

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2012年11月1日(01.11.2012)

(10) 国際公開番号

WO 2012/147204 A1

(51) 国際特許分類:

B23K 20/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2011/060457

(22) 国際出願日:

2011年4月28日(28.04.2011)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱
日立製鉄機械株式会社(MITSUBISHI-HITACHI
METALS MACHINERY, INC.) [JP/JP]; 〒1080014 東
京都港区芝五丁目34-6 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

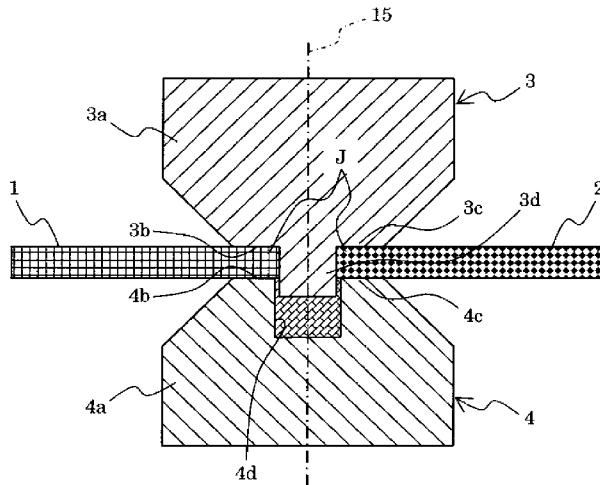
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 加賀 慎一
(KAGA Shinichi) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五
丁目34-6 三菱日立製鉄機械株式会社内
Tokyo (JP). 小野瀬 満(ONOSE Mitsuru) [JP/JP]; 〒
1080014 東京都港区芝五丁目34-6 三菱日
立製鉄機械株式会社内 Tokyo (JP). 富永 憲明
(TOMINAGA Noriaki) [JP/JP]; 〒7338553 広島県広
島市西区観音新町四丁目6-22 三菱日立製
鉄機械株式会社 広島事業所内 Hiroshima (JP). 斎藤 武彦(SAITO Takehiko) [JP/JP]; 〒7338553 広島県広島市西区観音新町四丁目6-22 三菱
日立製鉄機械株式会社 広島事業所内 Hiroshima
(JP). 芳村 泰嗣(YOSHIMURA Yasutsugu) [JP/JP];
〒1080014 東京都港区芝五丁目34-6 三菱
日立製鉄機械株式会社内 Tokyo (JP). 平野 聰
(HIRANO Satoshi) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市
大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所
日立研究所内 Ibaraki (JP). 朴 勝煥(PARK Seung
Hwan) [KR/JP]; 〒3191292 茨城県日立市大みか町
七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研
究所内 Ibaraki (JP).(74) 代理人: 春日 讓(KASUGA Yuzuru); 〒1030023 東
京都中央区日本橋本町三丁目4番1号トライ日
本橋ビル Tokyo (JP).(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT,
RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY,

[続葉有]

(54) Title: FRICTION STIR WELDING METHOD AND DEVICE, AND TOOL SET

(54) 発明の名称: 摩擦攪拌接合方法および装置並びにツールセット

[図1]



(57) Abstract: In order to perform friction stir welding with excellent economy and high weld strength and reliability, a rotating tool (3) has a tool body (3a) having a shoulder face (3b) formed in the distal end portion thereof and a pin-shaped projection (3d) formed so as to protrude from the shoulder face (3b), and a backing tool (4) has a tool body (4a) having a pressure maintaining face (4b) formed in the distal end portion thereof and a cavity (4d) for receiving a distal end part of the projection (3d). The rotating tool (3) and the backing tool (4) are arranged opposite each other on the front side and back side of a weld zone (J) of a metal plate. The rotating tool (3) is moved toward the backing tool (4) while the backing tool (4) is held and the rotating tool is rotated, the distal end of the projection (3d) of the rotating tool is inserted into the cavity (4d) of the backing tool so that the weld zone is interposed, and the shoulder face (3b) of the rotating tool is pressed against the front side of the weld zone. In this state, the rotating tool (3) and the backing tool (4) are moved along the weld zone, and the entire area of the weld zone in the plate thickness direction is friction-stirred by the rotating tool (3).

(57) 要約:

[続葉有]



TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ヨーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

経済性に優れ、接合強度および信頼性の高い摩擦攪拌接合を行うため、回転ツール 3 は、ショルダ面 3 b を先端部分に形成したツール本体 3 a と、ショルダ面 3 b から突出するよう形成されたピン状の突起部 3 d とを有し、裏当てツール 4 は、押圧力保持面 4 b を先端部分に形成したツール本体 4 a と、突起部 3 d の先端部を収納する凹み部 4 d とを有し、回転ツール 3 と裏当てツール 4 とを金属板の接合部 J の表面側と裏面側に相対向するように配置し、裏当てツール 4 を保持し、回転ツール 3 を回転させながら裏当てツール 4 に近づく方向に移動させ、回転ツールの突起部 3 d 先端を裏当てツールの凹み部 4 d 内に挿入し、接合部を挟み込み、回転ツールのショルダ面 3 b を接合部の表面側に押圧し、その状態で、回転ツール 3 と裏当てツール 4 とを接合部に沿って移動させ、接合部の板厚方向全域を回転ツール 3 で摩擦攪拌する。

明 細 書

発明の名称：摩擦攪拌接合方法および装置並びにツールセット

技術分野

[0001] 本発明は、金属材料の接合部を摩擦攪拌し接合するための摩擦攪拌接合方法および装置並びにツールセットに関する。

背景技術

[0002] 接合ツール（回転ツール）を回転させながら、接合ツールのツール本体に設けられたショルダ部の表面を接合部材の表面と接触させ、ショルダ部の表面と接合部材の表面との摩擦熱を利用して摩擦攪拌し、接合部材を融点以下の固相状態で、材料を攪拌し接合する摩擦攪拌接合技術が知られている。この接合技術は、アルミ合金を主体として、様々な産業分野で実用化されている。

[0003] 従来の摩擦攪拌接合技術は、大きく、片面摩擦攪拌接合と両面摩擦攪拌接合に分けられる。

[0004] 片面摩擦攪拌接合は最も一般的な手法であり、例えば特許文献1（日本特許第2712838号公報）の図12に示されている。これは、ツール本体の先端部にそれより小径のプローブを設け、ツール本体の先端部におけるプローブの取り付け部の周辺をショルダ部として構成した接合ツールを用い、この接合ツールを2枚の金属板の接合部（例えば突き合わせ部）の片面側から挿入し、接合ツールを回転させることによって生じる摩擦熱を利用して摩擦攪拌し、接合するものである（従来技術1）。

[0005] 片面摩擦攪拌接合方法を実際の工業製品に適用する場合の一例として、例えば特許文献2（日本特許第3289650号公報）には、次のような2つの課題とその課題を解決する手段が示されている。

[0006] まず1つ目の課題について説明する。接合部裏面に未攪拌部を発生させないように摩擦攪拌接合を行うには、接合部に挿入したツール先端の距離と加工部材の裏面すなわち裏当て板表面の距離を常に0.2mm程度以下に制御

する必要がある。しかしながら、長尺物の接合においては、ツールの熱膨張が生じるため、常に0.2mm程度以下に、精度良く位置制御するのは困難である。

[0007] 2つ目の課題について説明する。ツール先端が接合部を貫通した状態で接合を行った場合、接合部裏面に配置した裏当て板にツール先端が接触し、ツールと裏当て板が干渉する。これにより、接合部裏面にも欠陥が発生したり、加工部材と裏当て板が接合されることもある。

[0008] これらの課題を解決する手段（従来技術2）が、特許文献2（日本特許第3289650号公報）の図3、図4に示されている。加工部材の裏面に配置される裏当て板にはツール直下に溝が設けられている。ツールの先端が加工部材の接合部裏面を貫通し、加工部材の接合部裏面と裏当て板との間に形成された溝の内部を移動しながら接合する。

[0009] 一方、両面摩擦攪拌接合の手法には、2通りが存在する。

[0010] 両面摩擦攪拌接合の第1の手法は、2枚の金属板の接合部（例えば突き合わせ部）の表面側と裏面側を、一般的にボビンツールと呼ばれている1本の接合ツールで、接合部を摩擦攪拌し、接合するものであり、例えば特許文献1（日本特許第2712838号公報）の図2aに示されている（従来技術3）。

[0011] 両面摩擦攪拌接合の第2の手法は、2本の接合ツールを金属板の接合部（例えば突き合わせ部）の表面側と裏面側にプローブ先端間に実質的に隙間を与えない状態で相対向するように配置し、接合部の両側から摩擦攪拌し、接合するものであり、例えば特許文献1（日本特許第2712838号公報）の図14aに示されている（従来技術4）。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特許2712838号

特許文献2：特許3289650号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0013] 上記従来技術 1～4 には、それぞれ以下の問題がある。
- [0014] 第 1 は、経済性とツール寿命の問題である。
- [0015] 従来技術 1（片面摩擦攪拌接合）に供される接合ツールのプローブ長さは、金属板の厚みと同じ長さとなる。
- [0016] 従来技術 3（両面摩擦攪拌接合）に供されるボビンツールにおけるプローブ長さも、片面摩擦攪拌接合と同様に、金属板の厚みと同じ長さとなる。従来技術 4（両面摩擦攪拌接合）に供される表裏面に相対向して配置した 2 本の接合ツールのプローブ長さは、金属板厚みの半分となる。
- [0017] したがって、金属板の厚みが異なれば、それに応じてプローブ長さも変えなければならないため、金属板の厚みに合わせて、異なるプローブ長さを有する接合ツールを多数準備する必要があり、経済性に劣る問題がある。
- [0018] また、従来技術 3（両面摩擦攪拌接合）に供されるボビンツールでは反駆動側のショルダの摩擦攪拌仕事はプローブを介して動力を伝達する。したがって、プローブより大きい直径のショルダを駆動するためには、プローブの断面係数を片面摩擦攪拌接合装置のツールのそれと比較し、少なくとも 2 倍以上とせざるを得ない。これにより、プローブの直径が大きくなることで、ショルダ径も大きくする必要があり、摩擦攪拌範囲も拡大し、消費エネルギーが増加し、且つ装置が大型化するため、経済性に劣る問題がある。
- [0019] 従来技術 2 によれば、溶接中に塑性流動した金属が、接合部裏面に設けられた溝に押し込められる。その結果、接合部裏面に前記、溝と同一形状の裏波が形成される。裏面に形成した溝形状と同一形状の裏波は、グラインダまたは切削などにより機械的に除去する。これにより、接合部裏面に発生する未接合部を排除することが可能となる（特許文献 2 段落 0023～0028 参照）。しかし、裏波のグラインダ及び切削加工により、接合後工程の増加や材料歩留りの低下は避けられずに、経済性に劣る問題があった。
- [0020] 一方、接合部表面は、溝に金属が充填されると、金属が減少する。そのため接合後の表面は凹状になる。これを防止するために、表面には突起 8 を形

成しておくこと場合が図3（b）に図示されている。これにより、接合部表面の凹状は防止できる（特許文献2段落0026参照）。しかし、接合前に突起形状としておく必要がある。接合前の突起形状の形成は、押し出し形成材であれば、金型の成型で如何様にも形状形成が可能であるが、板材の接合では、突起形状を形成するため機械加工を施す必要があり、機械加工工程の増加や材料歩留りの低下は避けられずに、経済性に劣る問題があった。

- [0021] また、従来技術2では、回転ツールから供給される熱エネルギーが裏当て板から逃げ、熱損失が生じていた。したがって、摩擦攪拌接合に要するエネルギー以上の熱エネルギーを供給する必要があり、経済性に劣る問題があった。
- [0022] 摩擦攪拌接合は、比較的融点の低い材料であるアルミニウム等の非鉄合金の分野では、実用化されている。一般に、摩擦攪拌接合では、材料温度を融点の80%程度まで摩擦攪拌熱で上昇させる必要がある。1000°Cを超える高融点材料の接合では、単位接合長さ当たりの摩擦攪拌による供給エネルギーが高くなり、更には変形抵抗値も高くなることから、回転ツールには高い耐熱強度と韌性が求められ、高価な多結晶ダイヤモンド等の材料を使用せざるを得ず、経済性に劣る問題があった。
- [0023] 更に、高価な多結晶ダイヤモンド等の材料を用いても、熱衝撃、ツールの摩耗およびプローブに作用する曲げ応力等により、ツール寿命が短く、100°Cを超える高融点材料への摩擦攪拌接合の普及を妨げる要因となっている。ツール寿命が短いと、ツールを交換する頻度が多くなり、経済性に劣る問題があった。
- [0024] 第2は、接合不良の問題である。
- [0025] 従来技術3（両面摩擦攪拌接合）に供されるボビンツールでは、表裏面のショルダとプローブを一体としているため、表裏面のショルダ面間の距離はツールの構造上、固定される。
- [0026] また、従来技術4（両面摩擦攪拌接合）では、表裏面に相対向するように配置した2本の接合ツールのプローブ先端間に実質的に隙間を与えない状態で摩擦攪拌接合しているため、表裏面のショルダ面間の距離は、金属板の厚

