



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93607 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
B23K 20/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ

1

(21) а200907966

(22) 28.07.2009

(24) 25.02.2011

(46) 25.02.2011, Бюл. № 4, 2011 р.

(72) КОВАЛЬ МИКОЛАЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ІВАНОВ
ЮРІЙ ФЕДОРОВИЧ, КВАСНИЦЬКИЙ ВІКТОР ВЯ-
ЧЕСЛАВОВИЧ, КВАСНИЦЬКИЙ ВЯЧЕСЛАВ ФЕ-
ДОРОВИЧ, МАРКАШОВА ЛЮДМИЛА ІВАНІВНА,
МАТВІЄНКО МАКСИМ ВАЛЕНТИНОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕ-
БУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

(56) RU 2135337 C1; 27.08.1999

RU 2205732 C1; 10.06.2010

SU 1260145 A1; 30.09.1986

RU 2164462 C2; 27.03.2001

RU 2243872 C1; 10.01.2005

UA 8703 C2; 10.06.2009

2

GB 949979 A; 19.02.1964

US 3145466; 25.08.1964

JP 57175090 A; 27.10.1982

Диффузионная сварка материалов. Справочник.
Под ред. Казакова Н.Ф. – М.: Машиностроение,
1981. – С.176-177.

(57) 1. Спосіб дифузійного зварювання металів,
що включає в себе нагрів з'єднуваних деталей до
температури зварювання, їх стиснення і витримку
при заданих умовах, який **відрізняється** тим, що
з'єднані поверхні попередньо обробляють висо-
кострумовим імпульсним електронним пучком.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що
щільність потужності електронного пучка вибира-
ють з урахуванням властивостей з'єднуваних ма-
теріалів та бажаної глибини модифікування.

Винахід відноситься до галузі зварювання ма-
теріалів, зокрема до технології виготовлення кон-
струкцій з нероз'ємними з'єднаннями тиском, а саме
дифузійним зварюванням металів, і може знайти
застосування в машинобудівній, авіакосмічній,
приладобудівній галузях тощо.

Відомо про спосіб підготовки заготовок для
дифузійного зварювання різнорідних металів, при
якому контактуючі поверхні, на яких зроблені ви-
ступи та западини, що чергуються, встановлені з
кутовим зміщенням вершин виступів відносно один
одного. (Патент РФ № 2243872. Заготовка для
диффузионной сварки разнородных металлов,
В.П. Гордо, В. Н. Елкин, МПК B23K20/14, опубл.
10.01. 2005 Бюл. №1). Вказаний спосіб не забез-
печує високу якість зварювання по всій поверхні
внаслідок складності забезпечення рівномірності
пластичної деформації.

Відомо про спосіб дифузійного зварювання,
при якому у процесі підготовки деталей, що зва-
рюються, на поверхні однієї з деталей, що з'єдну-
ються, створюють стискаючі однорідні внутрішні
напруження, а на поверхні іншої деталі, що з'єдну-
ється, створюють однакові розтягуючі внутрішні
напруження (А.с. СССР № 1260145. Спосіб свар-
ки разнородных материалов, П. К. Янышев, МПК

B23K20/14, опубл. 30.09. 1986 Бюл. №36). В цьому
способі дифузійного зварювання внаслідок ускла-
днення процесу механічної підготовки поверхонь,
що з'єднуються, не забезпечується гарантована
висока якість зварювання по всій поверхні.

Найбільш близьким за технічною сутністю є
спосіб дифузійного зварювання виробів, що мають
полку та стінку, при якому на одній із з'єднуваних
поверхонь роблять зону вільної деформації у ви-
гляді макровиступів, а на іншій роблять виступ,
нагрівають елементи, що з'єднуються, електрон-
ним променем малої потужності, здійснюють дода-
тковий нагрів виступу до температури зварювання,
підвищуючи потужність електронного променя,
додають стискувальне зусилля, при якому макро-
виступи вдавлюються на 1,0-1,5 їх висоти у виступ,
знижують стискувальне зусилля і здійснюють ізо-
термічну витримку (Патент РФ №2164462. Спосіб
диффузионной сварки двух элементов, И. И. Сто-
ляров, В. А. Рогожин, МПК B23K20/14, опубл.
27.03. 2001). Вказаний спосіб не забезпечує висо-
ку якість зварювання внаслідок складності забез-
печення необхідного рівня стискувального зусилля
по всій з'єднуваній поверхні, призводить до знач-
них зварювальних деформацій, ускладнено про-
цес механічної підготовки поверхонь, що з'єдну-

(19) UA (11) 93607 (13) C2

ються, має вузьке коло можливого використання способу.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу дифузійного зварювання матеріалів, у якому нова сукупність дій дозволила забезпечити високу якість зварювання за рахунок підготовки поверхні на рівні полірування, утворення нано- та субмікрокристалізаційної структури у зоні з'єднання та інтенсифікації термодетонаційних процесів.

