



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **56066** (13) **U**
(51) МПК (2009)
B23K 20/12МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС**
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) ІНСТРУМЕНТ ДВОСТОРОННЬОЇ ДІЇ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ ТЕРТЯ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ**

1

2

(21) u201007396

(22) 14.06.2010

(24) 27.12.2010

(46) 27.12.2010, Бюл.№ 24, 2010 р.

(72) ІЩЕНКО АНАТОЛІЙ ЯКОВИЧ, ПОКЛЯЦЬКИЙ
АНАТОЛІЙ ГРИГОРОВИЧ, ПОДЕЛЬНИКОВ СЕРГІЙ
ВАЛЕРІЙОВИЧ(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О.
ПАТОНА НАН УКРАЇНИ(57) Інструмент двосторонньої дії для зварювання
металів методом тертя з перемішуванням, що
складається з верхнього та нижнього заплечників з

циліндричною формою твірної поверхні, між торцевими робочими частинами яких розташована циліндрична перемичка, при цьому верхній заплечник зв'язаний з приводом обертання, який **відрізняється** тим, що інструмент виконаний цільним, торцеві робочі частини заплечників мають плоску поверхню, при цьому висота циліндричної перемички становить (0,85-0,90) товщини зварюваного металу, а діаметри верхнього та нижнього заплечників в 6,0-7,0 разів перевищують товщину зварюваного металу і в 2,5-3,5 рази перевищують розмір діаметра перемички.

Корисна модель відноситься до області зварювання, зокрема, до зварювання тертям з перемішуванням, і може бути використаною в різних галузях народного господарства. Найбільш поширеного застосування вона матиме при виготовленні зварних тонколистових (до 3мм) алюмінієвих конструкцій та виробів в автомобілебудуванні, вагоно-, корабле- та ракетобудуванні.

Метод зварювання тертям з перемішуванням у порівнянні з іншими видами зварювання має цілий ряд переваг: він не потребує джерел живлення, зварювальних електродів, флюсів, захисних газів. При його проведенні не виділяються шкідливі аерозолі, які, як правило, супроводжують більшість зварювальних процесів.

Суть цього методу полягає у тому, що твердо-сплавний інструмент, обертаючись з високою швидкістю, заглиблюється в жорстко закріплені крайки металу, доводить їх до надпластичного стану, і, просуваючись вздовж лінії стику, переміщує розм'якшений метал із зони перед інструментом в зону за ним, формуючи при цьому зварний шов. Цим видом зварювання можна з'єднувати алюмінієві сплави, мідь, кольорові сплави, а також різні метали, як-то алюміній з міддю, мідь зі сталлю та ін., а також метали, котрі неможливо зварювати електро- та газовим способом.

Очевидно, що перелічені метали та сплави належать до групи матеріалів, які найчастіше застосовуються при виготовленні відповідальних

конструкцій, як, наприклад, в авіації, ракетобудуванні та інших галузях, пов'язаних з необхідністю з'єднання тонколистового металу. Якість таких з'єднань у великій мірі залежить від конструктивної побудови інструменту. При конструюванні останнього розробники орієнтуються на такі категорії, як простота інструменту, дешевизна у виготовленні, можливість одержання симетричних швів, і, як наслідок цього - зменшення структурної неоднорідності швів по товщині і сприятливий вплив на характер розподілення внутрішніх напруг. Результатом розробок є чисельні варіанти конструкцій інструменту, викладених у відомому рівні техніки.

Так, в патенті РФ №2126738 (МПК⁶: B23K20/12, опубл. 27.01.1999р.), описаний невитратний щуп для зварювання тертям з перемішуванням з циліндричним корпусом, верхня частина якого з'єднана з джерелом енергії, яке забезпечує його обертання, та із закріпленим на нижньому кінці корпусу змінним пальцем з різьбоподібною зовнішньою поверхнею. Крім того, палець оснащений декількома лезами, розміщеними перпендикулярно його зовнішній поверхні.

Недоліком цього інструмента є те, що в процесі його роботи не виконується одна з головних умов забезпечення якісного зварного з'єднання - симетричність швів, що є наслідком нерівності зусиль, а, значить, і нерівномірності перенесення металу з обох крайок зварюваних деталей. Через

(13) **U**
(11) **56066**
(19) **UA**

несиметричність швів має місце неоднорідність їх структури по товщині та нерівномірність розподілу внутрішніх напруг.