みに応じた接合設定位置で固定される。

- [0027] このようなショルダ面間の距離を固定した状態での両面摩擦攪拌接合では、金属板の厚みの微小変動が発生した場合、ショルダ面と金属板表面との接触面における面圧が変動する。この面圧の変動により、摩擦熱量が変動し、接合部の品質が低下する問題があった。
- [0028] 更に、従来技術3に供されるボビンツールでは、表裏面のショルダとプローブを一体としているため、ボビンツールの進行方向の前方及び後方において、表裏面のショルダ面間の距離が同一となる。更に、接合ツールを傾斜させることが出来ず、攪拌に必要な所望の面圧を与えることが難しかった。攪拌に必要な所望の面圧を与えられない場合には、接合部の流動性が低下し、接合欠陥が起こる問題があった。
- [0029] 本発明の第1の目的は、摩擦攪拌接合において、経済性に優れ、かつ接合ツール（回転ツール）の寿命を向上することが出来る摩擦攪拌接合方法および装置ならびにツールセットを提供することである。
- [0030] 本発明の第2の目的は、摩擦攪拌接合において、更に、接合部の強度および接合の信頼性を向上させることが出来る摩擦攪拌接合方法および装置ならびにツールセットを提供することである。

課題を解決するための手段

- [0031] 上述した課題を解決する第1の発明は、突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に、回転ツールと裏当てツールを配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法において、前記回転ツールは、ショルダ部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部とを有する構成とし、前記裏当てツールは、押圧力保持面部を先端部分に形成した裏当てツール本体と、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部とを有する構成とし、前記回転ツールと裏当てツールを前記2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に相対向するように配置し、前記回転ツールを回転させ、前記回転

ツールを前記裏当てツールに近づく方向に移動して、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面との間に接合部を挟み込み、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面を前記接合部の表面側と裏面側から押圧し、前記回転ツールと裏当てツールを前記接合部に沿って同期した状態で移動させ、前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツールで摩擦攪拌することを特徴とする。

[0032] 上述した課題を解決する第2の発明は、突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に、回転ツールと裏当てツールを配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法において、前記回転ツールは、ショルダ部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部とを有する構成とし、前記裏当てツールは、押圧力保持面部を先端部分に形成した裏当てツール本体と、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部を有する構成とし、前記回転ツールと裏当てツールを前記2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に相対向するように配置し、前記回転ツールを回転させ、前記回転ツールを前記裏当てツールに近づく方向に移動して、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面との間に接合部を挟み込み、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面を前記接合部の表面側と裏面側から押圧し、前記2枚の金属板を接合方向と同方向に移動させ、前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツールで摩擦攪拌することを特徴とする。

[0033] 上述した課題を解決する第3の発明は、上記摩擦攪拌接合方法において、前記相対向するように配置した前記回転ツールのショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面との間の距離 δ について、回転ツール及び裏当てツールの進行方向の前方の面間距離 δ_1 と比較して、該進行方向の後方の面間距離

δ 2が狭くなるように、前記回転ツールまた裏当てツールの少なくともいずれか一方を傾斜することを特徴とする。

[0034] 上述した課題を解決する第4の発明は、上記摩擦攪拌接合方法において、前記回転ツールは、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板の厚み方向に対し位置制御にて移動し、該回転ツールの挿入深さを保持した状態で、前記2枚の金属板の接合部端面から該回転ツールを接合進行方向に位置制御にて送って摩擦攪拌接合を開始し、摩擦攪拌接合開始後は、該回転ツールの負荷が所定の値となるように、該回転ツールの挿入位置を制御する負荷一定制御に切り替え、摩擦攪拌接合が終了する接合終端部到達前に、その時点の該回転ツールの挿入位置を保持する位置制御に切り替え、接合部終端部を通過させ、前記裏当てツールは、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板の厚み方向に対し位置制御にて移動し、位置を保持したままで、摩擦攪拌接合の開始から終了まで位置制御することを特徴とする。

[0035] 上述した課題を解決する第5の発明は、突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に、回転ツールと裏当てツールを配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合装置において、前記金属板をそれぞれ把持する第1及び第2把持装置と、前記回転ツールと裏当てツールが前記突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に相対向するように、前記回転ツールを装着し、前記回転ツールを回転駆動するツール回転駆動装置と、前記裏当てツールを金属板裏面位置に保持するツール位置保持装置と、前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツールを前記ツール位置保持装置により位置保持された裏当てツールに近づく方向に移動して、前記回転ツールを金属板の接合部の表面側に押圧するツール押圧装置と、前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツールおよび裏当てツールを前記接合部に沿って、同期した状態で移動させる移動装置とを備え、前記回転ツールは、ショルダ部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部とを有し、前記裏当てツールは、押圧力保持面部を

先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部とを有し、前記ツール押圧装置は、回転ツールを裏当てツールに近く方向に移動するとき、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入するとともに、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面と裏当てツールの押圧力保持面の間に接合部を挟み込むことで接合部に押圧力を付与し、前記移動装置は、前記回転ツールの突起部)の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面を前記接合部の表面側から押圧した状態で、かつ、前記回転ツールと裏当てツールを前記接合部に沿って同期した状態で移動させ、前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツールで摩擦攪拌することを特徴とする。

[0036] 上述した課題を解決する第6の発明は、突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に、回転ツールと裏当てツールを配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合装置において、前記金属板をそれぞれ把持する第1及び第2把持装置と、前記回転ツールと裏当てツールが前記突き合わせた2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に相対向するように、前記回転ツールを装着し、前記回転ツールを回転駆動するツール回転駆動装置と、前記裏当てツールを金属板裏面位置に保持するツール位置保持装置と、前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツールを前記ツール位置保持装置により位置保持された裏当てツールに近づく方向に移動して、前記回転ツールを金属板の接合部の表面側に押圧するツール押圧装置と、前記把持装置に2枚の金属板を接合方向と同方向に移動させる移動装置とを備え、前記回転ツールは、ショルダ部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部とを有し、前記裏当てツールは、押圧力保持面部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部の先端部を収納する

少なくとも 1 つの凹み部とを有し、前記ツール押圧装置は、回転ツールを裏当てツールに近づく方向に移動するとき、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入するとともに、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面と裏当てツールの押圧力保持面の間に接合部を挟み込むことで接合部に押圧力を付与し、前記移動装置は、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面を前記接合部の表面側から押圧した状態で、2 枚の金属板を接合方向と同方向に移動させ、前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツールで摩擦攪拌することを特徴とする。

[0037] 上述した課題を解決する第 7 の発明は、上記摩擦攪拌接合装置において、前記相対向するように配置した前記回転ツールのショルダ面と前記裏当てツールの押圧力保持面の間の距離について、回転ツール及び裏当てツールの進行方向の前方の面間距離と比較し、該進行方向の後方の面間距離が狭くなるように、前記回転ツールまた裏当てツールの少なくともいずれか一方を傾けて支持する傾斜支持装置を更に備えることを特徴とする。

[0038] 上述した課題を解決する第 8 の発明は、上記摩擦攪拌接合装置において、前記回転ツールは、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板の厚み方向に対し位置制御にて移動し、該回転ツールの挿入深さを保持した状態で、前記 2 枚の金属板の接合部端面から該回転ツールを接合進行方向に位置制御にて送って摩擦攪拌接合を開始し、摩擦攪拌接合開始後は、該回転ツールの負荷が所定の値となるように、該回転ツールの挿入位置を制御する負荷一定制御に切り替え、摩擦攪拌接合が終了する接合終端部到達前に、その時点の該回転ツールの挿入位置を保持する位置制御に切り替え、接合部終端部を通過させ、前記裏当てツールは、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板の厚み方向に対し位置制御にて移動し、位置を保持したままで、摩擦攪拌接合の開始から終了まで位置制御するよう前記ツール押圧装置、前記ツール位置保持装置および前記移動装置を制御する制御装置を更に備えることを特

徴とする。

- [0039] 上述した課題を解決する第9の発明は、上記摩擦攪拌接合装置において、前記回転ツールの材質を焼結炭化タングステンの超硬合金またはタングステン合金とし、接合される2枚の金属板は、融点が1000°C以上の材料からなることを特徴とする。
- [0040] 上述した課題を解決する第10の発明は、2枚の金属板の接合部を摩擦攪拌して、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合用ツールセットにおいて、前記2枚の金属板の接合部の表面側と裏面側に相対向するように配置され、前記接合部を摩擦攪拌する回転ツールと裏当てツールとを備え、前記回転ツールは、ショルダ部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部とを有し、前記裏当てツールは、押圧力保持面部を先端部分に形成したツール本体と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部とを有し、前記回転ツールの突起部の先端部を前記裏当てツールの凹み部内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面と裏当てツールの押圧力保持面の間に接合部を挟み込むことで接合部に押圧力を付与した状態で、前記回転ツールと裏当てツールを前記接合部に沿って移動させ、前記接合部の板厚方向全域を摩擦攪拌することを特徴とする。

発明の効果

- [0041] 本発明によれば、以下のような効果を得ることが出来る。
- [0042] まず、経済性とツール寿命に係る効果（第1効果）について説明する。
- [0043] 第1、第2、第5、第6および第11の発明において、接合部の表裏面に対して相対向するように配置した回転ツールと裏当てツールは別体であるため、裏当てツール凹み部内の回転ツールの突起部の挿入量（回転ツール突起部先端と裏当てツール押圧力保持面との距離）が0とならない範囲で、その挿入量を自由に調整することが出来る。これにより金属板の厚みが異なって

も、金属板の厚みに合わせて、裏当てツールの凹み部内に回転ツールの突起部を挿入して、突起部の長さの範囲内の厚みの金属板の接合部全範囲を摩擦攪拌接合することが出来る。これにより金属板の厚みに合わせて異なるプローブ長さを有する回転ツールに交換する必要がないため、異なるプローブ長さを有する回転ツールを多数準備する必要がなくなり、ランニングコストを抑え、経済性を向上することが出来る。

[0044] また、回転ツール及び裏当てツールは別体である。したがって、ボビンツールの場合とは異なり、裏当てツールの押圧力保持面部は、プローブを介して動力を伝達する必要がないため、プローブ（突起部）の直径をボビンツールと比較し、小さく出来る。これによりプローブの直径が大きくなることによるショルダ径の大径化が防止出来たため、装置が大型化することなく、この点でも経済性を向上することが出来る。

[0045] 裏当てツールは、接合部に沿って回転ツールと同期した状態で移動するため、溝形状などの裏波は形成されず、接合後のグラインダ作業及び切削加工による裏波の除去作業を施すことはない。更に、接合部表面での金属の減少が発生しにくいので、接合前に接合部表面に突起を形成しておく必要はない。したがって、工程の増加や材料歩留りの低下を抑制し、経済性を向上することが出来る。

[0046] 裏当てツールの凹み部には摩擦攪拌により材料が軟化流動し隙間に埋まり、裏当てツールの押圧力保持面は従来技術2（片面摩擦攪拌接合）の裏当て板と同様な機能を果たす。裏当てツールの押圧力保持面は、回転ツールから付与される押圧力を保持できる面積であればよく、従来技術2の裏当て板と比較して、狭くてよい。表面積が狭いことにより、熱拡散範囲が狭まり、熱エネルギー損出を抑制でき、経済性を向上することが出来る。

[0047] 熱エネルギー損出を抑制できることにより、回転ツールへの熱供給量を低減できるため、第9発明のように、回転ツールの材質を焼結炭化タングステンの超硬合金、タングステン合金などとすることで、回転ツールの材質に高価な多結晶ダイヤモンド等の材料を用いる必要がなくなり、経済性を向上

することが出来る。

- [0048] 回転ツールへの熱供給量を低減できることにより、ツールの長寿命化を図ることが出来る。
- [0049] 第9の発明において、回転ツールの材質を焼結炭化タンゲステンの超硬合金、タンゲステン合金などにした結果、融点が1000°C以上の金属板の摩擦攪拌において、ツール寿命が長い、経済的な回転ツールを提供出来る。
- [0050] 次に、接合部の強度向上および接合の信頼性向上に係る効果（第2効果）について説明する。
- [0051] 回転ツールは、金属板の接合部の板厚方向全域を摩擦攪拌するため、接合部の強度を向上させることが出来る。
- [0052] 回転ツール及び裏当てツールは別体であって、両者間の距離（金属板厚み方向へのツール先端間の距離）を調整可能であるため、第4および第8の発明のように、回転ツールの接合部への押し付けに負荷制御を採用することが出来る。
- [0053] 第4および第8の発明において、負荷制御を採用することで、金属板の厚みの微小変動による回転ツールのショルダ面及び裏当てツールの押圧力保持面と金属板接合部表面との接触面における面圧が変動することを回避し、熱負荷変動を低減するとともに、接合部Jの品質低下（接合不良）を抑制し、高い信頼性を有する接合ができる。
- [0054] 回転ツール及び裏当てツールは別体であるため、それぞれのツール軸芯を傾けることが出来る。すなわち、第3および第7の発明のように、進行方向の前方の面間距離 δ_1 と比較し、該進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるようにすることができる。
- [0055] 第3および第7の発明において、進行方向の前方の面間距離 δ_1 と比較し、該進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるように、回転ツールまたは裏当てツールの少なくとも一方を傾けることで、金属板への押圧力を高めることができ、摩擦攪拌接合による接合部の流動性を向上させ、接合部Jの品質低下（接合不良）を抑制し、高い信頼性を有する接合が出来る。