Вирішується задача тим, що у способі дифузійного зварювання металів, який включає в себе нагрів з'єднуваних деталей до температури зварювання, їх стиснення і витримку при заданих умовах зварювання, згідно з пропозицією попередньо з'єднані поверхні обробляють високострумним імпульсним електронним пучком.

Електронний пучок має щільність енергії від 10 Дж/см^2 до 35 Дж/см^2 та тривалість імпульсу від 50 мкс до 150 мкс залежно від властивостей з'єднуваних матеріалів та від бажаної глибини модифікування. При обробці поверхні електронним пучком за рахунок гальмування в приповерхневому шарі високошвидкісних електронів, що мають високу кінетичну енергію, інтенсивний розігрів тонкого поверхневого шару (аж до температури плавлення і кипіння) за рахунок перетворення більшої частки кінетичної енергії електронів в теплову. Внаслідок надвисоких швидкостей нагрівання та охолодження відбувається подрібнення зерен матеріалу приповерхневого шару з утворенням субмікрокристалічної нерівноважної структури з високою щільністю дефектів, насамперед дислокацій, та збільшення сумарної площі границь зерен. Глибину модифікованого шару, що напряму залежить від стану початкової поверхні і режимів обробки, можливо змінювати від декількох мікрметрів до 20 мкм. Внаслідок опромінення поверхні висококоцентрованим імпульсним електронним пучком в поверхневих шарах формується напружений стан та нерівноважна нано- і субмікрокристалічна структура, що сприяє інтенсифікації розвитку пластичних деформацій та інтенсифікації дифузійного зварювання, що в свою чергу сприяє підвищенню якості зварного з'єднання.

Для пояснення суті способу наведені такі малюнки:

Фігура 1 - вигляд поверхні армо-заліза після обробки високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 100$);

Фігура 2 - косий шліф мікроструктури поверхневого шару армо-заліза після обробки поверхонь високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 320$);

Фігура 3 - вигляд поверхні сталі 12X18H10T після обробки високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 100$);

Фігура 4 - мікроструктура зварного з'єднання армо-заліза і сталі 12X18H10T після обробки обох поверхонь високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 400$);

Фігура 5 - мікроструктура зварного з'єднання армо-заліза і сталі 12X18H10T, виготовленого за технологією аналогу ($\times 400$);

Фігура 6 - вигляд поверхні сплаву ЧС-88 після

обробки високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 250$);

Фігура 7 - мікроструктура зварного з'єднання сплаву ЧС-88 після обробки обох поверхонь високострумним імпульсним електронним пучком ($\times 400$);

Фігура 8 - мікроструктура зварного з'єднання сплаву ЧС-88, виготовленого за технологією аналогу ($\times 400$);

Здійснення способу дифузійного зварювання показано на наступних прикладах.

Приклад перший.

Проводили дифузійне зварювання деталі, виготовленої з армо-заліза і деталі зі сталі 12X18H10T. Поверхні з'єднуваних матеріалів після обробки на токарному верстаті обробляли високострумним імпульсним електронним пучком за режимами: $E_s=20 \text{ Дж/см}^2$, $\tau=100 \text{ мкс}$, кількість імпульсів $n=5$. Це забезпечило чистоту поверхні не гіршу ніж полірування ($R_z=0,3 \text{ мкм}$) та субмікрокристалічну структуру. Вигляд обробленої поверхні армо-заліза показано на Фіг.1, а косий шліф мікроструктури поверхневого шару армо-заліза на Фіг.2. Вигляд обробленої поверхні сталі 12X18H10T показано на Фіг.3. Деталі встановлювали в зварювальну камеру установки дифузійного зварювання і після досягнення вакууму 10^{-2} Па нагрівали до температури $T_1=1050 \text{ }^\circ\text{C}$ і стискували постійним зусиллям, яке забезпечує тиск $P_{зв}=15,0 \text{ МПа}$. При даній температурі витримували деталі протягом 720 с, після чого охолоджували у вакуумній камері. Механічні випробування зварних з'єднань показали стабільні результати по міцності (не менші міцності армо-заліза). Границя міцності при розтягуванні складала не менше $\sigma_B=390 \text{ МПа}$. Руйнування відбувалося по армо-залізу. Вивчення мікроструктури (Фіг.4) показало, що в зоні з'єднання утворюються загальні зерна. Це говорить про високу якість з'єднання. Для порівняння здійснювали зварювання за схемою прототипу при наступних параметрах: температура $T=1050 \text{ }^\circ\text{C}$, стискувальне зусилля, що забезпечує тиск $P_{зв}=15-20,0 \text{ МПа}$, час зварювання $t=720-900 \text{ с}$. Механічні випробування зварних з'єднань показали, що границя міцності при розтягуванні складала $\sigma_B=230-310 \text{ МПа}$. Руйнування відбувалося по зварному шву. Вивчення мікроструктури (Фіг.5) показало, що по стику проходить чітко орієнтована межа, по якій і відбувається руйнування. Зіставлення об'ємних доль загальних зерен на межі розділу в з'єднанні оброблених поверхонь високострумним імпульсним електронним пучком збільшується більш ніж на півтора порядки в порівнянні із з'єднанням полірованих поверхонь.