Подібна конструкція, дещо спрощена у порівнянні з вищеописаною, описана в патенті РФ №2270083 (МПК⁸: B23K20/12, опубл. 20.02.2006р.). Інструмент має заплечник з пласкою робочою поверхнею та наконечник гладкої циліндричної форми, до того ж він оснащений засобами охолодження зони зварювання. Але інструмент має ті ж недоліки, що і попередній, крім того, перелік недоліків доповнюється наявністю у швах дефектами у вигляді порожнин, несучільностей і крихкості.

Розглянуті в обох патентах інструменти для зварювання тертям з перемішуванням відносяться до так званої групи «інструментів односторонньої дії», що означає виділення тепла в зоні з'єднання з однієї сторони зварюваних елементів. Прикладів конструктивного виконання цього виду інструментів можна навести дуже багато, і всіх їх буде об'єднувати цілий ряд спільних недоліків:

- неможливість одержання симетричного шва з лицьової та тильної сторони деталі;
- недостатнє тепловиділення в процесі зварювання;
- недостатня швидкість зварювання;
- наявність дефектів у вигляді несплавлень в кореневій частині шва;
- наявність кутових деформацій зварних з'єднань;
- неоднорідність структури шва;
- необхідність у ряді випадків застосування формуючих підкладок;
- застосування силового зусилля на інструмент вздовж його вертикальної осі при виконанні зварювання.

Більшості цих недоліків позбавлені інструменти, що використовуються для зварювання методом тертя з перемішуванням, які належать до групи інструментів «двосторонньої дії». Ця група інструментів працює за схемою двостороннього виділення тепла в зоні з'єднання за рахунок використання двох заплечників.

На сьогоднішній день існує два основних різновиди інструменту двосторонньої дії: з фіксованим і регульованим зазором. (Під зазором мається на увазі відстань між верхнім та нижнім заплечниками). В інструментах з регульованим зазором ця відстань регулюється, і, відповідно, інструменти з фіксованим зазором мають встановлену постійну відстань. Інструменти з регульованим зазором, як правило, є розбірними.

Відомий інструмент двосторонньої дії для зварювання тертям з перемішуванням, який дозволяє регулювати величину зазору між заплечниками безпосередньо в процесі зварювання, який описаний в патенті США №6758382 (МПК⁸: B23K20/12, опубл. 07.06.2004р., Carter R.A. "Avto-adjustable tool for self-reacting and conventional friction stir welding"). У цьому інструменті наконечник з нижнім заплечником обертається незалежно від верхнього заплечника, а спеціальні датчики фіксують зміну зусилля притискання заплечників до зварюваної деталі і корегують їх положення.

Конструкція інструменту, яка передбачає можливість регулювання зазору між заплечниками шляхом переміщення нижнього заплечника по різьбі, представлена в роботі Thomas W.M., Norris I.M., Staines D.G. et al. Friction stir welding - variants and process techniques //Proc. Of the 1st International Conference "Joining of Aluminium Structures", Moscow, Russia, 3-5 December, 2007). Подібна конструкція описана також на Фіг.1 патенту США №5794835, «Friction Stir Welding», МПК⁸: B23K20/12, опубл. 18.08.1998р.

Перевагою згаданих інструментів є можливість використання одного і того ж інструменту для з'єднання деталей різної товщини. Зазор між заплечниками виставляється перед початком зварювального процесу, однак, це потребує точного визначення та регулювання величини зазору, що в цілому ускладнює робочий процес та подовжує підготовчий етап перед його початком. При встановленні зазору найменша похибка призводитиме до погіршення якості зварних з'єднань, а при тривалій експлуатації інструментів вірогідність появи таких похибок зростає через зношення інструменту, виникнення люфту на різьбі тощо. Тому для запобігання таких ситуацій потрібні додаткові конструктивні рішення, направлені на подовження терміну експлуатації інструменту (наприклад, встановлення елементів, які унеможливають зміщення заплечників від заданого положення в результаті переміщення по різьбі нижнього заплечника та ін.).

Узагальнюючими недоліками обох інструментів (як і всіх інших, що належать до цієї групи) є складність у виготовленні та висока вартість, не ідентичність фізико-механічних властивостей зварювального шва по довжині, а також наявність людського фактора, коли якість шва у великій мірі залежить від кваліфікації та досвіду зварювальника.