[0056] また、裏当てツールの凹み部には、摩擦攪拌により材料が軟化流動し、隙間が埋まる。これにより、裏当てツールの凹み部に挿入された回転ツールの突起部が、隙間に軟化充填された材料を介し、凹み部内で内圧を受ける結果、制振力を作用することで、回転ツールの半径方向の制振性能が向上する。その結果、びびり振動が抑制され、均一な摩擦攪拌が可能となり、この点でも接合不良を抑制し、高い信頼性を有する接合が出来る。

図面の簡単な説明

[0057] [図1]本発明の一実施の形態に係わる摩擦攪拌接合用の回転ツールと裏当てツールの先端部分の拡大断面図であって、接合時における回転ツールと裏当てツールの使用状態を示す図である。

[図2]接合部の表裏面に対し、回転ツール及び裏当てツールの配置位置を逆にした場合の接合時におけるツールの使用状態を示す図である。

[図3]回転ツールによる摩擦攪拌接合距離（接合開始後の時間）と回転ツールの主軸回転モータ負荷の変化を示すタイムチャートである。

[図4]回転ツールと裏当てツールの各部寸法関係を示す図である。

[図5]本発明の一実施の形態に係わる摩擦攪拌接合装置（装置1）の一部を欠損して示す全体斜視図である。

[図6]図5に示した摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図である。

[図7]図5に示した摩擦攪拌接合装置の要部の概略側面図である。

[図8]図5に示した摩擦攪拌接合装置の上側半分を制御系とともに示す図である。

[図9]他の摩擦攪拌接合装置（装置2）であって、回転ツールと裏当てツールの軸芯の同期を電気的に行う方式を示す図の一部を欠損して示す全体斜視図である。

[図10]図9に示した摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図である。

[図11]他の摩擦攪拌接合装置（装置3）であって、接合時に金属板1、2の突合せ部を接合方向に移動させる方式を示す図の一部を欠損して示す全体斜視図である。

[図12]図1-1に示した摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図である。

[図13]図1-1に示した摩擦攪拌接合装置の要部の概略側面図である。

[図14]本発明の接合方法を2枚の金属板の重ね合わせ溶接に適用した場合の接合時の状態を示し、合わせて把持方式を示す図である。

[図15]本発明の接合方法を2枚の金属板の重ね合わせ溶接に適用した場合の他の接合時の状態と把持方式を示す図である。

[図16]ツール傾斜を説明する断面図である。

[図17]ツール傾斜を説明する概略斜視図である。

[図18]回転ツール、裏当てツールと出入側把持装置との位置関係（出入側把持装置間距離）を示す図である。

[図19]回転ツールおよび裏当てツールの傾き角度を0度に設定して（ツールを傾けずに）、回転ツールおよび裏当てツールを接合部端面から挿入する際の説明図である。

[図20]回転ツールおよび裏当てツールを適度に傾けて、回転ツールおよび裏当てツールを接合部端面から挿入する際の様子を示す図である。

[図21]回転ツールおよび裏当てツールを傾けてプランジングレスで摩擦攪拌接合を行う運転制御（制御1）を示す図である。

[図22]図2-3において、制御装置が行う処理手順を示す制御フロー（制御1）である。

[図23]回転ツールおよび裏当てツールを傾けてプランジングレスで摩擦攪拌接合を行う別の運転制御（制御2）を示す図である。

[図24]図2-3において、制御装置が行う処理手順を示す制御フロー（制御2）である。

[図25]金属板を円筒状に成形して、その両端部を突合せた後、該突合せ部を摩擦攪拌接合し、一体的な円筒部材を製造する概略斜視図である。

[図26]2本のパイプ材を長尺化する際の摩擦攪拌接合方法の概略斜視図である。

[図27A]2枚の金属板をL型になるように配置し、摩擦攪拌接合する際の摩擦

攪拌接合中の概略斜視図である。

[図27B] 2枚の金属板をL型になるように配置し、摩擦攪拌接合する際の接合開始時の概略斜視図である。

[図28] 2枚の金属板をT型になるように配置し、摩擦攪拌接合する際の概略斜視図である。

[図29] 3枚の金属板をT型になるように配置し、摩擦攪拌接合する際の概略斜視図である。

[図30]回転ツールの回転方向とアドバンシングサイド・リトリーティングサイドとの関係を示す図である。

[図31] 2枚の金属板の表面側に段差が生じるケースを説明する図である（異厚ケース1）。

[図32]図31における回転ツール尾端を板厚の薄い金属板側に傾けた状態を示す図である。

[図33]接合後の接合部断面形状の概念図である（異厚ケース1）。

[図34] 2枚の金属板の裏面側に段差が生じるケースを説明する図である（異厚ケース2）。

[図35]接合後の接合部断面形状の概念図である（異厚ケース2）。

[図36] 2枚の金属板の表面側・裏面側共に段差が生じるケースを説明する図である（異厚ケース3）。

[図37]図36における回転ツールを板厚の薄い金属板側に傾けた状態を示す図である。

[図38]接合後の接合部断面形状の概念図である（異厚ケース3）。

発明を実施するための形態

[0058] 次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

[0059] <ツールセット構成と方法概要>

図1は本発明の一実施の形態に係わる摩擦攪拌接合用ツールセットの先端部分の拡大断面図であり、接合時における使用状態を示す図である。接合の形態は、突き合わせ溶接である。

[0060] 図1において、本実施の形態に係わる摩擦攪拌接合用ツールセットは、回転ツール3と裏当てツール4とを有し、回転ツール3と裏当てツール4とは、突き合わせた2枚の金属板1、2の接合部Jの表面側と裏面側に相対向するように配置され、接合部Jを摩擦攪拌する。ツールセットとは、回転ツール3と裏当てツール4の総称である。回転ツール3は、接合部Jを押圧するショルダ面3bを有するショルダ部3cを先端部分に形成したツール本体3aと、このツール本体3aの先端部分にショルダ面3bから突出するよう形成されたピン状の突起部（プローブ）3dとを有している。裏当てツール4は、摩擦攪拌接合に必要な押圧力を受ける押圧力保持面4bを有する押圧力保持面部4cを先端部分に形成したツール本体4aと、このツール本体4aの押圧力保持面4bに形成され、2枚の金属板1、2の接合時に突起部3dの先端部を収納する凹み部4dとを有している。

[0061] 回転ツール3の突起部（プローブ）3dは円筒形の外周形状を有している。裏当てツール4の凹み部4dも円筒形の内周形状が好ましい。押圧力保持面4bや凹み部4dの形状は接合する金属板の形状に合わせて加工することが可能である。（後述）

接合方法はこのようなツールセットを用いて行うものであり、その概要は次のとおりである。まず、回転ツール3及び裏当てツール4を2枚の金属板1、2の接合部Jの表面側と裏面側に相対向するように配置する。次いで、裏当てツール4の押圧力保持面4bが接合部Jの裏面側に位置するように裏当てツール4を保持し、回転ツール3を回転させ、裏当てツール4に近づく方向に移動して、回転ツール3の突起部3dの先端部を裏当てツール4の凹み部4d内に挿入し、ショルダ面3bと押圧力保持面4bとの間に接合部Jを挟み込むとともに、回転ツール3のショルダ面3bを接合部Jの表面側から押圧する。なお、回転ツール3により接合部Jの表面側に付与された押圧力は、接合部Jの裏面側に配置した裏当てツール4の押圧力保持面4bにより保持される。次いで、その状態（回転ツール3の突起部3dの先端部を裏当てツール4の凹み部4d内に挿入し、回転ツール3のショルダ面3bと裏

当てツール4の押圧力保持面4bを接合部Jの表面側と裏面側から押圧した状態)で、回転ツール3を回転させながら接合部Jに沿って移動させる。この移動の間の摩擦攪拌時、突起部3dは接合部Jの板厚方向全域に突入した状態にある。これにより接合部Jの板厚方向全域が摩擦攪拌され、2枚の金属板1、2は接合部Jの板厚方向全域で接合される。

[0062] <効果概要>

本実施の形態の接合方法において、接合部Jの表裏面に対して相対向するように配置した回転ツール3と裏当てツール4は別体であるため、裏当てツール4の凹み部4d内の回転ツール3の突起部3dの挿入量(突起部3d先端と押圧力保持面4bとの距離)が0とならない範囲で、その挿入量を自由に調整することが出来る。これにより金属板1、2の厚みが異なっても、金属板1、2の厚みに合わせて、裏当てツール4の凹み部4d内に回転ツール3の突起部3dを挿入して、突起部3dの長さの範囲内の厚みの金属板の接合部J全範囲を摩擦攪拌接合することが出来る。これにより金属板の厚みに合わせて異なるプローブ長さを有する回転ツールに交換する必要がないため、異なるプローブ長さを有する回転ツールを多数準備する必要がなくなり、ランニングコストを抑え、経済性を向上することが出来る。

[0063] また、回転ツール3と裏当てツール4は別体である。したがって、ボビンツールの場合とは異なり、裏当てツール4にプローブを介して動力を伝達する必要がないため、プローブ(突起部)3dの直径をボビンツールと比較し、小さく出来る。これによりプローブの直径が大きくなることによるショルダ径の大径化が防止出来るため、装置が大型化することなく、この点でも経済性を向上することが出来る。

[0064] また、本実施の形態の接合方法によれば、回転ツール3で突き合わせた金属板1、2の接合部Jの板厚方向全域を摩擦攪拌するため、接合部Jの強度を向上させることが出来る。

[0065] 更に、回転ツール3と裏当てツール4は別体であって、両者間の距離を調整可能であるため、回転ツールの接合部への押し付けに負荷制御を採用する

ことが出来る（後述）。このように負荷制御を採用することが出来るため、金属板の厚み（接合部の厚み）の微小変動に応じ、回転ツール3の突起部3dの裏当てツール4の凹み部4dへの挿入量を調整することで、回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bとの間の距離を固定せずに、摩擦攪拌接合することができる。これにより金属板の厚みの微小変動による回転ツール3のショルダ面3b及び裏当てツール4の押圧力保持面4bと金属板接合部表裏面との接触面における面圧が変動することを回避し、摩擦熱量の変動を抑え、接合部Jの品質低下（接合不良）を防止し、高い信頼性を有する接合が出来る。

[0066] また、本実施の形態の接合方法によれば、回転ツール3と裏当てツール4は別体であるため、それぞれのツール軸芯15を傾けることが出来る。すなわち、少なくともいずれか一方のツール軸心15を傾けることにより、相対向するように配置した回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離 δ について、ツール進行方向の前方の面間距離 δ_1 と比較し、進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるようにすることが出来る（後述）。これにより接合部Jへの押圧力を高めることが出来るため、摩擦攪拌接合による接合部の流動性を向上させ、接合不良を抑制し、高い信頼性を有する接合が出来る。

[0067] 図2は、接合部Jの表裏面に対し、回転ツール3及び裏当てツール4の配置位置を逆にした場合の接合時における回転ツール3と裏当てツール4の使用状態を示す図である。図1では、接合部Jの表面側に、ツール本体3aの先端部分に突起部（プローブ）3dを有する回転ツール3を配置し、接合部Jの裏面側に、裏当てツール本体4aの先端部分に凹み部4dを有する裏当てツール4を配置したが、図2に示すように、接合部Jの表裏面に対して、回転ツール3と裏当てツール4の配置位置を逆にしても、上記の効果は変わらない。また、下記に述べる効果も変わらない。

[0068] <材質>

回転ツール3及び裏当てツール4の材質について言及する。

- [0069] 片面の摩擦攪拌接合は、比較的融点の低い材料であるアルミニウムなどの非鉄合金の分野では、実用化されている。一般に、摩擦攪拌接合では、材料温度を融点の80%程度まで摩擦攪拌熱で上昇させる必要がある。その結果、1000°Cを超える高融点材料の接合では、単位長さ当たりの摩擦攪拌による投入エネルギーが高くなり、更には変形抵抗値も高くなることから、回転ツール3には高い耐熱強度と韌性が求められ、高価な多結晶ダイヤモンド等の材料を使用せざるを得なかった。
- [0070] 更に、これらツール材料を用いても、熱衝撃、ツールの摩耗およびプローブまたは突起に作用する曲げモーメント等により、ツール寿命が短く、1000°Cを超える高融点材料への摩擦攪拌接合の普及を妨げる要因となっている。
- [0071] 本実施の形態では、裏当てツール4の凹み部4dには摩擦攪拌により材料が軟化流動し隙間に埋まり、裏当てツール4の押圧力保持面4bは従来技術の裏当て板と同様な機能を果たす。裏当てツール4の押圧力保持面4bは、回転ツール3から付与される押圧力を保持できる面積であればよく、従来技術の裏当て板と比較して、狭くてよい。表面積が狭いことにより、熱拡散範囲が狭まり、熱エネルギー損出を抑制でき、経済性を向上することが出来る。
- [0072] 熱エネルギー損出を抑制することにより、回転ツール3への熱供給量を低減できるため、回転ツールの材質を焼結炭化タングステンの超硬合金、タンゲスティン合金などとすることで、回転ツール3の材質に高価な多結晶ダイヤモンド等の材料を用いる必要がなくなり、経済性を向上することが出来る。
- [0073] 回転ツール3の材質を焼結炭化タングステンの超硬合金、タンゲスティン合金などとした結果、融点が1000°C以上の金属板の摩擦攪拌において、ツール寿命が長い、経済的な回転ツールを提供出来る。
- [0074] また、裏当てツール4の材質を保熱性の高い材料（すなわち熱伝達率の低い材料）とすることで、更に熱損失が軽減されるため、熱エネルギー供給量を抑制でき、経済性を向上することが出来る。たとえば、裏当てツール4の材

