



УКРАЇНА

(19) UA (11) 64794 (13) U

(51) МПК

B23K 11/02 (2006.01)

B23K 20/02 (2006.01)

B23K 20/12 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

1

2

(21) u201102193

(22) 24.02.2011

(24) 25.11.2011

(46) 25.11.2011, Бюл. № 22, 2011 р.

(72) КУЧУК-ЯЦЕНКО СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, ЗЯХОР
ІГОР ВАСИЛЬОВИЧ, КУЧУК-ЯЦЕНКО ВІКТОР
СЕРГІЙОВИЧ(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ.
Є.О.ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ(57) Спосіб зварювання тиском металевих матеріалів через прошарок, який утворюють мікрошарами, що чергуються, одна частина яких складається з найбільш легкоплавкого компонента заготовок, що з'єднуються, виконують стиснення і нагрівання зони контакту заготовок, який **відрізняється** тим,

що для з'єднання першої заготовки з дисперсійно-зміцненого ливарного нікелевого сплаву, у структурі якого присутня евтектична зміцнююча фаза, з другою заготовкою з дисперсійнозміцненого деформованого нікелевого сплаву, зовнішні і всі парні мікрошари прошарку створюють із сплаву, що за хімічним складом відповідає складу евтектичної зміцнюючої фази першої заготовки, склад парних мікрошарів і співвідношення товщини зазначених мікрошарів встановлюють так, щоб склад прошарку в цілому відповідав складу першої заготовки, процес нагрівання області з'єднання заготовок ведуть до температури плавлення евтектичної зміцнюючої фази першої заготовки з наступним припиненням нагрівання і підвищенням зусилля стиснення або без нього.

Корисна модель належить до галузі машинобудування, яка стосується виробництва газотурбінних двигунів, зокрема виготовлення зварних компонентів авіаційних та ракетних газотурбінних двигунів.

В умовах невідомого зростання рівня науково-технічного прогресу важливого значення набуває розробка та удосконалення ресурсозберігаючих технологій у всіх галузях народного господарства. Однією з найактуальніших задач, які стоять перед підприємствами енергетичного та авіаційного двигунобудування, є виготовлення зварних компонентів газотурбінних двигунів (ГТД).

Забезпечення заданих характеристик відповідальних деталей ГТД авіаційного призначення досягається при використанні у їх конструкції дисперсійно-зміцнених сплавів на нікелевій основі. Підвищення експлуатаційних характеристик ГТД вимагає збільшення жароміцності сплавів, а також розробки методів зварювання конструкцій, виготовлених із цих сплавів. Для виготовлення дисків і лопаток турбін використовують складнолеговані дисперсійнозміцнені сплави на основі нікелю - деформовані та ливарні. Важливою вимогою до сучасних сплавів є їх технологічність, зокрема можливість одержання якісних зварних з'єднань у

однорідному і різномірному сполученні. Надзвичайно актуальною проблемою сучасного авіаційного двигунобудування є розробка високоефективної технології зварювання деформованих (дискових) сплавів з високолегованими ливарними (лопаточними) сплавами стосовно до виготовлення зварних "блісків", тобто дисків з привареними лопатками (без використання механічних кріплень). Зварюванням плавленням не вдається отримати якісні зварні з'єднання через утворення тріщин у шві та зоні термічного впливу.

Для вирішення задачі з'єднання високолегованих жароміцних нікелевих сплавів найбільш перспективними є способи зварювання тиском, зокрема контактне зварювання (КЗ) і зварювання тертям (ЗТ) у різних технологічних модифікаціях. При КЗ опалюванням лопаток із ливарного нікелевого сплаву з диском із деформованого нікелевого сплаву складно одержати зварні стики без дефектів, внаслідок розплавлення матеріалів у макрооб'ємах і утворення тріщин з боку ливарного сплаву у зоні шва і навколошовній зоні.

При КЗ опором і ЗТ жароміцних нікелевих сплавів у різномірному сполученні основна проблема пов'язана з надзвичайно низькою пластичністю цих сплавів, особливо ливарних сплавів,

(19) UA (11) 64794 (13) U

внаслідок чого не вдається забезпечити достатню пластичну деформацію приконттактних об'ємів металу для утворення якісних з'єднань.

