



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62751 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
B23K 20/12 (2006.01)  
G01N 27/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ВСТАНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ОКРЕМИХ СКЛАДОВИХ ПЛАСТИФІКОВАНОГО МАТЕРІАЛУ

1

2

(21) u201102524

(22) 03.03.2011

(24) 12.09.2011

(46) 12.09.2011, Бюл.№ 17, 2011 р.

(72) ІЩЕНКО АНАТОЛІЙ ЯКОВИЧ, ПОКЛЯЦЬКИЙ АНАТОЛІЙ ГРИГОРОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О.ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) 1. Спосіб встановлення характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу в зоні дії на них робочого інструменту в процесі зварювання методом тертя з перемішуванням, яким до початку зварювання надають певного поз-

начення, і характер переміщення визначають по закінченні процесу зварювання за зміною положення цих складових, який **відрізняється** тим, що процес зварювання методом тертя з перемішуванням моделюють, використовуючи як з'єднані матеріали бруски пластиліну різного кольору, а для визначення характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу в різних площинах змодельованого зварного з'єднання розрізають це з'єднання у цих площинах за допомогою натягнутого тонкого дроту.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для розрізання використовують сталевий дріт діаметром 0,15-0,20 мм.

Корисна модель належить до області зварювання, зокрема до зварювання тертям з перемішуванням, і може бути застосованою в арсеналі методів дослідження специфіки масоперенесення в зоні зварного з'єднання.

Метод зварювання тертям з перемішуванням широко впроваджується в різноманітні галузі народного господарства як один із найбільш перспективних, енергетично низьковитратних та екологічно безпечних зварювальних процесів. В основі цього методу лежить принцип доведення металу зварюваних деталей до так званого «надпластичного» (або пластифікованого) стану без його розплавлення за допомогою спеціального інструмента, який, інтенсивно обертаючись, просувається вздовж лінії стику і переміщує розм'якшений метал із зони перед інструментом в зону за ним, формуючи при цьому зварний шов.

Очевидно, що експлуатаційні характеристики цих швів в першу чергу залежать від конструктивної побудови робочого інструменту і параметрів технологічного процесу. А для встановлення оптимальності поєднання згаданих факторів вкрай важливим є розуміння закономірностей масоперенесення пластифікованого металу в зоні утворення нероз'ємного з'єднання.

При встановленні цих закономірностей дослідники в першу чергу орієнтувались на класичні

методики дослідження специфіки перемішування різноманітних гомогенних та гетерогенних середовищ, де застосовувались ті чи інші позначальні елементи - маркери чи індикатори, а потрібну інформацію одержували, аналізуючи траєкторії переміщення цих елементів.

Прикладом дослідження процесу перемішування потоку рідинного середовища, яке складається з декількох компонентів, де в ролі позначального елементу застосовувався реагуючий індикатор, який подавався до цього середовища, є спосіб, описаний в патенті РФ №2281484С1 (МПК<sup>8</sup>: G01N27/06, опубл. 10.08.2006р.). Цей спосіб дозволяє відслідковувати у часі характер розподілення окремих частин потоку, за яким визначають структуру всього потоку рідинного середовища. Але така методика має обмежену сферу застосування - вона розповсюджується на вивчення виключно рідинної субстанції і є недоцільною для дослідження особливостей масоперенесення пластифікованого металу.

Подібний метод дослідження, який охоплює вивчення характеру міжмолекулярної міграції енергії в субстраті дослідного зразка, де як позначальний елемент був використаний препарат оптично активної речовини, викладений в патенті України № 17434 (МПК<sup>8</sup>: G01N21/21, G01B23/28, G01J3/28, опубл.15.09.2006 р.). Цей метод, як і

(13) U  
(11) 62751  
(19) UA

вищезгаданий, має той же недолік - він не може застосовуватись для оцінки масоперенесення пластифікованого металу.

Застосування маркерів, які розміщують на кінцях заготовки листового матеріалу для забезпечення можливості його згинання точно по лінії згину, описане також в патенті України № 57630 (МПК<sup>7</sup>: B21D5/01, B21D13/00, опубл.16.08.2003р.). При виготовленні виробів U-подібного профілю ці маркери дозволяють центрувати заготовку у матриці з високим ступенем точності та відслідковувати характер пластичної деформації заготовки, і в кінцевому результаті одержувати виріб з однаковою висотою полиць на кінцях. Але, як і в двох наведених вище прикладах, вивчати специфіку масоперенесення пластифікованого металу за такими маркерами неможливо.