質をセラミックスやチタンとしても良い。

[0075] <びびり振動抑制>

図3は、回転ツール3および裏当てツール4による摩擦攪拌接合時の接合距離（接合開始後の時間）と回転ツールの主軸の回転モータ負荷の変化を示すタイムチャートである。

[0076] プローブまたは突起部を有していない回転ツールを、接合方向に進行させると、回転ツールのショルダ面と金属板の接触面に偏芯荷重が作用すると、びびり振動が発生し、摩擦攪拌が不均一になり、接合不良を起こす問題がある。

[0077] 本発明者等が行なった実験によれば、回転ツール3の突起部（プローブ）3 d の裏当てツール4の凹み部4 dへの挿入量が0 mmを超えることで、図3のタイムチャートに示すように、接合開始直後の数秒においては、びびり振動したが、その後、びびり振動は抑制出来ることを確認した。これは、材料が軟化し、凹み部4 dに材料が充填されることで、挿入された回転ツール3の突起部3 dが、軟化充填された材料を介し、裏当てツール4の凹み部4 d内で内圧を受けた結果、制振力を作用することによるものである。その結果、びびり振動が抑制され、均一な摩擦攪拌が可能となり、この点でも接合不良を抑制し、高い信頼性を有する接合が出来る。

[0078] また、接合開始前に、凹み部4 dに隙間に相当する量の材料を充填しておけば、本振動は回避することが可能である。

[0079] <各部寸法関係の検討>

図4は各部の寸法関係を示している。回転ツール3の各部の寸法関係および裏当てツール4の寸法関係について図4と表1を用いて説明する。

[0080]

[表1]

	金属板の板厚	ショルダ直径D 1	突起部直径d 1	突起部長さL 1
1	0 mmを超える1 mm 以下	3 mmを超える8 mm 以下	1 mmを超える4 mm 以下	接合板厚を超える2 m m以下
2	1 mmを超える3 mm 以下	5 mmを超える15 m m以下	1 mmを超える8 mm 以下	接合板厚を超える4 m m以下
3	3 mmを超える6 mm 以下	8 mmを超える20 m m以下	2 mmを超える12 m m以下	接合板厚を超える7 m m以下
4	6 mmを超える10 m m以下	12 mmを超える25 m m以下	4 mmを超える15 m m以下	接合板厚を超える11 m mm以下

表1 金属板の板厚とショルダ径及び突起部形状（直径及び長さ）

- [0081] 上記において、ツールセットの効果として、金属板の厚みに合わせて異なるプローブ長さを有する回転ツールに交換する必要がないため、異なるプローブ長さを有する回転ツールを多数準備する必要がなくなり、ランニングコストを抑え、経済性を向上することが出来る旨を述べた。
- [0082] この効果を例えば表1の第3項で説明する。金属板の1, 2の板厚が3 mmを超える6 mm以下の全ての板厚とその板厚の微小変動分（1 mm程度）を考慮した2 mmを超える7 mm以下の全ての接合部厚みにおいて1セットのツールセットでカバーできる。接合する金属板1, 2の板厚が範囲外となった場合には、異なるツールセットが必要となるが、従来の摩擦攪拌接合方法と比較し、1セットのツールセットで接合できる板厚範囲は数倍広がり、経済性も格段に向上する。

- [0083] 一方、金属板1, 2の板厚が範囲外となる場合は、異なる回転ツールを準備する必要がある（たとえば、表1第3項→第4項）。
- [0084] ツール本体3aの先端部分に突起部3d（プローブ）を有する回転ツール3のショルダ部3c（ショルダ面3b）の直径D1および突起部3dの直径d1、突起部3dの長さL1は、摩擦攪拌接合する金属板1, 2の厚み、変形抵抗および接合条件により変わる。

[0085] (回転ツールのショルダ径D 1)

まず、回転ツール3のショルダ部3c（ショルダ面3b）の直径D1について言及する。ショルダ直径D1の主たる決定要因は、単位時間当たりに接合部に投入する熱量である。摩擦攪拌接合では、摩擦発熱量不足または摩擦発熱量過多で接合不良を起こす。したがって、所望の摩擦発熱量を生成するショルダ直径D1を選定する必要がある。

[0086] 本発明者等が行なった最大板厚10mmまでの実験によれば、表1に示すような設定条件とすることで、良好な接合部が得られた。すなわち、金属板の板厚が0mmを超え1mm以下ではショルダ直径D1は、3mmを超え8mm以下、板厚が1mmを超え3mm以下ではショルダ直径D1は、5mmを超え15mm以下、板厚が3mmを超え6mm以下ではショルダ直径D1は、8mmを超え20mm以下、板厚6mmを超え10mm以下ではショルダ直径D1は12mmを超え25mm以下であれば、摩擦発熱量不足または摩擦発熱量過多が無い状態で摩擦攪拌接合ができる。これにより、接合不良を起こさない良好な接合部が得られる。

[0087] (回転ツールの突起部直径d 1)

次に、ツール本体3aの先端部分に突起部3d（プローブ）を有する回転ツール3のショルダ部3c（ショルダ面3b）の突起部3dの直径d1について言及する。

[0088] 突起部直径d1の下限値の主たる決定要因は、摩擦攪拌接合時に突起部3dに作用する曲げモーメントである。突起部3dの直径d1が小さいと断面係数が確保できず、突起部3dの折損が生じることがある。したがって、突起部3dの折損を生じることがない断面係数とする必要がある。

[0089] また、突起部直径d1の上限値の主たる決定要因は、摩擦攪拌接合時の摩擦発熱量である。摩擦発熱量は、ショルダ面3bと金属板表面の接触面積で決まる。ショルダ直径D1と突起部直径d1の設定条件によって、金属板表面に接触する回転ツール3のショルダ面3bの面積が変わる。まず、ショルダ直径D1に対し突起部直径d1は小さいことが前提である。更に、ショル

ダ直径 D_1 に対する突起部直径 d_1 の比率が大きい場合には、金属板表面の接触面積が少なくなり、摩擦発熱量が不足する場合がある。したがって、摩擦発熱量不足による接合不良を起こさない突起部直径 d_1 とする必要がある。

[0090] 本発明者等が行なった最大板厚 10 mmまでの実験によれば、表 1 に示すような設定条件が得られた。すなわち、金属板の板厚が 0 mmを超え 1 mm 以下では突起部 3 d の直径 d_1 は、1 mm をを超え 4 mm 以下で、板厚が 1 mm をを超え 3 mm 以下では突起部 3 d の直径 d_1 は、1 mm をを超え 8 mm 以下で、板厚が 3 mm をを超え 6 mm 以下では突起部 3 d の直径 d_1 は、2 mm をを超え 12 mm 以下で、板厚 6 mm をを超え 10 mm 以下では突起部 3 d の直径 d_1 は、4 mm をを超え 15 mm 以下であれば、摩擦攪拌接合時に突起部 3 d に作用する曲げモーメントにより、突起部 3 d の折損を生じることがないことを確認した。

[0091] 更に、突起部直径 d_1 の上限値は、金属板の板厚、変形抵抗などの条件で設定したショルダ径 D_1 において、上記範囲内で適宜選定することで、摩擦発熱量の不足が無い状態で摩擦攪拌接合ができる事を確認した。これにより、接合不良を起こさない良好な接合部を得られる。

[0092] (回転ツールの突起部長さ L_1)

次にツール本体 3 a の先端部分に突起部 3 d (プローブ) を有する回転ツール 3 のショルダ部 3 c (ショルダ面 3 b) の突起部 3 d の長さ L_1 について言及する。

[0093] 突起部長さ L_1 の決定要因は、金属板の板厚である。突起部 3 d の長さ L_1 が金属板の板厚よりも短い場合には、一般的にキッシングボンドと呼ばれている未接合部が発生する。したがって、突起部 3 d の長さ L_1 は、未接合部が無く、全開先状態で接合できる長さとする必要がある。

[0094] 本発明者等が行なった最大板厚 10 mmまでの実験によれば、表 1 に示すような設定条件が得られた。すなわち、金属板の板厚が 0 mm をを超え 1 mm 以下では突起部 3 d の長さ L_1 は、板厚を超える 2 mm 以下で、板厚が 1 mm

を超える3mm以下では突起部3dの長さL1は、板厚を超える4mm以下で、板厚が3mmを超える6mm以下では突起部3dの長さL1は、板厚を超える7mm以下で、板厚が6mmを超える10mm以下では突起部3dの長さL1は、板厚を超える11mm以下であれば、一般的にキッシングボンドと呼ばれている未接合部が無く、全開先状態で接合できることを確認した。

[0095] (裏当てツール4の寸法関係の説明)

例えば、本実施形態では、裏当てツール本体4aの形状を円柱とし、円柱の先端部に押圧力保持面4bと、接合中に、回転ツール3の突起部3dを挿入する凹み部4dを有する。凹み部4dは、円柱状の穴とする。押圧力保持面4bは、金属板との接触面とする。裏当てツール4aの先端部分に凹み部4dを有する裏当てツール4の押圧力保持部4c(押圧力保持面4b)の直径D2および凹み部4dの直径d2、凹み部4dの深さL2は、回転ツール3のショルダ直径D1、突起部直径d1、突起部長さL1に応じて決定される。本発明者等が行なった実験によれば、裏当てツール4の押圧力保持面4dの直径D2は、回転ツール3のショルダ直径D1と同じ値にすることが好ましい。また、凹み部直径d2は、突起部直径d1より大径となり、d1+2mm以下が好ましい。また、凹み部深さL2は、突起部長さL1より長くなり、L1+1mm以下で良好な接合部が得られた。

[0096] (凹み部の直径d2=d1+2mm、長さL2=L1+1mmの説明)

また、本発明の接合方法では、相対向するように配置した回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離δについて、ツール進行方向の前方の面間距離δ1と比較し、進行方向の後方の面間距離δ2が狭くなるように、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾斜した状態で摩擦攪拌接合することが好ましい(図16参照)。

[0097] その場合、凹み部直径d2および凹み部長さL2は、摩擦攪拌接合する金属板の板厚、回転ツール3の突起部3dの直径d1および長さL1、突起部3dの凹み部4dへの挿入量、回転ツール3および裏当てツール4の傾き角

度による幾何学的関係で決まる。

- [0098] 凹み部直径 d_2 および凹み部長さ L_2 は、突起部 $3d$ が凹み部 $4d$ 内で干渉せずに挿入し、傾けることが出来る凹み部直径 d_2 および凹み部長さの最小値で決定される。
- [0099] 凹み部直径 d_2 および長さ L_2 を大きくすれば、突起部 $3d$ が凹み部 $4d$ 内で干渉せず挿入し、傾けることが可能であるが、大きくしすぎることで凹み部 $4d$ へ流動する材料が多くなり、接合不良を発生させる要因となる。
- [0100] 本発明者等が行なった最大板厚 10 mmまでの実験によれば、凹み部 $4d$ の直径 d_2 は、 $d_1 + 2\text{ mm}$ 以下、凹み部 $4d$ の長さ L_2 は、 $L_1 + 1\text{ mm}$ 以下であれば、突起部 $3d$ が凹み部 $4d$ 内で干渉することがなく、接合不良を起こさない良好な接合部が得られることを確認した。
- [0101] 図示はしないが、摩擦攪拌接合する金属板の材質などにより、回転ツール 3 のショルダ面 3b に螺旋溝の加工を施し、突起部 $3d$ にネジ加工、凹み部 $4d$ にメネジ加工などを施してもよく、これにより摩擦攪拌接合における攪拌効率を向上させることが出来る。
- [0102] また、図 4において、プローブまたは突起直径 d_1 および凹み部直径 d_2 は、各長さ L_1 、 L_2 内で同径とし図示したが、テーパ状に加工しても、摩擦攪拌接合の効果は変わらない。
- [0103] <装置構成>
本発明の接合方法を実施する摩擦攪拌接合装置の実施の形態を説明する。
摩擦攪拌接合装置は例えば、下記、装置 1～3 のような装置が考えられる。
- [0104] (装置 1：ツール移動・機械同調)
図 5 は、本発明の一実施の形態に係わる摩擦攪拌接合装置（装置 1）の一部を欠損して示す全体斜視図であり、図 6 は、その摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図であり、図 7 は、その摩擦攪拌接合装置の要部の概略側面図であり、図 8 はその摩擦攪拌装置部分の上側半分を制御系とともに示す図である。
- [0105] 図 5～8において、本実施の形態に係わる金属板の摩擦攪拌接合装置は、

2枚の金属板1、2の表裏面をそれぞれ把持する入側把持装置5および出側把持装置6と、回転ツール3を2枚の金属板1、2の接合部Jの表面側に配置し、回転ツール3を回転駆動するツール回転駆動装置7と、裏当てツール4を2枚の金属板1、2の接合部Jの裏面側の回転ツール3に対向する位置に配置し、この配置位置を保持するツール位置保持装置46と、回転ツール3を裏当てツール4に近づく方向に移動して、回転ツール3を金属板1、2の接合部Jの表面側に押圧するツール押圧装置45と、ツール押圧装置45とツール位置保持装置46が設けられるキャリッジフレーム19と、回転ツール3と裏当てツール4を接合部Jに沿って接合方向に移動させる移動装置75を有している。