Одним із напрямків удосконалення технологій зварювання тиском сплавів, що традиційно вважаються такими, що не зварюються або важко зварюються, є використання матеріалів з наноструктурою як прошарків та активаторів для одержання зварних з'єднань.

При зварюванні тиском для формування якісного з'єднання необхідно забезпечити певну величину деформації однієї або обох заготовок, що супроводжується витисненням оксидів і адсорбованих плівок за межі перетину заготовок. Температурний інтервал деформування (ТІД) сплаву залежить від його хімічного складу й визначається температурою $T_p \gamma'$ - повного розчинення зміцнюючої γ' -фази з одного боку, і температурою початку плавлення $T_{\text{солідус}}$ з іншого. Зі збільшенням об'ємної частки γ' -фази в сплаві ТІД звужується - температура початку плавлення сплаву знижується, а температура повного розчинення γ' -фази підвищується. Високолеговані ливарні сплави вважаються такими, що практично не деформуються, тому надзвичайно багатообіцяючим є використання як активатора процесу зварювання тиском проміжного прошарку у наноструктурному стані.

Відомі способи зварювання тиском, які спрямовані на вирішення поставленої проблеми.

У патенті US №4700881 (МПК В23К 35/00;35/30;35/00, опубл. 1987.10.20) запропоновано спосіб дифузійного зварювання у вакуумі жароміцних нікелевих сплавів через прошарок, що складається з шарів фольги того ж хімічного складу, що й матеріал з'єднуваних деталей, поверхня яких збагачена бором. Нагрівання зони з'єднання до температури, при якій відбувається плавлення збагачених бором ділянок фольги і наступна його витримка при цій температурі приводить до формування з'єднання, вільного від пор. Недоліком такого методу є тривалий час витримки при заданій температурі, яка є необхідною для забезпечення дифузійного перерозподілу бору із зони з'єднання в основний метал. Як наслідок цього процесу зона з'єднання збагачується бором, що може призвести до зниження міцності з'єднання.

Відомий спосіб дифузійного з'єднання металевих деталей через прошарок шляхом підбору складових елементів прошарку за умови, що елементи здатні формувати евтектичний сплав, до складу якого входить інтерметалева сполука, а температура плавлення нижча за температуру плавлення матеріалу, що з'єднується, та оптимізації умов проведення технологічного процесу зварювання [Патент UA №87053 МПК В23К 14/00 опубл. в Бюл. №11,2009.06.10]. Зокрема, завдяки підбору температури нагрівання зони з'єднання при постійно діючих стискаючих зусиллях, необхідних для пластичної деформації матеріалу прошарку відбувається інтенсифікація локального розігріву матеріалу прошарку, перехід його в надпластичний стан внаслідок утворення в прошарку гетерофазної структури, яка складається з шарів пересиченого твердого розчину, який утворився

внаслідок розчинення дисперсних інтерметалідних включень, і шарів евтектичної зміцнюючої фази. Однак, запропонована у відомому способі температура нагрівання зони з'єднання (не менш, ніж на 10 градусів менше за температуру евтектичного сплаву, що утворюється при дифузійному перемішуванні елементів прошарку) не забезпечує переходу прошарку або окремих шарів прошарку у рідкий стан, що не сприяє активації контактних поверхонь деталей і процесу формування з'єднань. У даному випадку протікання процесу хімічної взаємодії між з'єднуваними поверхнями, дифузія елементів прошарку в основний матеріал, диспергування і витиснення за межі зони контакту оксидних плівок і перетворення її в зону об'ємної взаємодії можливе тільки за умови значного часу процесу зварювання, який повинен становити десятки хвилин. Для більшості способів зварювання тиском з більш інтенсивним силовим впливом і меншим часом циклу зварювання (від 1 с до 30 с), зокрема зварювання тертям, контактного стикового зварювання опором та ін., реалізація даного способу не забезпечує отримання якісних з'єднань.