В багатьох літературних джерелах науково-технічної інформації наведені результати проведення досліджень динаміки переміщення пластифікованого металу при зварюванні металів методом тертя з перемішуванням, у яких застосовувались різноманітні маркери, котрі розміщували в різних зонах стикового з'єднання. Так, в статті "Development of Trivex friction stir welding tool. Part 1 - two-dimensional flow modeling and experimental validation", P.A. Colegrove and H.R. Shercliff (журнал «Science and Technology of Welding and Joining», 2004, Vol. 9, № 4, p.345-351) описаний один із методів такого дослідження на прикладі зварювання двох алюмінієвих пластин. Як маркер був застосований матеріал, температура плавлення якого значно вища температури плавлення алюмінію, а саме - мідна стрічка. Її закладали між крайками пластин перед початком зварювального процесу. Траєкторію пересування пластифікованого металу в характерних зонах зварного з'єднання визначали за наочною картиною макрошліфа зварного з'єднання або ж при просвічуванні шва рентгенівськими променями у потрібних зонах.

Основним недоліком цього методу дослідження є складність та довготривалість проведення, адже його неможливо здійснити без обов'язкового нарізання зразків, виготовлення шліфів та їх травлення. А променеве просвічування потребує застосування дорогого і небезпечного рентгенівського обладнання.

За подібною методикою досліджувалась динаміка переміщення пластифікованого металу при зварюванні зразків з алюмінію із застосуванням як маркера алюмінієвих прутків, армованих карбідами кремнію, які також укладались між крайками зразків («Experimental methods for determining material flow in friction stir welds»/ London B., Mahoney M., Bingel W. et al. // International Symposium on Friction Stir Welding, Kobe, Japan. - 2001, - 27-28 September). Результати досліджень засвідчувались макрошліфами або рентгенівськими знімками, з чого можна зробити висновок, що ця методика має ті ж недоліки, що і попередня.

Можна навести багато прикладів та літературних джерел з описом тих чи інших способів дослідження характеру переміщення пластифікованого металу при зварюванні металів методом тертя з

перемішуванням, де застосовуються різноманітні маркери - мідні шпильки, мідна чи титанова фольга, тонкий вольфрамовий дріт, дрібні металеві кульки, прошарки композиційних матеріалів тощо. Всі вони попередньо розміщувались в стикі між зварюваними крайками або на прилеглих до нього ділянках, і у кожному випадку уявлення про характер переміщення пластифікованого металу можна було отримати після виготовлення макрошліфів або застосування рентгенівського опромінення.

За прототип корисної моделі прийнятий спосіб встановлення характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу в зоні дії на них робочого інструменту в процесі зварювання методом тертя з перемішуванням, яким до початку зварювання надають певного позначення, і характер переміщення визначають по закінченні процесу зварювання за зміною положення цих складових (Colligan K. Material Flow Behavior during Friction Stir Welding of Aluminum //Welding Journal.- 1999.- № 7.- p. 229-237).

Для проведення досліджень у цьому способі як позначальні маркери використовувались невеличкі сталі кульки, які розміщували в стикі між зварювальними крайками алюмінієвих деталей у заздалегідь висвердлених заглибленнях. Характер масоперенесення пластифікованого металу після зварювання деталей визначали по переміщенню кульок, досліджуючи макрошліфи або просвічуючи окремі зони зварного з'єднання рентгенівськими променями.

Цей спосіб має недоліки, властиві попередньо розглянутому технічному рішенням - це, перш за все, складність та довготривалість проведення досліджень, пов'язана з необхідністю виготовлення макрошліфів або ж із застосуванням рентгенівського опромінювання. На доказ складності є і той факт, що у разі необхідності проведення досліджень у різних зонах поперечного перерізу зварного шва останній потрібно розрізати у відповідних площинах, а для цього необхідно застосовувати спеціальне обладнання. Крім того, така форма дослідження потребує додаткових операцій висвердлювання заглиблень під сталеві кульки на крайках зварюваних деталей.

