'єктів від корозії базується за процесу електролізу морської води. В якості електроду використовується титан вкритий платиною. Вимоги до такого з'єднання: великий експлуатаційний строк, щільний контакт між шаром платинової фольги з титаном за великої площі контакту. Порушення цих вимог призводить до відшарування вальцованої платини, зменшення між електродного зазору і короткого замикання в гіпохлоритних електролізерах [1]. Перспективним напрямом виступає використання технологій отримання нероз'ємних з'єднань шляхом зварювання [2]. В системі платина-титан утворюються інтерметалідні фази, що призводить до певних ускладнень. Якщо інтерметаліди розташовані безперервним ланцюгом, за цією фазою здійснюється руйнування [3, 4]. Тому різнорідні матеріали потребують з'єднання одним із методів у твердій фазі: зварювання тертям, вибухом, дифузій-

ним зварюванням у вакуумі. Параметри зварювання впливають на якість дифузійної зони і з'єднання в цілому. Проведення ряду експериментів за різними параметрами зварювання дозволяє встановити оптимальний режим зварювання та отримати якісне з'єднання [5]. 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 [6].

1. Постановка задачі дослідження

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

Матеріал досліджень. Матеріалом дослідження була вальцована платинова фольга товщиною 50 мкм і титанова основа товщиною 3 мм.

2. Результати досліджень

Основними технологічними параметрами процесу дифузійного зварювання є: температура процесу, величина питомого тиску на поверхні контакту матеріалів які з'єднуються, час, ступінь розрідження в зоні контакту за певних температур і тиску, стан поверхонь матеріалів, які зварюються [2]. Якісне з'єднання можна отримати за оптимальних співвідношень вказаних факторів, які повинні бути однаковими на всій поверхні контакту.

Використання існуючих пристроїв для дифузійного зварювання у вакуумі за великими поверхнями контакту пов'язано з великими труднощами: практично неможливо забезпечити рівномірний нагрів заготовель, які з'єднуються по всій площі контакту, за причин перепаду температур від периферії до центру. Це не дозволяє отримати рівномірне з'єднання по всій площі контакту.

Коефіцієнт термічного розширення титану і платини практично однакові. В роботі було спроектовано і виготовлено пристрій для передачі тиску валками, які обертаються.

Деталі які зварюються встановлювали у вакуумний контейнер, в якому за допомогою вакуумної системи створювали вакуум $1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^3$ мкПа. Після вакуумування контейнер нагрівали в печі до температури зварювання і розташовували під валки. Тиск створювався валками, які обертаються. Після цього контейнер переміщали в піч, де проводився відпал деталей.

Як показали проведені експерименти, встановлена принципова можливість отримання зварювального з'єднання по всій поверхні контакту фольги з підложкою. Але за допомогою валків неможливо забезпечити рівномірну передачу тиску по всій площі контакту зварювальних деталей без великого ступеню пластичної деформації фольги.

Визначення діапазону зварювального тиску, температури та часу дифузійного зварювання враховувало вимоги до готових платино-титанових електродів. Товщина платинової фольги після зварювання повинна змінюватись незначно. У зв'язку з цим використання сумісного прокатування у вакуумі для отримання цих електродів не є доцільним. Для ви-

готовлення платино-титанових електродів було спроектовано і виготовлено спеціальний пристрій, який забезпечує мінімальний розбіг температури і питомого тиску.

Установка складається з наступних вузлів і агрегатів: пневмосистема для передачі зварювального тиску у межах 0,98...9,8 МПа; система керування і контрольно-вимірювальної апаратури; система, яка забезпечує нагрівання до температури 1273 К; пристрій для передачі тиску на деталі, які зварюються; вакуумна система, яка забезпечує розрідження до $1,33 \cdot 10^2$ мкПа.

Дифузійне зварювання платинової фольги з титановою основою проводиться наступним чином: деталь розміщували у вакуумний контейнер 5, який герметизується зварюванням. Контейнер поміщають у пристрій для передачі тиску мембраною. Зібрана таким чином конструкція розміщується у нагрівальну піч, створюється необхідний вакуум. За рахунок прогибу мембрани по всій площині деталей тиск передається рівномірно. За постійних параметрів тиску, вакууму і нагрівання здійснювалась необхідна витримка для активного протікання дифузійних процесів в зоні контакту деталей, які зварюються. Після витримки відключають нагрів. Тиск знижується до величини, яка виключає викривлення деталей в процесі охолодження.