За прототип запропонованої корисної моделі прийнятий спосіб дифузійного з'єднання металевих деталей через прошарок, що включає створення між з'єднуваними поверхнями прошарку із шаруватого матеріалу, який складається з металевих шарів чистих різномірних елементів або сплавів на їх основі, з'єднання деталей у збірку, стиснення, нагрівання і витримку у вакуумі при заданій температурі протягом певного часу патент UA №23980, [МПК В23К 14/00, опубл. в Бюл. №4,2002.04.15]. У даному способі прошарок створюють із шаруватого матеріалу, утвореного численними мікрочарами, що чергуються, одна частина яких складається з найбільш легкоплавкого елемента, що входить до складу матеріалу з'єднуваних деталей, а інша частина включає всі інші елементи, що входять до складу з'єднуваних деталей, а співвідношення товщини зазначених мікрочарів вибирають так, щоб склад прошарку в цілому відповідав складу з'єднуваних деталей. При цьому нагрівання з'єднання здійснюють до температури, близької до температури плавлення шарів з найбільш легкоплавкого компонента, а витримку - при температурі, тиску й часі, які забезпечують утворення між з'єднуваними деталями твердої однорідної зони з'єднання, хімічний склад якої відповідає хімічному складу з'єднуваних деталей. З опису даного способу випливає, що в результаті цього процесу прошарку з мікрочаруватого матеріалу забезпечують формування зони з'єднання, що по хімічному складу відповідає складу матеріалу деталей, що з'єднуються.

Способу, прийнятому за прототип, притаманний ряд недоліків. По-перше, утворення між з'єднуваними деталями твердої однорідної зони з'єднання, хімічний склад якої відповідає хімічному складу з'єднуваних деталей можливе тільки за умови значного часу процесу зварювання, що є характерним для тільки для дифузійного зварювання у вакуумі. Для інших способів зварювання тиском з меншим часом циклу зварювання, зокре-

ма зварювання тертям, контактного стикового зварювання опором, реалізація даного способу не забезпечує отримання якісних з'єднань. По-друге, при зварюванні різномірних матеріалів, наприклад жароміцних нікелевих сплавів різних систем легування, неможливо визначити склад і співвідношення товщини мікрошарів проміжного прошарку, для того, щоб склад прошарку в цілому відповідав складу з'єднуваних деталей. По-третє, у даному способі не визначається, яким є склад зовнішніх мікрошарів прошарку - таким, що відповідає складу найбільш легкоплавкого елемента, що входить до складу матеріалу з'єднуваних деталей, чи складу, що включає всі інші елементи, що входять до складу з'єднуваних деталей. А саме це фактор має суттєвий вплив на активацію з'єднуваних поверхонь і утворення з'єднання. По-четверте, при нагріванні зони контакту до температури, близької до температури плавлення шарів з найбільш легкоплавкого компонента, що не дозволяє досягти твердо-рідкого стану матеріалу прошарку і в повній мірі реалізувати переваги запропонованого способу, тобто забезпечити інтенсифікацію процесів активації контактних поверхонь деталей, утворення зони об'ємної взаємодії і формування з'єднань.

В основу запропонованої корисної моделі поставлена задача розширення функціональних можливостей способу зварювання тиском металевих матеріалів через прошарок при з'єднанні матеріалів у різномірному сполученні, зокрема заготовок з дисперсійнозміцненого ливарного нікелевого сплаву і деформованого нікелевого сплаву, шляхом підбору складу та черговості мікрошарів прошарку, встановлення температури нагрівання області з'єднання заготовок до значення, при якому забезпечується реалізація процесів активації контактних поверхонь деталей, утворення зони об'ємної взаємодії і формування якісних з'єднань, механічні характеристики яких відповідають таким для більш жароміцного ливарного нікелевого сплаву.