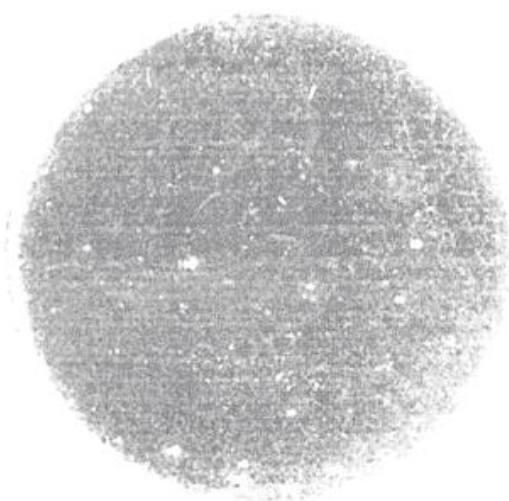
Приклад другий.

Проводили дифузійне зварювання деталі, виготовленої зі сплаву ЧС-88. З'єднані поверхні обробляли високострумним імпульсним електронним пучком за режимом $E_s=25 \text{ Дж/см}^2$, $\tau=100 \text{ мкс}$, кількість імпульсів $n=5$. Вигляд обробленої поверхні ЧС-88 показано на Фіг.6. Деталі встановлювали в зварювальну камеру установки дифузійного зварювання і після досягнення вакууму 10^{-2} Па нагрівали до температури $T_1=1150 \text{ }^\circ\text{C}$ і стискували постійним зусиллям, яке забезпечує тиск

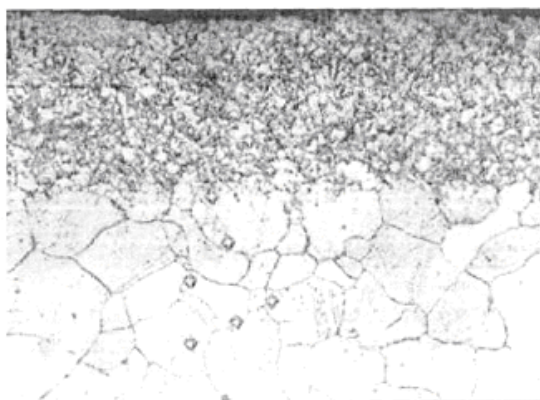
$P_{зв}=25,0$ МПа. При даній температурі витримували деталі протягом 720 с, після чого охолоджували у вакуумній камері. Механічні випробування зварних з'єднань показали стабільні результати по міцності. Границя міцності при розтягуванні була на рівні основного металу ($\sigma_B=820-880$ МПа). Вивчення мікроструктури (Фіг.7) показало високу якість з'єднання, оскільки в зоні стику відбувається рекристалізація з утворенням спільних зерен. Для порівняння здійснювали зварювання за схемою прототипу при наступних параметрах: температура $T=1150$ °С, стискувальне зусилля, що забезпечує тиск $P_{зв}=25,0$ МПа, час зварювання $t=720$ с. Механічні випробування зварних з'єднань показали, що границя міцності при розтягуванні склала

$\sigma_B=670-700$ МПа. Руйнування відбувалося по стику. Вивчення мікроструктури (Фіг.8) показало чітко орієнтовану межу зерен по стику, що і призводить до руйнування з'єднання по стику.