В основу корисної моделі поставлена задача спрощення та підвищення інформативності способу встановлення характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу шляхом моделювання досліджуваного зварювального процесу із застосуванням як з'єднувані матеріали різноколірного пластиліну, що дозволяє створити модель масоперенесення пластифікованого матеріалу, адекватну характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу реального процесу зварювання методом тертя з перемішуванням, виключаючи при цьому необхідність застосування високих температур та позначальних маркерів, а також забезпечує можливість дослідження поперечного розрізу окремих складових з'єднання без застосування розрізувального обладнання.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що в способі встановлення характеру переміщення окремих складових пластифікованого ма-

теріалу в зоні дії на них робочого інструменту в процесі зварювання методом тертя з перемішуванням, яким до початку зварювання надають певного позначення, і характер переміщення визначають по закінченні процесу зварювання за зміною положення цих складових, згідно з корисною моделлю, процес зварювання методом тертя з перемішуванням моделюють, використовуючи як з'єднані матеріали бруски пластиліну різного кольору, а для визначення характеру переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу в різних площинах змодельованого зварного з'єднання розрізають це з'єднання у цих площинах за допомогою натягнутого тонкого дроту. При цьому для розрізання може бути використаний сталевий дріт діаметром 0,15-0,20 мм.

Вказаний вище технічний результат, який досягається в процесі реалізації запропонованого технічного рішення, досягається завдяки тому, що масоперенесення пластифікованого матеріалу зварювального процесу, змодельованого за допомогою різноколірних пластилінових брусків, є максимально наближеним до характеру перенесення пластифікованого металу реального процесу зварювання тертям з перемішуванням. Можливість такого відтворення зумовлена однією з основних фізичних характеристик пластиліну - його пластичністю. При моделюванні враховувався той факт, що в реальному процесі зварювання методом тертя з перемішуванням метал не розплавлюється, а лише доводиться до пластичного стану, отже, пластилін за своїм природним станом є найбільш адекватним до пластифікованого металу і придатним для відтворення фізичного стану пластифікованої металевої субстанції. Отже, для відтворення реального процесу, який потребує суттєвого тепловкладення, потрібного для пластифікації металу, у разі застосування пластилінових брусків (як прообразу зварюваних деталей), відпадає необхідність застосування будь-якого нагрівання - бруски вже пластифіковані «від природи». Крім того, коефіцієнт тертя між зварюваними деталями і робочим інструментом, що обертається, у разі моделювання зварювального процесу із застосуванням пластиліну набагато менший, ніж коефіцієнт тертя між металевою поверхнею зварюваних деталей і тим же інструментом. Завдяки цьому виникає можливість моделювати процес зварювання методом тертя з перемішуванням, не застосовуючи при цьому значних зусиль притискання інструменту (як це має місце в реальному процесі), а лише перемішувати матеріал за допомогою інструменту, що обертається. А для розуміння особливостей переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу в зоні дії на нього робочого інструменту достатньо зробити розрізи імпровізованого зварного з'єднання у потрібних для дослідження площинах. Картина цих розрізів відтворює характер переміщення з'єднаних брусків пластилінової моделі з максимальною наближеністю до картини, яка спостерігається при спогляданні макрошліфа зварного шва металевих деталей, зварених методом тертя з перемішуванням. Згідно з запропонованим способом розрізи можна здійснити без будь-яких зусиль за допомогою натягнутого тонко-

го дроту. Очевидно, що подібна операція у разі розрізання металу зварного шва та подальша підготовка шліфів є не тільки набагато більш трудомістким, а й займає значно більше часу.

Як було експериментально встановлено, найбільш зручним для розрізання є сталевий дріт діаметром від 0,15 до 0,20 мм, тому що дріт, діаметр якого був меншим 0,15 мм, інколи розривався, а при діаметрі, що перевищував 0,20 мм, спостерігалось зминання матеріалу під дією дроту, що призводило до порушення чіткості картини зрізу.

Таким чином, відтворення реального зварювального процесу за допомогою запропонованого моделювання дозволяє у найпростіший спосіб, без застосування маркерів чи опромінення, відслідковувати закономірності масоперенесення, що, в свою чергу, надає змогу визначення оптимальних конструктивних розмірів робочого інструменту та параметрів процесу зварювання методом тертя з перемішуванням, які забезпечують одержання високоякісних зварних швів.

Моделювання процесу зварювання тертям з перемішуванням здійснюється у такий спосіб: два бруски пластиліну різного кольору стикують між собою і жорстко фіксують з боків у спеціальному пристрої. Для імітації процесу зварювання використовують робочий інструмент із запlechником та штирем, який зазвичай застосовується при зварюванні металів методом тертя з перемішуванням. До краю стику підводять робочий інструмент і починають його обертати, занурюючи штир у з'єднані бруски так, щоб запlechник увійшов в матеріал не глибше 1 мм. Після заглиблення штиря вмикають механізм лінійного пересування робочого інструменту і переміщують його вздовж стику. По закінченні процесу механізм пересування зупиняють, піднімають інструмент до його повного виходу із зони з'єднання матеріалів і призупиняють обертання інструменту.