Поставлена задача досягається тим, що в способі зварювання тиском металевих матеріалів через прошарок, який утворюють мікрошарами, що чергуються, одна частина яких складається з найбільш легкоплавкого компонента заготовок, що з'єднуються, виконують стиснення і нагрівання зони контакту заготовок, згідно з запропонованою корисною моделлю для з'єднання першої заготовки з дисперсійнозміцненого ливарного нікелевого сплаву, у структурі якого присутня евтектична зміцнююча фаза, з другою заготовкою з дисперсійнозміцненого деформованого нікелевого сплаву, зовнішні і всі непарні мікрошари прошарку створюють із сплаву, що за хімічним складом відповідає складу евтектичної зміцнюючої фази першої заготовки, склад парних мікрошарів і співвідношення товщини зазначених мікрошарів встановлюють так, щоб склад прошарку в цілому відповідав складу першої заготовки, процес нагрівання області з'єднання заготовок ведуть до температури плавлення евтектичної зміцнюючої фази першої заготовки з наступним припиненням нагрівання і підвищенням зусилля стиснення або без нього.

Вказаний вище технічний результат, який досягається в процесі реалізації запропонованого способу, обумовлений ознаками, які відрізняють його від ознак подібних технологій, описаних згідно відомого рівня техніки, зокрема, зазначених у способі, прийнятому за прототип.

Дане технічне рішення забезпечує одержання з'єднань із високим поєднанням механічних характеристик завдяки запобіганню процесів деградації механічних властивостей з'єднуваних матеріалів через їх повільне нагрівання і тривалу витримку при підвищених температурах (як це має місце у відомому технічному рішенні), а також завдяки утворенню у результаті процесу зварювання зони з'єднання, склад якої в цілому відповідає складу першої заготовки, що забезпечує виділення зміцнюючих фаз у зоні з'єднання у процесі охолодження зварної конструкції від температури зварювання до температури навколишнього середовища і відповідність показників механічних властивостей з'єднання значенням для основного металу першої заготовки, яка має більш високі показники жароміцності.

Досягнення таких характеристик є можливим перш за все завдяки тому, що у запропонованому способі зварювання тиском якісний склад зовнішніх мікрошарів прошарку, співвідношення товщини всіх мікрошарів прошарку, температурний режим нагрівання встановлюють таким чином, що у процесі зварювання забезпечується реалізація процесів активації контактних поверхонь деталей за рахунок утворення рідкої фази у зоні контакту прошарку із з'єднуваними матеріалами, а завдяки утворенню рідкої фази у всіх непарних мікрошарах прошарку, на який діють зусилля стиснення заготовок, забезпечується інтенсифікація деформації зсуву у прошарку і приконттактних об'ємах з'єднуваних заготовок, диспергування і витіснення за межі зони контакту оксидних плівок, утворення зони об'ємної взаємодії і формування якісних з'єднань, механічні характеристики яких відповідають таким для більш жароміцного ливарного нікелевого сплаву.

У даному випадку протікання процесу хімічної взаємодії між з'єднуваними поверхнями, взаємна дифузія елементів прошарку і їх дифузія в основний матеріал, диспергування, відновлення оксидних плівок, часткове витіснення за межі зони контакту матеріалу прошарку і продуктів хімічної взаємодії відбувається практично миттєво, що забезпечує можливість формування з'єднань при способах зварювання тиском, які характеризуються локальним нагріванням зони контакту, порівняно високим зусиллям стиснення і незначним часом зварювання, а саме - зварювання тертям і контактне зварювання опором.

Технічну суть корисної моделі пояснюють наведені креслення і фотографії, де

Фіг. 1 представляє схему процесу утворення нероз'ємного з'єднання заготовок за допомогою прошарку в процесі нагрівання зони з'єднання в умовах стискуючих зусиль: а - зварювання тертям, б - контактне стикове зварювання опором, 1,2 - заготовки, що зварюються, 3 - прошарок, Р - зусилля стиснення;

Фіг. 2 зображує мікроструктуру жароміцного ливарного нікелевого сплаву ВЖЛ12У, де а - оптична, х100, б - растрова електронна мікроскопія;

Фіг. 3 зображує приклад мікроструктури поперечного перерізу прошарку з наночароватою мікроструктурою, отриманого пошаровим осадженням мікрошарів згідно з запропонованою корисною моделлю;

Фіг. 4 зображує зварені зразки з привареними термопарами, за допомогою яких контролювали процес нагрівання зони з'єднання до заданої температури.