- [0106] 入側把持装置5および出側把持装置6は、それぞれ、上下の把持板5a、5bおよび6a、6bを有し、上下把持板5a、5bおよび6a、6bは、図6の開閉シリンダー5c、6cを備えた開閉機構により開閉可能である。
- [0107] また、2枚の金属板1、2の突合せ位置や接合線を回転ツール3と裏当てツール4の摩擦攪拌接合位置に合わせるために、2枚の金属板1、2を入出側把持装置5、6で把持した状態で、接合線の直角方向に可動することができるよう、入出側フレーム13、14にそれぞれ、シリンダー16、17を設置する。このシリンダーの代替として、電動モータによる方式を取っても良い。
- [0108] キャリッジフレーム19は、C型形状をしており、上水平フレーム19aと下水平フレーム19bとを有する。回転ツール3はツール回転駆動装置7およびツール押圧装置45を介して上水平フレーム19aに支持され、裏当てツール4はツール位置保持装置46を介して下水平フレーム19bに支持されている。
- [0109] キャリッジフレーム19の底部には車輪71が設けられている。車輪71は、台板18上に設置されたレール11a、11b上を走行可能である。
- [0110] 移動装置75は、車輪71、スクリュー72、走行用モータ73、制御装置74（制御装置83の一機能）を有している。スクリュー72の一端はキ

ヤリッジフレーム 19 と連結し、走行用モータ 73 はスクリュー 72 を回転駆動する。制御装置 74 の指令により走行用モータ 73 を駆動すると、スクリュー 72 が回転し、キャリッジフレーム 19 は移動する。これにより、回転ツール 3 と裏当てツール 4 は機械的に同調した状態で、金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向（接合方向）に走行する。

- [0111] 前述したように、回転ツール 3 には、ツール本体 3a の先端部分にショルダ面 3b から突出するようにの突起部（プローブ）3d が形成され、裏当てツール 4 には、裏当てツール本体 4a の押圧力保持面 4b に突起部 3d の先端部を収納する凹み部 4d が形成されている。
- [0112] 裏当てツール 4 は、2 枚の金属板 1, 2 の接合部 J の裏面側に配置され、ツール位置保持装置 46 によりこの配置位置に保持される。
- [0113] ツール位置保持装置 46 は、裏当てツール 4 が 2 枚の金属板 1, 2 の接合部 J の裏面側に配置されるように、その形状について設定されている（位置固定）。
- [0114] ツール回転駆動装置 7 には、回転ツール 3 を回転駆動する回転用モータ 53 が内蔵されている。
- [0115] ツール押圧装置 45 は、回転ツール 3 を裏当てツール 4 に近づく方向に移動するとともに、ショルダ面 3b を接合部 J の表面側から押圧し、ショルダ面 3b と押圧力保持面 4b の間に接合部 J を挟み込むことで接合部 J に押圧力を付与する。
- [0116] 回転ツール 3 は、ツール回転駆動装置 7 によって回転駆動され、ツール押圧装置 45 によって回転ツール 3 の突起部 3d の先端部を裏当てツール 4 の凹み部 4d 内に挿入した状態で、ショルダ面 3b を接合部 J の表面側に押圧される。
- [0117] ツール回転駆動装置 7 およびツール押圧装置 45 は上ケース 51 内に少なくとも部分的に収納されている。ツール位置保持装置 46 は下ケース 52 内に少なくとも部分的に収納されている。
- [0118] このように、裏当てツール 4 はツール位置保持装置 46 により、2 枚の金

属板 1, 2 の接合部 J の裏面側に配置・保持されるよう設定されているが、実際には設定した配置位置に微差が生じる可能性もある。この場合、ツール押圧装置 4 5 の押圧力により、2 枚の金属板 1, 2 が撓み、微差を吸収する。

- [0119] しかしながら、接合する材料の剛性が高く、突き合わせた金属板の接合部 J での波打ちなどによる形状変化が発生した場合に、ツール押圧装置 4 5 の押圧力だけでは接合部 J の表面側と裏面側を押圧できないことがある。
- [0120] その場合には、ツール位置保持装置 4 6 は、位置調整機能を有していても良い。ツール位置保持装置 4 6 は裏当てツール 4 の位置を上下に変動し、裏当てツール 4 の押圧力保持面 4 b を接合部の裏面側に当接するようにする。ツール位置保持装置 4 6 は位置保持用モータ 6 1 b を有し、位置保持用モータ 6 1 b の駆動により、ツール 4 の押圧力保持面 4 b の位置を調整する。
- [0121] なお、ツール位置保持装置 4 6 は、ツール押圧装置 4 5 による押圧力を、接合部 J の裏面側に配置した裏当てツール 4 の押圧力保持面 4 b を介して保持する。また、位置調整機能により、押圧力保持面 4 b の位置を接合部 J の裏面側に当接するように調整することで、押圧力保持面 4 b で回転ツール 3 からの押圧力を保持するだけでなく、裏当てツール 4 から押圧しても良い。
- [0122] 図 8 に示すように、回転ツール押圧装置 4 5 は、押圧用モータ 6 1 a と、この押圧用モータ 6 1 a により回転駆動されるスクリュー 6 2 a と、このスクリュー 6 2 a の回転によりスクリュー 6 2 a の軸方向に直線移動するサポートフレーム 6 3 a とを有し、回転駆動装置 7 はサポートフレーム 6 3 a と一緒にスクリュー 6 2 a の軸方向に直線移動するようにサポートフレーム 6 3 a に取り付けられている。
- [0123] さらに、摩擦攪拌接合装置は、回転ツール 3 の軸芯 1 5 a を傾けて支持する上傾斜支持装置 7 6 a および裏当てツール 4 の軸芯 1 5 b を傾けて支持する下傾斜支持装置 7 6 b を更に有している。傾斜支持装置 7 6 a, 7 6 b は角度調整式である。上傾斜支持装置 7 6 a は上水平フレーム 1 9 a に設けられ、上水平フレーム 1 9 a が支持する軸 6 4 a を回転駆動する角度調整用モ

ータ 77 a を有している。下傾斜支持装置 76 b は下水平フレーム 19 b に設けられ、下水平フレーム 19 b が支持する軸 64 b を回転駆動する角度調整用モータ 77 b を有している。傾斜支持装置 76 a, 76 b は、回転ツール 3 および裏当てツール 4 の軸芯 15 を傾けて固定的に支持する固定方式であってもよい。

[0124] (装置 2 : ツール移動・電気同調)

図 9 は、他の摩擦攪拌接合装置（装置 2）の一部を欠損して示す全体斜視図であり、図 10 は、その摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図である。

[0125] 図 9, 10において、摩擦攪拌接合装置は、2枚の金属板 1, 2 の表裏面をそれぞれ把持する入側把持装置 5 および出側把持装置 6 と、回転ツール 3 を2枚の金属板 1, 2 の接合部 J の表面側に配置するように装着し、回転ツール 3 を回転駆動するツール回転駆動装置 7 と、裏当てツール 4 を2枚の金属板 1, 2 の接合部 J の裏面側の回転ツール 3 に対向する位置に配置し、この配置位置を保持するツール位置保持装置 46 と、回転ツール 3 を裏当てツール 4 に近づく方向に移動して、回転ツール 3 を金属板 1, 2 の接合部 J の表面側に押圧するツール押圧装置 45 と、回転ツール 3 と裏当てツール 4 を接合部 J に沿って接合方向に移動させる移動装置 47, 48 とを有している。

[0126] 前述したように、回転ツール 3 には、ツール本体 3 a の先端部分にショルダ面 3 b から突出するようにの突起部（プローブ） 3 d が形成され、裏当てツール 4 には、裏当てツール本体 4 a の押圧力保持面 4 b に突起部 3 d の先端部を収納する凹み部 4 d が形成されている。

[0127] ツール位置保持装置 46 は、裏当てツール 4 を2枚の金属板 1, 2 の接合部 J の裏面側に配置・保持する。

[0128] ツール押圧装置 45 は、ツール回転駆動装置 7 に装着した回転ツール 3 を裏当てツール 4 に近づく方向に移動し、回転ツール 3 の突起部 3 d の先端部を裏当てツール 4 の凹み部 4 d 内に挿入し、ショルダ面 3 b と押圧力保持面 4 b との間に接合部 J を挟み込むとともに、回転ツール 3 のショルダ面 3 b

を接合部 J の表面側に押圧するよう制御される。

- [0129] 上下の移動装置 4 7, 4 8 は、ツール回転駆動装置 7 によって回転ツール 3 が回転駆動され、ツール押圧装置 4 5 によって回転ツール 3 の突起部 3 d の先端部が裏当てツール 4 の凹み部 4 d 内に挿入され、ショルダ面 3 b と押圧力保持面 4 bとの間に接合部 J が挟み込まれ、回転ツール 3 のショルダ面 3 b が接合部 J の表面側に押圧され、ツール位置保持装置 4 6 によって裏当てツール 4 が 2 枚の金属板 1, 2 の接合部 J の裏面側に配置・保持された状態で、回転ツール 3 と裏当てツール 4 を接合部 J に沿って移動させ、接合部 J の板厚方向全域を回転ツール 3 で摩擦攪拌接合するよう制御される。
- [0130] 入側把持装置 5 および出側把持装置 6 は、それぞれ、上下の把持板 5 a, 5 b および 6 a, 6 b を有し、上下把持板 5 a, 5 b および 6 a, 6 b は、図示しない駆動装置を備えた開閉機構により開閉可能である。
- [0131] ツール回転駆動装置 7 には、回転ツール 3 を回転駆動する回転用モータ 5 3 が内蔵されている。ツール回転駆動装置 7 およびツール押圧装置 4 5 は上ケース 5 1 内に少なくとも部分的に収納されている。ツール位置保持装置 4 6 は下ケース 5 2 内に少なくとも部分的に収納されている。
- [0132] 上移動装置 4 7 は、上ハウジング 9 に固定された左右の上レール 1 1, 1 1 と、ケース 5 1 を軸 6 4 a, 6 4 a を介して支持する左右の走行フレーム 6 5 a, 6 5 a と、左右の走行フレーム 6 5 a, 6 5 a に設けられ、上レール 1 1, 1 1 上を走行する左右、前後の車輪 6 6 a, 6 6 a と、左右の走行フレーム 6 5 a, 6 5 a に取り付けられ、前後の車輪の少なくとも一方を駆動する走行用モータ 6 7 a, 6 7 a (図示省略) とを有しており、ツール回転駆動装置 7 およびツール押圧装置 4 5 は上レール 1 1, 1 1 上を、金属板 1, 2 の接合部 J に沿って金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向に走行する。
- [0133] 下移動装置 4 8 も同様に構成され、ツール位置保持装置 4 6 は下ハウジング 1 0 に固定された下レール 1 2, 1 2 上を、金属板 1, 2 の接合部 J に沿って金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向に走行する。

[0134] 上移動装置 4 7 の走行用モータ 6 7 a, 6 7 a と下移動装置 4 8 の走行モータ 6 7 b, 6 7 b とは同期制御される。これにより、回転ツール 3 と裏当てツール 4 は電気的に同調した状態で、金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向（接合方向）に走行する。

[0135] (装置 3 : 金属板移動・電気同調・機械同調)

図 1 1 は、他の摩擦攪拌接合装置（装置 3）の一部を欠損して示す全体斜視図であり、図 1 2 は、その摩擦攪拌接合装置の要部の概略正面図であり、図 1 3 は、その摩擦攪拌接合装置の要部の概略側面図である。

[0136] この摩擦攪拌接合装置（装置 3）は、入側把持装置 5 および出側把持装置 6 を固定するフレーム 1 3, 1 4 を接合方向へ移動させることにより、2 枚の金属板 1, 2 を接合部 J に沿った接合方向へ移動させる。入側フレーム 1 3 と出側フレーム 1 4 は、連結部材を介して一体として形成されており、移動装置 7 5 の駆動により機械的に同調した状態で、金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向（接合方向）に走行する。

[0137] なお、入側フレーム 1 3 と出側フレーム 1 4 は位置センサを有し、この位置センサの計測位置に基づいて、電気的に同調した状態で、金属板 1, 2 の進行方向に直交する方向（接合方向）に走行してもよい。

[0138] 本実施の形態に係わる接合装置に備えられる制御系については後述する。

[0139] <接合方法>

次に、上述した摩擦攪拌接合装置（装置 1 ~ 3）を用いて行う本発明の一実施の形態に係わる金属板の摩擦攪拌接合方法（以下適宜、単に接合方法という）を突き合わせ接合を行う場合を例に説明する。

[0140] 回転ツール 3 と裏当てツール 4 を 2 枚の金属板 1, 2 の接合部 J（突き合わせ部）にその表面側および裏面側から挿入し、回転ツール 3 を回転させることによって生じる摩擦熱を利用して摩擦攪拌し、2 枚の金属板 1, 2 を接合する。