Інструменти з нерегульованим зазором мають свої суттєві переваги перед інструментами з регульованим зазором - вони простіші у виготовленні, дешевші, не потребують попереднього встановлення зазору перед зварюванням (кожен з них являє собою той чи інший визначений типорозмір), забезпечують гарантовану якість шва по всій його довжині. Але головним недоліком таких інструментів є те, що вони, як правило, не застосовуються для зварювання тонкого (до 3-х мм) металу.

За прототип корисної моделі прийнятий інструмент двосторонньої дії для зварювання металів методом тертя з перемішуванням, що складається з верхнього та нижнього заплечників з циліндричною формою твірної поверхні, між торцевими робочими частинами яких розташована циліндрична перемичка, при цьому верхній заплечник зв'язаний з приводом обертання (патент США №5794835, Фіг.2А, «Friction Stir Welding», МПК⁸: B23K20/12, опубл. 18.08.1998р.).

Цей інструмент є нерозбірним зі встановленим під визначену товщину металу зазором. Його торцеві робочі частини мають вигляд зрізаного конуса, так що робоча канавка у перерізі має трапецевидну форму. Інструмент має всі недоліки, властиві згаданим вище інструментам цього виду,

але головним із них є те, що він не розрахований на зварювання тонколистового матеріалу, через що застосування його у багатьох важливих галузях, таких, як авіа-, ракетобудування та ін. є недоцільним. Трапецевидна форма канавки обумовлює утонення зварювальних швів у їх верхній та нижній частині, що призводить до зменшення робочого перерізу шва і зниження міцності зварного з'єднання. Звичайно, цим фактором можна знехтувати при зварюванні деталей значної товщини, але для тонколистового металу, особливо при виробництві відповідальних конструкцій, він є недопустимим.

В основу корисної моделі поставлена задача створення недорогого, надійного та ефективного в умовах зварювання тонколистового металу інструменту двосторонньої дії для зварювання металів методом тертя з перемішуванням шляхом удосконалення його конструктивної побудови, зокрема, виконання його цільним з пласкою поверхнею робочих частин та оптимізації розмірних співвідношень окремих конструктивних елементів, в результаті чого робочий переріз шва, що формується в процесі зварювання, набуває прямокутної форми, за якої при з'єднанні металу, товщина якого не перевищує 3-х мм, шов має високі фізико-механічні та експлуатаційні характеристики.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що Інструмент двосторонньої дії для зварювання металів методом тертя з перемішуванням, що складається з верхнього та нижнього заплечників з циліндричною формою твірної поверхні, між торцевими робочими частинами яких розташована циліндрична перемичка, при цьому верхній заплечник зв'язаний з приводом обертання, згідно представлені корисної моделі, виконаний цільним, торцеві робочі частини заплечників мають пласку поверхню, при цьому висота циліндричної перемички становить (0,85-0,90) товщини зварюваного металу, а діаметри верхнього та нижнього заплечників в 6,0-7,0 разів перевищують товщину зварюваного металу і в 2,5 - 3,5 разів перевищують розмір діаметру перемички.

В результаті проведення численних експериментів було встановлено, що для з'єднання листів, які мають товщину, що не перевищує 3-х мм, забезпечення високої якості швів можливе лише тоді, коли форма інструменту та розміри його елементів прив'язуються до товщини металу та діаметру перемички і поєднуються так, як це запропоновано у даному технічному рішенні. Пласка робоча поверхня заплечників створює умови для рівномірного і симетричного стиснення пластифікованого металу та формування шва, який у перерізі має практично прямокутну форму.

Такий шов, на відміну від трапецевидного, є щільним, має однакову структуру та однакові міцнісні характеристики у своїй верхній та нижній частині. Причому висока їх якість забезпечується тоді, коли висота циліндричної перемички (або ширина зазору) дещо менша товщини зварюваного металу і вкладається в інтервал (0,85-0,90), а діаметри заплечників в 6,0-7,0 разів перевищують товщину зварюваного металу і в 2,5-3,5 разів перевищують розмір діаметру перемички.

Експериментально було встановлено, що при використанні інструменту, висота перемички якого буде більшою, ніж 0,90 товщини зварюваного металу, зусилля обтискання металу є замалим, що обов'язково призводить до появи внутрішніх дефектів у швах. Інструменти з перемичкою, висота якої менша 0,85 товщини металу, спричиняють надмірний тиск на метал, в результаті чого останній перегрівається і властивості шва знижуються. При цьому може порушуватись суцільність шва або на його поверхні виділятиметься велика кількість грату.