Фіг. 5 зображує мікроструктуру зони з'єднання ливарного нікелевого сплаву ВЖЛ12У з деформованим нікелевим сплавом ХН73МБТЮ, одержано-

го зварюванням тертям з використанням прошарку у вигляді фольги.

Фіг. 6 зображує зразок зварного етикетки після випробувань на розрив, з якого видно, що руйнування мало місце за межами зони з'єднання.

Вищеописаний спосіб може бути краще зрозуміло з нижченаведеного прикладу.

Приклад

Виконували зварювання тертям (фіг. 1,а) заготовки 1 із ливарного нікелевого сплаву ВЖЛ12У із заготовкою 2 з деформованого нікелевого сплаву ХН73МБТЮ через прошарок 3. Для визначення складу мікрошарів прошарку дослідили склад структурних складових ливарного сплаву ВЖЛ12У (фіг. 2). Хімічний склад структурних елементів сплаву ВЖЛ12У представлено у таблиці.

Таблиця

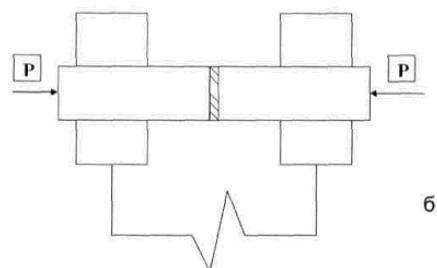
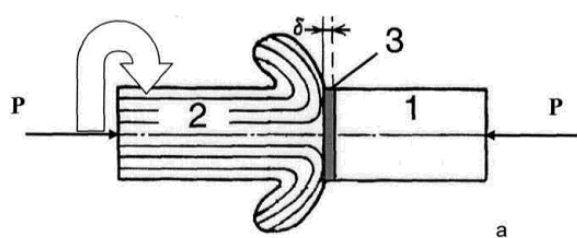
Елемент	Al	Ti	Nb	V	Cr	Co	Ni	Mo	W	Fe
Spectrum 1	5.32	4.52	0.82	0.71	8.74	13.02	61.87	3.74	1.27	0.00
Spectrum 2	5.39	3.82	0.00	0.79	8.96	14.64	61.98	2.26	1.88	0.28
Spectrum 3	6.24	7.61	0.83	0.45	5.40	11.14	65.97	1.65	0.50	0.22
Spectrum 4	0.00	42.55	16.80	2.23	2.45	3.49	15.37	7.75	8.83	0.53
Spectrum 5	0.96	32.20	19.27	1.48	2.71	3.65	21.31	11.89	6.52	0.00
Spectrum 6	0.46	37.63	23.38	1.67	1.85	1.78	10.14	12.73	9.70	0.66
Spectrum 7	5.54	4.06	0.71	0.83	8.75	13.58	61.83	3.25	1.46	0.00

Як видно з фіг. 2, особливість структури сплаву ВЖЛ12У полягає у тому, що поряд зі звичайними для нікелевих сплавів високодисперсними виділеннями γ' -фази на основі інтерметаліда $\text{Ni}_3(\text{AlTi})$ і карбідів типу MC, у структурі присутні великі включення евтектичної γ' -фази (спектр 3 на фіг. 2 і таблиці 1), утворені безпосередньо з розплаву при його кристалізації. Ці світлі включення збагачені γ' -утворюючими елементами (таблиця).