[0141] 本実施の形態に係わる接合方法では、まず、回転ツール 3 および裏当てツール 4 を挟んで、その両側に配置された入側把持装置 5 および出側把持装置

6によって2枚の金属板1，2の表裏面をそれぞれ把持する。

- [0142] ツール位置保持装置46により、裏当てツール4を2枚の金属板1，2の接合部Jの裏面側に配置・保持する。次いで、ツール押圧装置45を駆動して、2枚の金属板1，2の接合部Jである突き合わせ部の表面側の裏当てツール4に対向する位置に配置した回転ツール3を裏当てツール4に近づくよう移動し、接合部Jの板厚方向の全域で未接合部の無い様に、回転ツール3の突起部（プローブ）3dを裏当てツール4の凹み部4dに挿入させる。
- [0143] 裏当てツール4の押圧力保持面4bを2枚の金属板1，2の接合部Jの裏面側に保持しながら、ツール回転駆動装置7を駆動して回転ツール3を回転させ、回転ツール3のショルダ面3bを2枚の金属板1，2の接合部Jの表面側に押圧して摩擦攪拌する。なお、回転ツール3により接合部Jの表面側に付与された押圧力は、接合部Jの裏面側に配置した裏当てツール4の押圧力保持面4bにより保持される。
- [0144] そして、この状態（回転ツール3の突起部3dを裏当てツール4の凹み部4dに挿入させかつ回転ツール3のショルダ面3b、裏当てツール4の押圧力保持面4bを接合部Jの表面側と裏面側に押圧した状態）で、移動装置75（装置1）を駆動して、接合部Jに沿って回転ツール3を回転させながら、金属板1，2の進行方向に直交する方向（接合方向）に移動させて摩擦攪拌接合する。
- [0145] 上述の装置2においては、移動装置47，48を駆動して、接合部Jに沿って回転ツール3を回転させながら、金属板1，2の進行方向に直交する方向（接合方向）に移動させて摩擦攪拌接合する。
- [0146] 上述の装置3においては、移動装置75（装置3）を駆動して、2枚の金属板1，2をそれぞれ把持した入側把持装置5および出側把持装置6を固定するフレーム13，14を移動させる。2枚の金属板1，2を接合方向と同方向に移動させることにより摩擦攪拌接合する。
- [0147] また、本実施の形態に係わる接合方法では、傾斜支持装置76a，76bによって、ツール進行方向前方の面間距離δ1と比較し、進行方向の後方の

面間距離 δ_2 が狭くなるように、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾ける。回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離を面間距離 δ とする。この傾斜状態で、回転ツール3を回転させながら、金属板1、2の進行方向に直交する方向（接合方向）に移動させて摩擦攪拌接合する（後述）。

[0148] <重ね合わせ接合>

図14および図15は、本発明の接合方法を2枚の金属板の重ね合わせ接合に適用した場合の接合時の状態を示す図であり、図14と図15とでは、本発明の接合方法を重ね合わせ接合に適用する場合の把持方式の違いを示している。

[0149] 本発明者等は、突き合わせの摩擦攪拌接合と同様に重ね合わせた金属板1、2の摩擦攪拌接合においても、図14および図15に示すように、回転ツール3の先端部分は、ショルダ面3bから突出する突起部3dを形成し、相対向する裏当てツール4の先端部分の押圧力保持面4bには、突起部3dの先端部を収納する凹み部4dを形成し、回転ツールの突起部3dの少なくとも先端部を裏当てツールの凹み部4d内に挿入した状態で、回転ツール3と裏当てツール4を接合部Jに沿って移動させ、金属板1、2の摩擦攪拌接合を行なった。

[0150] 重ね合わせ溶接に本発明を適用する場合、出入側把持装置5、6による金属板1、2の把持は、重ね合わせた金属板1、2を把持する場合と、金属板1、2をそれぞれ単独で把持する場合がある。

[0151] 図14は前者の例であり、2枚の金属板1、2の重ね合わせ部を長めに取り、出入側把持装置5、6は接合部としての重ね合わせ部の両側の金属板1、2を2枚一緒に把持する。図15は後者の例であり、出入側把持装置5、6は接合部としての重ね合わせ部の両側の金属板1、2を1枚ずつ把持する。

[0152] 図14の例では、接合時に重ね合わせ部の密着度を高めることが難しい。また、出入側把持装置5、6が位置する高さが同じにならないので、高さ調

整機構が必要になる。この点で、図15の例の方が好ましいと考えられる。

[0153] <接合装置・接合方法の効果>

以上のように図5～図13に示した摩擦攪拌接合装置（装置1～3）を用いて本発明の接合方法を実施することにより、ツールセットの実施の形態で説明したように、回転ツール寿命を向上し、経済性に優れ、かつ接合不良と金属板の破断を抑制し、高い信頼性を有する接合を行うことが出来る。

[0154] <更なる特徴：ツール傾斜>

以下に、本実施の形態に係わる接合方法および装置の更なる特徴の詳細を説明する。

[0155] まず、回転ツール3および裏当てツール4の傾斜について言及する。

[0156] 図16は、ツール傾斜を説明する断面図であり、図17はその概略斜視図である。回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離を面間距離 δ とする。

[0157] 本実施の形態では、ツール進行方向前方の面間距離 δ_1 と比較し、進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるように、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾けた状態で、回転ツール3を回転させながら摩擦攪拌接合する。

[0158] 裏当てツール4の凹み部4dの直径 d_2 は、回転ツール3の突起部3dの直径 d_1 、長さ L_1 および傾斜角 θ_1 から、回転ツール3の突起部3dと裏当てツール4の凹み部4dが干渉しない大きさに設定する（図4参照）。

[0159] このようにツール進行方向前方の面間距離 δ_1 と比較し、進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるように、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾けることによって、回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bと材料間の面圧を高め、摩擦攪拌接合による接合部の流動性を向上させ接合欠陥を抑制することが出来る。

[0160] 更に、裏当てツール4の凹み部4dには、摩擦攪拌により材料が軟化流動し、隙間が埋まる。これにより、裏当てツール4の凹み部4dに挿入された回転ツール3のプローブまたは突起部3dが、隙間に軟化充填された材料を

介し、裏当てツール4の凹み部4 d内で内圧を受けた結果、制振力が作用し、回転ツール3の半径方向の制振性能が向上する。その結果、びびり振動が抑制され、均一な摩擦攪拌が可能となり、この点でも接合不良を抑制し、接合部の強度を向上させることが出来る。

[0161] ここで、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾ける角度 θ_1 、 θ_2 が大きすぎる場合には、進行方向の後方のショルダ面の金属板1、2への挿入量が増加する。その結果、金属板1、2へ挿入されたショルダ部3 cと押圧力保持部4 cの体積分の接合部の材料がビード外部へ放出され、接合部の厚みの局部的な減少が発生し、接合部の強度が低下する。特に接合する金属板1、2の板厚が2 mm以下と薄い場合には、接合部の厚みの減少する割合が大きく、接合部から板破断する問題がある。

[0162] したがって、金属板1、2の板厚が2 mm以下の場合には、傾き角 θ_1 または θ_2 を0°を超えることなくして、接合部厚みの局部的な減少による接合部の強度低下を抑制し、接合部からの板破断を抑制することが出来る。更に、接合部の厚みの局部的な減少を抑制するためには、好適には傾き角 θ_1 または θ_2 を0°を超えることなくして、更に好適には0°を超える1°以下とする。

[0163] <更なる特徴：把持装置間距離>

図18は、回転ツール3、裏当てツール4と出入側把持装置5、6との位置関係（出入側把持装置間距離）を示す図である。

[0164] 次に、出入側把持装置5、6間の距離 L_c と回転ツール3の直径 D_3 、出入側把持装置5、6間の距離 L_c と裏当てツール4の直径 D_4 （例えば、裏当てツールの形状を円柱とした場合）との関係について、図18を用いて説明する。なお、突合せ接合を例とするが、重ね合わせ接合でも同様なことがいえる。

[0165] 金属板1、2の材料剛性が低い場合、すなわち金属板の板厚 t_1 、 t_2 が回転ツール3のショルダ部3 cと裏当てツール4の押圧力保持部4 cの直径より小さく、薄い場合、または高温変形抵抗 σ_1 、 σ_2 が低い場合には、入

側把持装置 5 と出側把持装置 6 間の距離 L_c を回転ツール 3 のツール本体直 径 D_3 或いは裏当てツール 4 の本体直径 D_4 の 1.5 倍以上 5 倍以下とし、 図 18 に示すように、回転ツール 3 および裏当てツール 4 の近傍を把持する ことが好ましい。すなわち、下記の式を満足するように回転ツール 3 および 裏当てツール 4 に対して入出側把持装置 5, 6 を配置することが好ましい。

[0166]
$$L_c = D_3 (D_4) \times (1.5 \sim 5)$$

$$L_c = L_{c1} + L_{c2}$$

L_c : 入出側把持装置間距離

L_{c1} : 回転ツール軸芯と入側把持装置間距離

L_{c2} : 回転ツール軸芯と出側把持装置間距離

D_3 : 回転ツールのツール本体直径

D_4 : 裏当てツールの本体直径

本発明において、上記のように把持装置間距離と回転ツールおよび裏当て ツールとの関係を定めるのは、次の理由による。金属板 1, 2 の材料剛性が 低い場合、すなわち金属板の板厚 t_1, t_2 が薄い場合、または高温変形抵抗 σ_1, σ_2 が低い場合には、金属板 1, 2 を入出側把持装置 5, 6 で把持して摩擦攪拌接合を行うと、摩擦攪拌接合時に発生する摩擦熱による熱膨張・熱変形およびプローブまたは突起通過時の排斥力とショルダ部 3c の回転 による材料へのせん断力により金属板 1, 2 が座屈を起こす可能性がある。 本発明者等は、その点について検討を重ねた結果、下記の知見を得た。

[0167] 金属板（鋼板）の板厚 3 mm 以上の場合は、ツール直径 D (= $D_3 = D_4$) = 25 mm に対し、把持装置間距離 L_c が 125 mm 以下であれば、座 屈を起こさずに接合可能であった。この場合の把持装置間距離 L_c はツール 直径 D の 5 倍以下である。

[0168] また、金属板の板厚が 3 mm 以下の場合には、ツール直径 D (= $D_3 = D_4$) の 5 倍では、座屈を起こし、接合が出来ない場合があった。

[0169] したがって、金属板の板厚が 3 mm 以下の場合には、板厚や材料の高温変 形抵抗値により、適宜、5 倍以下の範囲内で設定すれば、座屈を起こさず接

合出来ることを確認した。

- [0170] 以上より、入出側把持装置5、6間の距離 L_c をツール直径Dの5倍以下とすることにより、摩擦攪拌接合時に発生する摩擦熱による熱膨張・熱変形およびプローブまたは突起通過時の排斥力と回転ツール3のショルダ部3cの回転による材料へのせん断力による座屈を起こさずに、金属板1、2を接合することが出来る。
- [0171] また、板厚が3mm以下となる場合は、入出側把持装置5、6間の距離 L_c をツール本体直径Dの1.5倍以上3倍以下とすることがより好ましく、ツール本体直径Dの1.5倍以上2倍以下とすることが更に好ましい。
- [0172] 一方、回転ツール3による摩擦攪拌時は、接合部の負荷変動や可動部のクリアランス等により回転ツール3が微振動を起こすことは不可避であり、入出側把持装置5、6を回転ツール3および裏当てツール4に余り近づけすぎると、両者が干渉する（当たる）おそれがある。入出側把持装置5、6間の距離 L_c を回転ツール直径D3および裏当てツール4の本体直径D4の1.5倍以上とすることにより、回転ツール3および裏当てツール4が微振動を起こしても、回転ツール3および裏当てツール4と入出側把持装置5、6との干渉を防止し、装置寿命を向上することが出来る。
- [0173] 以上のように入出側把持装置5、6間の距離 L_c を回転ツール直径の1.5倍以上5倍以下とし、金属板1、2の表裏面を入出側把持装置5、6でショルダ部および押圧力保持部近傍を把持することで、金属板1、2が薄く材料剛性が低い場合でも、摩擦攪拌接合時に発生する摩擦熱による熱膨張・熱変形およびプローブまたは突起通過時の排斥力とショルダ部の回転による材料へのせん断力による金属板の座屈を抑制し、かつ金属板1、2の突合せ精度を良好に保ち、安定した接合を行なうことが出来る。
- [0174] <更なる特徴：プランジングレス>
次に、プランジングレスについて言及する。
- [0175] 従来の片面摩擦攪拌接合では、裏当て板への熱拡散が生じるため、摩擦攪拌開始前に、回転ツールのショルダ面が金属板1、2の表面に接触した状態

で、回転ツールを回転させることにより、回転ツールのショルダ面と金属板1, 2の表面の摩擦発熱で、金属板材料の温度が材料が軟化する融点の約80%程度の温度に上昇するまで挿入位置を保持するプランジングと呼ばれる作業が必要となる。金属板1, 2が軟化した後に、摩擦攪拌深さ位置を固定させた状態あるいは摩擦攪拌装置のツール回転用モータ負荷を一定値に制御しながら回転ツールを接合方向へ移動させ、摩擦攪拌接合を行う。このプランジング作業は時間を要し、その分、接合のタクトタイムが長くなり、生産効率を高める上で制約となっていた。

[0176] 裏当てツール4の押圧力保持面部4cは片面摩擦攪拌接合の裏当て板と同様な役割を果たす。一方、裏当てツール4の押圧力保持面4bは、片面摩擦攪拌接合の裏当て板と比較して、熱拡散に寄与する表面積が狭い。そこで、本発明者等は、片面摩擦攪拌接合で生じていたような裏当て板への熱拡散が無くなり、接合部への投入熱量を抑制でき、温度上昇が短時間で達成されることに着目し、摩擦攪拌接合開始前のプランジング工程を省略することが可能ではないかと考え、金属板1, 2の端面からプランジングをせずに直ちに摩擦攪拌接合を開始した。その結果、金属板1, 2が円滑に塑性流動することを確認した。