Після зварювання дифузійне з'єднання біметалу платина-титан з причин значної різниці в товщинах (титан – 3 мм, платина – 0,05 мм) неможливо використовувати для механічних іспитів на розрив. Були виготовлені спеціальні триметалеві зразки на яких визначались механічні властивості.

Проводили вимірювання мікротвердості в поперечному прерізі мікрошліфів та на готових електродів на приборі ПМТ-3 (рис 1).

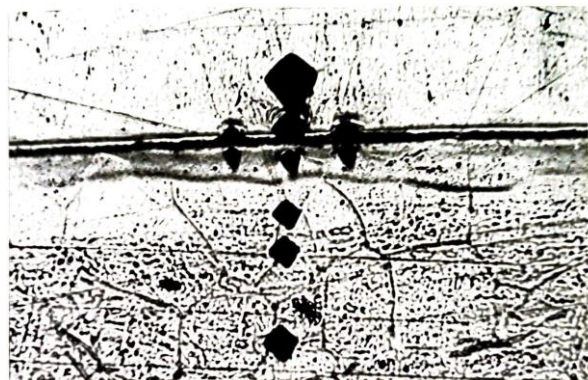


Рис. 1. Вимірювання мікротвердості у поперечному прерізі мікрошліфа, $\times 500$

Мікроструктура дифузійної зони з'єднання платина-титан представлена на рис 2.



Рис. 2. Мікроструктура дифузійної зони з'єднання платина-титан, x500

Особливості будови дифузійної зони вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа JSM-35. Визначення фазового складу дифузійної зони проводили за допомогою рентгенофазового аналізу на дифрактометрі ДРОН-1.5. Розрахунок ліній рентгенограм дозволив отримати точні дані особливостей фазового складу дифузійної зони. Вона складається з інтерметалідів Ti_3Pt , $TiPt$, $TiPt_3$ та їх суміші з твердими розчинами.

Висновки

Запропоновано технологію біметалевого з'єднання платини і титану - дифузійне зварювання у вакуумі. Для прикладання рівномірного тиску по всій площі контакту розроблено спеціальні пристрої. Розроблено методику досліджень дифузійної зони: металографічний, рентгеноструктурний аналізи. На основі наведеної схеми досліджень були зроблені наступні висновки:

1. Вимірювання мікротвердості свідчить про наявність трьох дифузійних прошарків.
2. За даними мікротвердості встановлено загальну ширину дифузійної зони 460 мкм та ширину слою інтерметалідів – 80 мкм, а також наявність прошарків твердих розчинів.
3. Визначення фазового складу зварної зони на дифрактометрі ДРОН-1.5 дозволило ідентифікувати

наявність інтерметалідів Ti_3Pt , $TiPt$, $TiPt_3$, а також їх суміші з твердими розчинами.

Дані, отримані за допомогою наведених методів дослідження, дозволяють встановити особливості формування дифузійної зони з'єднання платина-титан.

Література

1. Люшинский, А. В. Диффузионная сварка разнородных металлов [Текст] / А. В. Люшинский. – М. : Академия, 2006. – 208 с.
2. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов [Текст] / Н. Ф. Казаков. – М. : Машиностроение, 1976. – 312 с.
3. Фирстов, С. А. Уравнение индентирования [Текст] / С. А. Фирстов // Доп. Нац. Академії наук України. – 2007. – № 12. – С. 100–106.
4. Гуревич, С. М. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов [Текст] / С. М. Гуревич, В. Н. Замков. – К. : Наук. думка, 2017. – 300 с.
5. Пешиков, В. В. Диффузионная сварки титановых слоистых конструкций аэрокосмической техники [Текст] / В. В. Пешиков, А. Б. Булков. – Воронеж : ФГБОУ ВПО, 2016. – 312 с.
6. Какзаков, Н. Ф. Диффузионная сварка за рубежом [Текст] / Н. Ф. Казаков, А. Г. Браун // Автоматическая сварка. – 1984. – № 11. – С. 50-54.