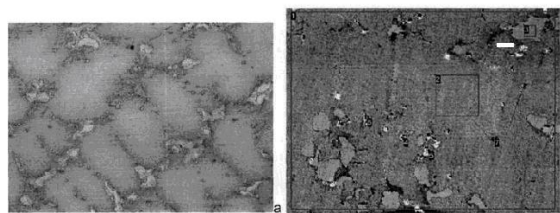
На основі аналізу фазового складу структурних складових ливарного сплаву ВЖЛ12У визначали хімічний склад проміжного прошарку для використання при зварюванні тиском. Хімічний склад прошарку встановлювали, виходячи з можливості формування твердо-фазного з'єднання з частковим утворенням евтектики за рахунок матеріалу прошарку. Технологія отримання прошарків з наноструктурою ґрунтується на пошаровому осадженні певних хімічних елементів із парової фази, отриманої електронно-променевим випаровуванням. Товщину фольги задавали, виходячи із необхідності забезпечення достатнього фізичного контакту із зварюваним металом і утворення певного об'єму рідкої фази при зварюванні. При виготовленні прошарку 3 (фіг. 1) склад зовнішніх і всіх непарних мікрошарів прошарку створювали із сплаву, що за хімічним складом відповідає складу евтектичної зміцнюючої фази сплаву ВЖЛ12У

(спектр 3 на фіг. 2). Склад всіх внутрішніх парних мікрошарів встановлювали згідно спектру 2 (таблиця). Співвідношення товщини мікрошарів встановлювали таким, щоб склад прошарку в цілому відповідав складу першої заготовки - спектру 1 (таблиця).

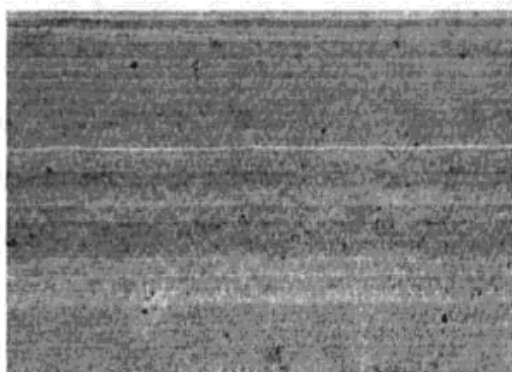
Процес нагрівання зони з'єднання зразків до заданої температури плавлення евтектичної фази (1300 °C) контролювали термопарами (фіг. 4). Після досягнення даної температури процес нагрівання припиняли. Досягнення заданої температури також спостерігалось по частковому витісненню матеріалу прошарку із зони з'єднання і за показаннями датчиків переміщення, які фіксували, що відбувається осадка заготовок як при підвищенні зусилля стиснення заготовок, так і без нього. При збільшенні зусилля стиснення осадка відбувається з більшою швидкістю, що забезпечує зменшення термічного впливу на матеріал заготовок. Мікроструктура зони з'єднання ливарного нікелевого сплаву ВЖЛ12У з деформованим нікелевим сплавом ХН73МБТЮ, одержаного зварюванням тертям з використанням прошарку у вигляді фольги, представлена на фіг. 5. Механічні випробування на розрив показали, що показники міцності зварних з'єднань знаходяться на рівні показників основного металу сплаву ВЖЛ12У (фіг. 6).



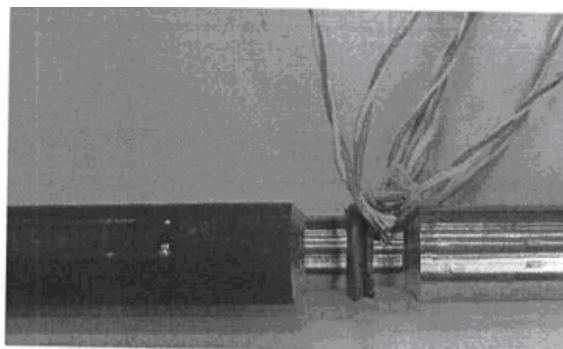
Фиг. 1



Фиг. 2



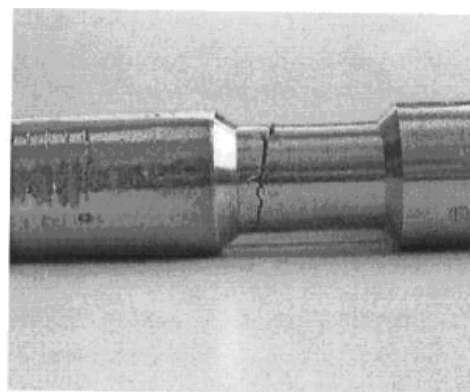
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6