[0177] 更に好適には、回転ツール3のプローブまたは突起部3dと裏当てツール4の凹み部4d間の隙間を事前に摩擦攪拌するなどし、接合する金属と同じ材質の材料で埋めておけば、前述の通り、初期の偏芯荷重による振動は抑制することが出来る。

[0178] したがって、本発明の接合方法によれば、プランジング工程を省略したプランジングレスの摩擦攪拌接合を実現することが出来、これにより接合のタクトタイムを短縮し、生産効率を高めることが出来る。

[0179] <更なる特徴：プランジングレスとツール傾斜>

次に、プランジングレスと回転ツール3と裏当てツール4の傾斜について言及する。

[0180] 図19は、ツールセット3, 4の傾き角度を0度に設定して（ツールを傾

けずに) 回転ツール3と裏当てツール4を接合部端面24から挿入する際の説明図である。プランジングレスで摩擦攪拌を開始するために、回転ツール3と裏当てツール4を接合部端面24から挿入する際のツール挿入位置は、接合部Jと回転ツール3と裏当てツール4の相対位置で決定される。図19に示すように回転ツール3の先端部3dを裏当てツール4の凹み部4dに挿入する挿入位置が微小にずれ、回転ツール3の先端部3dが過挿入となつた場合には、回転ツール3および裏当てツール4の側面で接合部端面24を押付け、金属板1, 2を座屈させる等のトラブルの発生並びに摩擦攪拌不良を起こす可能性がある。

[0181] 図20は、回転ツール3および裏当てツール4を適度に傾けて回転ツール3および裏当てツール4を接合部端面24から挿入する際の様子を示す図である。接合部端面24からの円滑なツール挿入を果たすためには、図20に示す通り、相対向するように配置した回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離 δ について、ツール進行方向の前方の面間距離 δ_1 と比較し、進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるよう、回転ツール3または裏当てツール4の少なくともいずれか一方を傾けた状態で攪拌する。

[0182] このときの傾き角 θ_1 および θ_2 は、好適には 0° を超えて 10° 以下、更に好適には 0° を超えて 6° 以下、更に好適には 0° を超えて 3° 以下とする。

[0183] これにより回転ツール3のショルダ面3bおよび裏当てツール4の押圧力保持面4bから接合部端面24に接触するため、回転ツールおよび裏当てツールの側面から接合部端面24を押付けることがなくなり、金属板座屈等のトラブルや摩擦攪拌不良を起こすことなく、プランジングレスでスムーズに摩擦攪拌接合を開始することができる。そして、その後の接合過程において、回転ツール3および裏当てツール4が傾いていることにより、前述したように、回転ツール3のショルダ面3bおよび裏当てツール4の押圧力保持面4bと材料間の面圧を高め、摩擦攪拌接合の際に発生するバリや接合欠陥を抑制することが出来る。

[0184] <更なる特徴：運転制御>

次に、プランジングレスで摩擦攪拌接合を行う運転制御について説明する。

[0185] まず、その運転制御に係わる制御系について説明する。

[0186] 図8に示すように、本実施の形態に係わる接合装置は、上ケース51の下面に取り付けられた上位置計測器81aおよびツール回転駆動装置7の筒体とサポートフレーム63aとの間に取り付けられた上荷重計測器82aと、下ケース52の上面に取り付けられた下位置計測器（ロードセル）81bと制御装置83とを有している。

[0187] 制御装置83は、上位置計測器81aおよび上荷重計測器82aの計測値を入力し、所定の演算処理を行い、ツール回転駆動装置7の回転用モータ53、ツール押圧装置45の押圧用モータ61a、移動装置75の走行用モータ73に指令信号を送り、ツール回転駆動装置7、ツール押圧装置45、移動装置75の動作を制御する。

[0188] 図示の例では、上下位置計測器81aは非接触式であるが、接触式であっても構わない。また、傾斜支持装置76a、76bが角度調整式である場合、制御装置83は事前に設定したデータに基づいて傾斜支持装置76a、76bの角度調整用モータ77a、77bに指令信号を送り、回転ツール3および裏当てツール4を傾けて所定の角度で支持する。

[0189] 下側に取り付けた裏当てツール4の上下方向位置が移動可能な構成の場合には、下位置計測器81bの計測値を入力し、所定の演算処理を行い、ツール位置保持装置46の動作を制御する。下位置計測器81bは上位置計測器81aと同様に非接触式でも、接触式であっても構わない。

[0190] (制御1)

図21は、回転ツール3および裏当てツール4を傾けてプランジングレスで摩擦攪拌接合を行う運転制御を示す図である。図22は、図8に示した制御装置83が行う処理手順を示す制御フローである。

[0191] 図21および図22に示す通り、摩擦攪拌接合開始前は、回転ツール3お

および裏当てツール4は待機位置20a, 20bにある。この待機位置20a, 20bにおいて、回転ツール3および裏当てツール4は傾けた状態にある。

- [0192] 上ケース51に取り付けられた上位置計測器81a(図8参照)を用いて接合部Jと回転ツール3および裏当てツール4間の距離を測定し、回転ツール3の突起部3dの予定挿入深さを演算する(ステップS1)。次に、裏当てツール4を初期設定位置に固定し、押圧用モータ61aを駆動して上回転ツール3の突起部3dを予定挿入深さまで位置制御にて移動させる(ステップS2)。このとき、位置計測器81aの計測値に基づいて、回転ツール3のショルダ面3bを所定範囲(例えば板厚t)に設定する。そして、このようにツール挿入位置を位置制御にて保持した状態で、移動装置75を駆動して上ケース51、52を接合方向へ移動させ(ステップS2)、接合部端面24の摩擦攪拌開始位置21a, 21bから摩擦攪拌接合を開始する。このとき、前述したように、回転ツール側は位置制御、裏当てツール側は位置固定の状態のまま接合部端面24から回転ツール3のショルダ面3bおよび裏当てツール4の押压力保持面4bを接合部端面24に当てながら回転ツール3の突起部3dを金属板1, 2に挿入することによって、プランジングレスで摩擦攪拌接合を開始する(図21等参照)。
- [0193] 摩擦攪拌接合開始後、回転ツール3の回転用モータ53の制御電流に基づいて回転用モータ53の負荷が所定の値となるようにツール挿入位置を制御する負荷一定制御とし(ステップS3)、摩擦攪拌接合が終了する摩擦攪拌終了位置22a, 22b到達前に、その時点のツール挿入位置を保持する位置一定制御に切替え(ステップS4)、摩擦攪拌終了位置22a, 22bを通過させるように制御する。裏当てツール4については、摩擦攪拌接合開始後も固定位置が維持され、位置固定のまま摩擦攪拌終了位置22a, 22bを通過させる(ステップS2→S4)。
- [0194] このように摩擦攪拌接合開始後に、回転ツール3を負荷一定制御に切り替えることで、接合部Jの厚みが変動した場合でも安定して摩擦攪拌すること

が出来る。

[0195] 上記の各ステップの制御は制御装置 8 3 が上位置計測器 8 1 a の計測値を入力し、この計測値と回転用モータ 5 3 の制御電流に基づいて回転用モータ 5 3、押圧用モータ 6 1 a、走行モータ 7 3 等の各種アクチュエータに作動指令を与えることにより行う。

[0196] なお、上記運転制御では、回転ツール 3 の負荷一定制御を回転用モータ 5 3 の制御電流を用いて行ったが、その代わりに荷重計測器 8 2 a の計測値を用いて行ってもよい。また、回転ツール 3 の位置制御を上位置計測器 8 1 a の計測値を用いて行ったが、その代わりに上押圧用モータ 6 1 a の回転量を検出するエンコーダ等の回転センサを用いて行ってもよい。

[0197] (制御 2)

図 2 3 は、裏当てツール 4 の上下方向の移動を可能にした構成の場合の回転ツール 3 および裏当てツール 4 を傾けてプランジングレスで摩擦攪拌接合を行う運転制御を示す図である。図 2 4 は、図 8 に示した制御装置 8 3 が行う処理手順を示す制御フローである。

[0198] 図 2 3 および図 2 4 に示す通り、摩擦攪拌接合開始前は、回転ツール 3 および裏当てツール 4 は待機位置 2 0 a, 2 0 b にある。この待機位置 2 0 a, 2 0 b において、回転ツール 3 および裏当てツール 4 は傾けた状態にある。

[0199] また、上ケース 5 1, 5 2 に取り付けられた上下位置計測器 8 1 a, 8 1 b (図 8 参照) を用いて接合部 J と回転ツール 3 と裏当てツール 4 間の距離を測定し、回転ツール 3 および裏当てツール 4 の予定挿入深さを演算する (ステップ S 1)。次に、押圧用モータ 6 1 a, 位置保持用モータ 6 1 b を駆動してツール 3, 4 を予定挿入深さまで位置制御にて移動させる (ステップ S 2A)。このとき、位置計測器 8 1 a, 8 1 b の計測値に基づいて、回転ツール 3 のショルダ面 3 b と裏当てツール 4 の押圧力保持面 4 b を所定範囲 (例えば板厚 t) に設定する。そして、このようにツール挿入位置を位置制御にて保持した状態で、移動装置 7 5 を駆動して上ケース 5 1, 5 2 を接合方

向へ移動させ（ステップS 2A）、接合部端面2 4の摩擦攪拌開始位置2 1 a, 2 1 bから摩擦攪拌接合を開始する。このとき、前述したように、位置制御のまま接合部端面2 4から回転ツール3のショルダ面3 bおよび裏当てツール4の押圧力保持面4 bを接合部端面2 4に当てながら回転ツール3と裏当てツール4を金属板1, 2に挿入することによって、プランジングレスで摩擦攪拌接合を開始する（図2 3等参照）。

- [0200] 摩擦攪拌接合開始後、回転ツール3の回転用モータ5 3の制御電流に基づいて回転用モータ5 3の負荷が所定の値となるようにツール挿入位置を制御する負荷一定制御とし、（ステップS 3A）、摩擦攪拌接合が終了する摩擦攪拌終了位置2 2 a, 2 2 b到達前に、その時点のツール挿入位置を保持する位置一定制御に切替え（ステップS 4A）、摩擦攪拌終了位置2 2 a, 2 2 bを通過させるように制御する。裏当てツール4については、摩擦攪拌接合開始後も位置制御が維持され、位置制御のまま摩擦攪拌終了位置2 2 a, 2 2 bを通過させる（ステップS 2A→S 4A）。
- [0201] このように摩擦攪拌接合開始後に、回転ツール3を負荷一定制御に切り替えることで、接合部Jの厚みが変動した場合でも安定して摩擦攪拌することが出来る。
- [0202] 特に、接合する材料の剛性が高く、突き合わせた金属板の接合部Jでの波打ちなどによる形状変化が発生した場合に、ツール押圧装置4 5の押圧力だけでは接合部Jの表面側と裏面側を押圧できないときにも、裏当てツール4の位置制御を維持することで、安定して摩擦攪拌することが出来る。
- [0203] 上記の各ステップの制御は制御装置8 3が上下位置計測器8 1 a, 8 1 bの計測値を入力し、この計測値と回転用モータ5 3の制御電流に基づいて回転用モータ5 3、押圧用モータ6 1 a、位置保持用モータ6 1 b、走行モータ7 3等の各種アクチュエータに作動指令を与えることにより行う。
- [0204] なお、上記運転制御では、回転ツール3の負荷一定制御を回転用モータ5 3の制御電流を用いて行ったが、その代わりに荷重計測器8 2 aの計測値を用いて行ってもよい。また、回転ツール3および裏当てツール4の位置制御

を上下位置計測器 81a, 81b の計測値を用いて行ったが、その代わりに押圧用モータ 61a、位置保持用モータ 61b の回転量を検出するエンコーダ等の回転センサを用いて行ってもよい。

[0205] <適用例>

次に、本発明の実施の形態として、様々な接合継手に本発明を適用した場合について、図 25～29 を用いて説明する。また、2枚の金属板の板厚が異なる場合については、図 31～38 を用いて説明する。

[0206] (円筒部材)

図 25、26 は、パイプに代表される円筒部材（以下パイプ材と称する）の接合方法の概略斜視図を示す。図 25 は、金属板を円筒状に成形して、その両端部を突合せた後、該突合せ部を摩擦攪拌接合し、一体的な円筒部材を製造する概略斜視図である。図 26 は、2 本のパイプ材を長尺化する際の摩擦攪拌接合方法の概略斜視図である。