За допомогою тонкого сталевого дроту утворене зварне з'єднання розрізають у потрібних площинах і за одержаними таким чином імпровізованими шліфами визначають характер переміщення окремих складових пластифікованого матеріалу. Для визначення оптимальних умов зварювання експерименти проводять із застосуванням робочого інструменту різних типорозмірів та на різних режимах зварювального процесу.

#### ПРИКЛАД

Для проведення експерименту застосовувались бруски пластиліну червоного та зеленого кольору різної товщини довжиною 100 мм, шириною 20 мм, а також робочий інструмент із різною конфігурацією торцевої поверхні запlechника та штиря. Задачею експерименту було встановлення взаємозв'язку між вказаною конфігурацією та характером масоперенесення пластифікованого матеріалу в процесі зварювання.

Бруски зварювались встик лінійними швами на розробленій в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона установці для зварювання тонколистових алюмінієвих сплавів. Зварювання здійснювалось при швидкості переміщення робочого інструменту 10 м/год. і частоті його обертання 1420 об/хв.

Впродовж всього процесу зварювання слідкували за характером пересування пластифікованого матеріалу як з боку набігання інструменту, де напрямок обертання і напрямок переміщення останнього співпадають, так і з боку його відходу, де вони мають протилежне спрямування. Після закінчення зварювального процесу зварений шов пластилінової моделі розрізали у вертикальній площині сталевим дротом діаметром 0,15 мм і досліджували зрізи.

Проведені дослідження показали, що при використанні інструменту без проникаючого штиря шов формується лише безпосередньо під торцевою поверхнею запlechника в результаті перемішування дуже тонкого шару металу, обумовленого обертанням і переміщенням інструменту вздовж етика. Форма робочої поверхні торця запlechника інструменту практично не впливає на глибину шва, але має суттєвий вплив на умови перемішування червоного та зеленого матеріалів, які надходять з боку набігання інструменту і його відходу. Крім того, вона визначає швидкість переміщення і траєкторію руху перемішуваних порцій з'єднуваних матеріалів у визначеному обмеженому просторі, а також ступінь ущільнення при їх затвердінні, що впливає на якість формування лицьової поверхні шва. Так, застосування інструментів з різними конфігураціями торцевої робочої поверхні запlechника призводить до змінювання форми лусок, частоти їх чергування, розподілення по глибині залягання тощо.

Одержані результати показали, що при зварюванні інструментом з пласкою торцевою поверхнею запlechника відбувається періодичне порушення суцільності потоку червоного та зеленого матеріалу, в результаті чого на лицьовій поверхні

шва має місце груба форма лусок, а в деяких місцях утворюються окремі надриви, погіршується якість з'єднань.

Наявність на торцевій поверхні запlechника конічної або напівсферичної канавки сприяє рівномірному і безперервному переміщенню червоного та зеленого матеріалу і формування практично гладкої поверхні шва.

Перемішування з'єднуваних матеріалів по всій товщині крайок здійснюється за допомогою штиря інструмента. Було встановлено, що ефективність перемішування червоного та зеленого матеріалу можна суттєво підвищити при використанні штирів з розгалуженою, а не гладкою боковою поверхнею. Так, застосування штиря, який має на боковій поверхні звичайну різьбову нарізку, забезпечує формування шаруватої структури шва з боку відходу інструмента в зоні сплавлення його з основним матеріалом. Вплив геометричних розмірів і форми, а особливо нарізок і розгалужень на боковій поверхні штиря підсилюється при збільшенні товщини пластилінових брусків.

При дослідженні зрізів імпровізованого зварного шва було встановлено, що наявність нарізок і розгалужень на боковій поверхні штиря має значний вплив на процес формування шва, змінюючи напрямок і траєкторію переміщення матеріалу червоного та зеленого кольору в зоні з'єднання. При цьому орієнтація нарізки пов'язана з напрямком обертання інструменту.

Проведені експерименти дозволяють без особливих труднощів підібрати найбільш оптимальну конструктивну форму робочого інструменту для конкретного зварювального процесу методом тертя з перемішуванням.