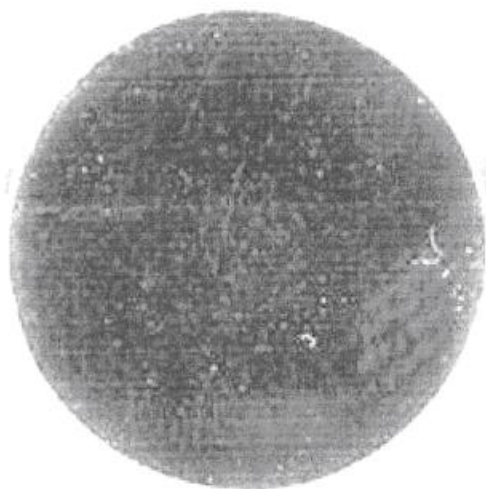
Використання винаходу в порівнянні з відомим способом дозволяє підвищити якість з'єднань за рахунок інтенсифікації процесу дифузійного зварювання, забезпечення міцності зварного з'єднання на рівні основного або менш міцного металу, зниження величини зварювальних деформацій шляхом зосередження деформацій в зоні контакту. При цьому відсутня необхідність у застосуванні додаткового устаткування у процесі зварювання, а також можливо з'єднувати деталі різноманітної форми.



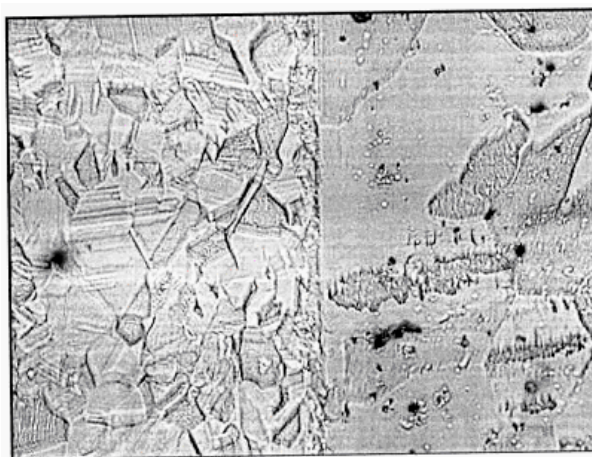
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

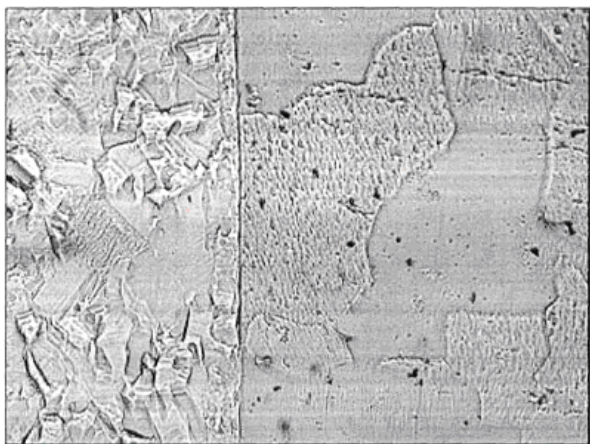


Fig. 5

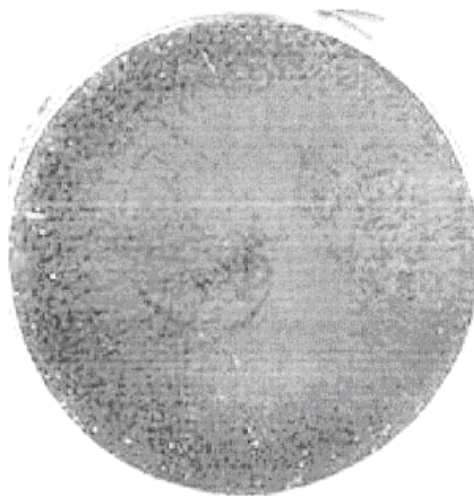


Fig. 6

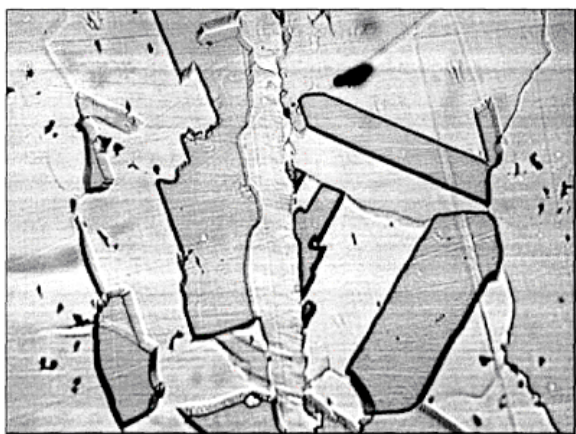


Fig. 7



Fig. 8