References

1. Lyushinsky, A.V. Diffuzionnaja svarka raznorodnyh metallov [Diffusion welding of dissimilar metals]. Moscow, Academy, 2006. 208 p.
2. Kazakov, N. F. Diffuzionnaja svarka materialov [Diffusion welding of materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 312p.
3. Firstov, S. A. Uravnenie indentirovanija [Indentation equation]. Add. National Academy of Sciences of Ukraine, 2007, no. 12, pp. 100-106.
4. Gurevich, S. M., Castles, V. N. Metallurgija i tehnologija svarki titana i ego splavov [Metallurgy and welding technology of titanium and its alloys]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 2017. 300 p.
5. Peshkov, V. V., Bulkov, A. B. Difuzionnaja svarki titanovyh sloistyh konstrukcij ajerokosmicheskoy tehniki [Diffusion welding of titanium layered structures of aerospace engineering]. Voronezh, FGBOU VPO, 2016. 312 p.
6. Kakzakov, N. F., Brown, A. G. Difuzionnaja svarka za rubezhom [Diffusion welding abroad]. Automatic welding, 1984, no. 11, pp. 50-54.

PECULIARITIES OF THE DIFFUSION ZONE FORMATION OF THE PLATINUM-TITANIUM COMPOUND

*Anatoliy Sanin, Igor Mamchur, Yevhen Dzhur,
Stella Mamchur, Tetyana Nosova*

This paper considers the possibility of obtaining a high-quality titanium-platinum compound. Difficulties in joining dissimilar metals lie in the fact that during their interaction, brittle intermetallic compounds are formed, which cause the destruction of the product during the operation. Hard-phase welding methods are used to control the thicknesses and dimensions of intermetallic inclusions. Vacuum diffusion welding was chosen as the technology. To determine the formation of phases in the diffuse zone, the phase diagram of Ti-Pt was analyzed. The possible types of interactions between the components were determined. It is determined that the formation of a welded joint occurs due to the formation and growth of a diffusion zone in platinum and titanium. During welding, the growth of intermetallic phases Ti₃Pt, TiPt, TiPt₃, as well as solid solution zones, is observed. Microsections were made, on which the microstructure of the platinum-titanium compound was studied and microhardness measurements were carried out. The total width of the transitional diffusion layer is determined. The studies carried out made it possible to establish the sequence of the phase components of the diffusion zone. The use of the DRON 1.5 diffractometer made it possible to identify the phases. X-ray diffraction maxima and calculation of line identification established the presence of intermetallic compounds and their mixtures with solid solutions. The following methods were used in the work: microstructural analysis, microhardness measurement, the determination of the phase composition. A special technique was used to obtain high-quality microsections. During long-term grinding in the diffusion zone, a degree is formed due to the different properties of titanium and platinum. The phase composition of the platinum-titanium compound and the extent of each zone were established. The experiments carried out indicate that pressure, temperature and exposure time affect the quality of the joint. By changing these welding parameters, it is possible to change the microstructure of the diffusion zone. To determine the mechanical properties, a tear test was performed. For this, special three-metal samples were made. Determination of the mechanical properties made it possible to establish by what parameters the platinum-titanium compound meets the requirements of operation.

Keywords: diffractometer; microsection; microhardness diffuse zone; intermetallic compound; titanium; platinum; welded joint.

Санін Анатолій Федорович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технології виробництва, Дніпровський Національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна.

Мамчур Ігор Олександрович – асп. каф. технології виробництва, Дніпровський Національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна.

Джур Євген Олексійович – д-р техн. наук, проф. каф. технології виробництва, Дніпровський Національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна.

Мамчур Стелла Ігорівна – канд. техн. наук, доц. каф. технології виробництва, Дніпровський Національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна.

Носова Тетяна Валеріївна – канд. техн. наук, доц. каф. технології виробництва, Дніпровський Національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна.

Anatoliy Sanin - Doctor of Technical Sciences, Prof., Head Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: Afedsa60@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5614-3882.

Igor Mamchur - PhD student of Production Technology Department, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: mamchurmoney@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9957-5685.

Yevhen Dzhur - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: material.ftf@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9026-0134.

Stella Mamchur - PhD, Associate Professor of Production Technology Department, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: 1964stella1965@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8146-8849.

Tetjana Nosova – Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Production Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: amaretanya0512@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0855-568X.