Так само важливо дотримуватися дослідно визначених розмірних співвідношень діаметрів заплечників, товщини зварюваного металу та діаметру перемички. У разі, коли діаметри заплечників в 6,0-7,0 разів перевищують товщину зварюваного металу, в зоні зварювання тонколистового металу створюються найбільш сприятливі температурні умови для нагрівання достатньої кількості металу до пластичного стану і формування якісного шва.

При діаметрах заплечників, що більш, ніж в 7 разів перевищують товщину металу, відбувається перегрівання останнього, він стає надмірно пластичним і витискається із зони стику раніш, ніж сформується шов. При діаметрах, розмір яких є меншим, ніж 6 товщин металу, в зоні зварювання не забезпечується необхідне тепловиділення, що призводить до появи внутрішніх дефектів у шві.

Для забезпечення потрібної кількості пластифікованого металу в зоні з'єднання зварюваних листів діаметри заплечників повинні бути в 2,5-3,5 разів більшими розміру діаметру перемички. Заплечники з розміром, меншим мінімально встановленого рівня (менше 2,5 діаметру перемички), в процесі зварювання перебуватимуть в умовах, де притискувальне зусилля, що діє на них, буде завеликим, в результаті чого інструмент може деформуватись або ж зруйнуватись. А при використанні заплечників з діаметром, що більш, ніж в 3,5 рази перевищують діаметр перемички, в зоні зварювання не утвориться необхідний для якісного формування шва об'єм пластифікованого металу, що призведе до виникнення несущальностей та погіршення якості зварного з'єднання.

Запропонований інструмент для зварювання металів методом тертя з перемішуванням представлений на кресленні.

Інструмент складається з верхнього 1 та нижнього 2 заплечників, які мають циліндричну форму з торцевою пласкою робочою частиною. Верхній заплечник 1 зв'язаний з приводом обертання (не показаний). Між торцевими робочими частинами заплечників розташована перемичка 3, яка має форму циліндра діаметром d_n . Висота циліндричної перемички a становить (0,85-0,90) товщини зварюваного металу (δ), а діаметри D_v верхнього та нижнього D_n заплечників в 6,0-7,0 разів перевищують товщину зварюваного металу і в 2,5-3,5 разів перевищують розмір діаметру перемички. Тобто

$$a=(0,85-0,90)\delta;$$

$$D_v=D_n=(6-7)\delta;$$

$$D_v/d_n=(2,5-3,5); D_n/d_n=(2,5-3,5).$$

Інструмент виготовляється нерозбірним - він являє собою цільний елемент, виточений на токарному станку з цільного прутка металу. В робочій зоні інструменту проточений кільцевий зазор (власне перемичка). Перед початком зварювального процесу інструмент встановлюється таким чином, щоб перемичка суміщувалась з площиною зварюваних листів. Верхній заплечник з'єднують з приводом обертання. В процесі зварювання за рахунок тертя поверхонь робочих частин заплечників, що обертаються, та тиску, який діє на зварювані листи, зварюваний метал нагрівається до пласти-

чного стану. При цьому шов формується в об'ємі, обмеженому верхнім заплечником діаметром D_v та нижнім заплечником діаметром D_n .

Розроблений інструмент двосторонньої дії для зварювання металів методом тертя з перемішуванням зводить до мінімуму період підготовки до з'єднання металу визначеної товщини, він має низьку собівартість, забезпечує повторюваність результатів при багаторазовому використанні та високі експлуатаційні характеристики зварних з'єднань.

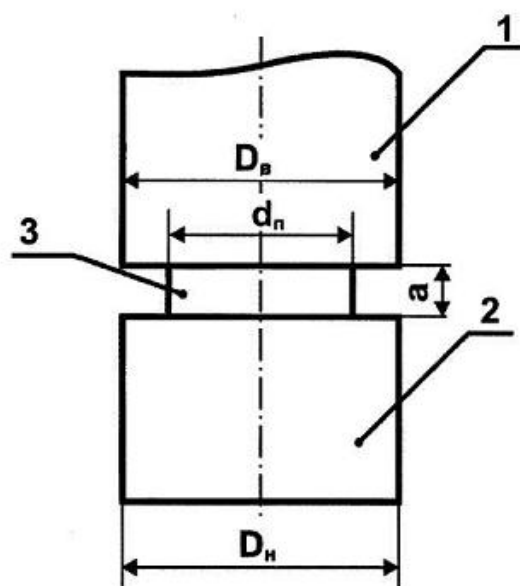


Fig.