[0207] 裏当てツール 4 の押圧力保持面 4b の形状は、パイプ材 90 の裏面形状（周形状）に対応するように加工されている。

[0208] 図 25 に示すように、金属板 90 を円筒状に成形して、その両端部を突合せる。その突合せ部に、回転ツール 3 及び裏当てツール 4 をパイプ材の接合部 J の表面側と裏面側に相対向するように配置する。次いで、回転ツール 3 を回転させ、裏当てツール 4 に近づく方向に移動して、回転ツール 3 の突起部 3d の先端部を裏当てツール 4 の凹み部 4d 内に挿入するとともに、裏当てツール 4 の押圧力保持面 4b を接合部 J 裏面側に当て、ショルダ面 3b と押圧力保持面 4b との間に接合部 J を挟み込み、回転ツール 3 のショルダ面 3b 接合部 J の表面側から押圧する。次いで、その状態（回転ツール 3 の突起部 3d の先端部を裏当てツール 4 の凹み部 4d 内に挿入し、裏当てツール 4 の押圧力保持面 4b を接合部 J 裏面側に当て、ショルダ面 3b と押圧力保持面 4b との間に接合部 J を挟み込み、回転ツール 3 のショルダ面 3b を接合部 J の表面側から押圧した状態）で、回転ツール 3 を回転させながら接合部 J に沿って移動させる。この移動の間の摩擦攪拌時、突起部 3d は接合部

Jの板厚方向全域に突入した状態にある。これにより接合部Jの板厚方向全域が摩擦攪拌され、金属板90両端部は接合部Jの板厚方向全域で接合される。接合開始時から終了時の運転制御については、前述した図21～24の制御を適宜使用する。

[0209] なお、接合方向への移動は、回転ツール3および裏当てツール4を接合部（接合線）Jに沿って移動させる方法としたが、円筒状に成形した金属板90を回転ツール3および裏当てツール4が接合部J（接合線）に沿うように、移動させる方法としても良い。

[0210] 図26に示す接合では、パイプ材91とパイプ材92の端面を突合せ、その突合せ部（接合部J）を摩擦攪拌接合する。

[0211] （L型、T型）

本発明は、L型部材や、T型部材の接合にも適用できる。

[0212] 図27A、図27Bは、金属板93と金属板94をL型になるように配置し、その金属板93と金属板94の接触した角部を摩擦攪拌接合する際の概略斜視図である。図27Aは、摩擦攪拌接合中の概略斜視図であり、図27Bは接合開始時の概略斜視図である。図28は、金属板93と金属板94をT型になるように配置した場合の概略斜視図である。図29は、金属板93および金属板94、金属板95をT型になるように配置した場合の概略斜視図である。

[0213] 図27A、図27Bに示すように、金属板93と金属板94をL型になるように配置する。その金属板93と金属板94の接触部（角部）に、回転ツール3及び裏当てツール4を接合部Jの表面側と裏面側に相対向するように配置する。次いで、回転ツール3を回転させ、裏当てツール4に近づく方向に移動して、回転ツール3の突起部3dの先端部を裏当てツール4の凹み部4d内に挿入するとともに、裏当てツール4の押圧力保持面4bを接合部J裏面側に当て、ショルダ面3bと押圧力保持面4bとの間に接合部Jを挟み込み、回転ツール3のショルダ面3b接合部Jの表面側から押圧する。次いで、その状態（回転ツール3の突起部3dの先端部を裏当てツール4の凹み部

4 d 内に挿入し、裏当てツール 4 の押圧力保持面 4 b を接合部 J 裏面側に当て、ショルダ面 3 b と押圧力保持面 4 bとの間に接合部 J を挟み込み、回転ツール 3 のショルダ面 3 b を接合部 J の表面側から押圧した状態)で、回転ツール 3 を回転させながら接合部 J に沿って移動させる。この移動の間の摩擦攪拌時、突起部 3 d は接合部 J の板厚方向全域に突入した状態にある。これにより接合部 J の板厚方向全域が摩擦攪拌され、金属板 9 4 は接合部 J の板厚方向全域で金属板 9 3 に接合される。接合開始時から終了時の制御方法については、前述した図 21～24 の制御を適宜使用する。

[0214] なお、接合方向への移動は、回転ツール 3 および裏当てツール 4 を接合部(接合線) J に沿って移動させる方法としたが、金属板 9 3, 9 4 を回転ツール 3 および裏当てツール 4 が接合部 J (接合線) に沿うように、移動させる方法としても良い。

[0215] 図 28 に示す接合では、金属板 9 3 と金属板 9 4 を T 型になるように配置し、摩擦攪拌接合する。図 29 に示す接合では、金属板 9 3 および金属板 9 4、金属板 9 5 を T 型になるように配置し、摩擦攪拌接合する。

[0216] なお、裏当てツール 4 の押圧力保持面部 4 c は、一部が欠損し、凹み部 4 d の一方向が開放されるように、加工されているが、接合部 J に沿う金属板 9 3 の側面が押圧力保持面部 4 c 欠損部を補うため、本発明の効果は変わらない。

[0217] (異厚・段差)

本発明は、2 枚の金属板 1, 2 が異厚であることにより、接合部に段差が生じる場合にも適用できる。以下、異厚ケース 1～3 について説明する。

[0218] 図 30 は、回転ツールの回転方向とアドバンシングサイド・リトリーティングサイドとの関係を示す図である。図 30 に示すように、回転ツール 3 の回転方向と摩擦攪拌進行方向(接合方向或いはツール送り方向)が一致する側をアドバンシングサイド AS、ツールの回転方向と摩擦攪拌進行方向が反対を向いている側をリトリーティングサイド RS という。

[0219] ・異厚ケース 1

図31は、2枚の金属板1、2の裏面側（図示下面）に段差が生じないようにして、表面側（図示上面）に段差が生じるケースを説明する図である。このとき、板厚の厚い金属板1がリトリーティングサイドRSになるように、板厚の薄い金属板2がアドバンシングサイドASになるように、金属板1、2を配置する。

- [0220] 回転ツール3による摩擦攪拌により、板厚の厚い金属板1から板厚の薄い金属板2へ容易に塑性流動する（RS→AS）。余剰塑性流動分となるバリは、段差に衝突し（AS→RS）、接合方向へ排出される。これにより、接合部表面のビード端部へのバリの生成を抑制し、表面品質が維持された接合部とすることができます。
- [0221] 図32は、図31における回転ツール3尾端を板厚の薄い金属板2側に傾けた状態を示す図である。回転ツール3のショルダ面3bと裏当てツール4の押圧力保持面4bの間の距離を面間距離 δ とする。回転ツール3を、ツール進行方向前方の面間距離 δ_1 と比較し、進行方向の後方の面間距離 δ_2 が狭くなるように傾ける（図16参照）とともに、板厚の厚い金属板1側の面間距離 δ_3 と比較し、板厚の薄い金属板2側の面間距離 δ_4 が狭くなるように傾け、回転ツール3の移動方向における側面視において、回転ツール3のショルダ面3bが厚い金属板1と薄い金属板2の表面にそれぞれ略接触するようにした。
- [0222] 図33は、接合後の接合部断面形状の概念図である。図31および図32の状態で摩擦攪拌接合をすることで、金属板1、2の裏面が概略一致する。
- [0223] 本発明者らは、図31および図32の状態で摩擦攪拌接合試験を行なった。回転ツール3の回転速度は1000 rpmとし、移動速度（接合速度）は毎分2mとして接合を行った。作製した接合部に対して、断面観察および180度曲げ試験を行い、接合部の健全性を評価した。断面観察の結果、いずれの接合部に対しても、欠陥のない接合部が得られていることが判った。曲げ試験では割れが発生せず、健全な接合部が作製できることを確認した。
- [0224] ・異厚ケース2

図34は、2枚の金属板1、2の表面側（図示上面）に段差が生じないようにして、裏面側（図示下面）に段差が生じるケースを説明する図である。このとき、裏当てツール4の押圧力保持面4bの形状は、金属板1、2の板厚差（裏面側段差）に対応するように加工されている。すなわち、薄い金属板2に対応する側の裏当てツール4の高さが、厚い金属板1に対応する側の裏当てツール4の高さより高いことにより、裏当てツール4の押圧力保持面4bは金属板1、2の裏面に接触する。

[0225] 図35は、接合後の接合部断面形状の概念図である。図34の状態で摩擦攪拌接合をすることで、金属板1、2の表面が概略一致する。

[0226] 本発明者らは、ケース1と同様、ケース2においても、回転ツール3の回転速度を1000 rpmとし、移動速度（接合速度）は毎分2mとして接合を行った。作製した接合部に対して、断面観察および180度曲げ試験を行い、接合部の健全性を評価した。断面観察の結果、いずれの接合部に対しても、欠陥のない接合部が得られていることが判った。曲げ試験では割れが発生せず、健全な接合部が作製できることを確認した。

[0227] ・異厚ケース3

図36は、金属板1、2の板厚中心を揃えて、金属板1、2は突合せ部の表面側・裏面側共に段差が生じるようにケースを説明する図である。このとき、回転ツール3は、段差の高い側がリトリーティングサイドRSになるように、段差の低い側がアドバンシングサイドASになるようにする。また、裏当てツール4の押圧力保持面4bの形状は、金属板1、2の板厚差（裏面側段差）に対応するように加工されている。

[0228] 図37は、図36における回転ツール3尾端を板厚の薄い金属板2側に傾けた状態を示す図である。

[0229] 図38は、接合後の接合部断面形状の概念図である。図36および図37の状態で摩擦攪拌接合をすることで、金属板1、2の板厚中心が概略一致する。

[0230] 本発明者らは、ケース1、2と同様、ケース3においても、回転ツール3

の回転速度を 1000 r p m とし、移動速度（接合速度）は毎分 2 m として接合を行った。作製した接合部に対して、断面観察および 180 度曲げ試験を行い、接合部の健全性を評価した。断面観察の結果、いずれの接合部に対しても、欠陥のない接合部が得られていることが判った。曲げ試験では割れが発生せず、健全な接合部が作製できることを確認した。

[0231] ・異厚ケース 1～3 の検討

このように、金属板 1, 2 の配置および回転ツール 3 の配置や傾斜、裏当てツール 4 の配置や形状を変更することで、段差部の接合後の形状を図 33、図 35、図 38 のようなそれぞれ異なった形状に変更することが可能である。

[0232] 異厚ケース 2, 3において、裏当てツール 4 の押圧力保持面 4 b の形状は、金属板 1, 2 の板厚差（裏面側段差）に対応するように加工されていると記載したが、板厚差（段差）が 2 mm 未満であれば、このような加工がなくとも、本発明の効果が得られる。

[0233] 但し、段差量が 2 mm 以上の場合には、接合不良や接合部の強度低下のおそれがあるため、裏当てツールの形状を加工することが好ましい。異厚量（段差量）の変化に伴い、裏当てツール 4 を適宜準備すると、経済性に劣る。このため、異厚ケース 1 の接合が好適である。

符号の説明

[0234] 1, 2 金属板

3 回転ツール

3 a ツール本体

3 b ショルダ面

3 c ショルダ部

3 d 突起部（プローブ）

4 裏当てツール

4 a 本体

4 b 押圧力保持面

- 4 c 押压力保持面部
- 4 d 凹み部
- 5 入側把持装置
- 5 a, 5 b 上下把持板
- 6 出側把持装置
- 6 a, 6 b 上下把持板
- 7 ツール回転駆動装置
- 9 上ハウジング
- 10 下ハウジング
- 11 a、b レール
- 11, 12 上下レール
- 13, 14 フレーム
- 15 軸芯
- 18 台板
- 19 キャリッジフレーム
- 19 a, 19 b 上下水平フレーム
- 20 a 回転ツール待機位置
- 20 b 裏当てツール待機位置
- 21 a 上摩擦攪拌接合開始位置
- 21 b 下摩擦攪拌接合開始位置
- 22 a 上摩擦攪拌接合終了位置
- 22 b 下摩擦攪拌接合終了位置
- 24 摩擦攪拌開始金属板端面
- 4 5 ツール押圧装置
- 4 6 ツール位置保持装置
- 4 7 上移動装置
- 4 8 下移動装置
- 5 1 上ケース

- 5 2 下ケース
- 5 3 回転用モータ
- 6 1 a 押圧用モータ
- 6 1 b 位置保持用モータ
- 6 2 a, 6 2 b スクリュー
- 6 3 a, 6 3 b サポートフレーム
- 6 4 a, 6 4 b 軸
- 6 5 a, 6 5 b 走行フレーム
- 6 6 a, 6 6 b 車輪
- 6 7 a, 6 7 b 走行用モータ
- 7 1 車輪
- 7 2 スクリュー
- 7 3 走行用モータ
- 7 4 制御装置（走行用）
- 7 5 移動装置
- 7 6 a 上傾斜支持装置
- 7 6 b 下傾斜支持装置
- 7 7 a, 7 7 b 角度調整用モータ
- 8 1 a 上位置計測器
- 8 1 b 下位置計測器
- 8 2 a 上荷重計測器
- 8 3 制御装置
- 9 0 ~ 9 5 金属板（適用例）
- J 接合部

請求の範囲

[請求項1] 突き合わせた2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に、回転ツール（3）と裏当てツール（4）を配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法において、

前記回転ツール（3）は、ショルダ部（3c）を先端部分に形成したツール本体（3a）と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部（3d）とを有する構成とし、

前記裏当てツール（4）は、押圧力保持面部（4c）を先端部分に形成した裏当てツール本体（4a）と、前記2枚の金属板（1，2）の接合時に前記突起部（3d）の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部（4d）を有する構成とし、

前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）を前記2枚の金属板の接合部（J）の表面側と裏面側に相対向するように配置し、

前記回転ツール（3）を回転させ、前記回転ツール（3）を前記裏当てツール（4）に近づく方向に移動して、前記回転ツールの突起部の先端部（3d）を前記裏当てツールの凹み部（4d）内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部（3c）のショルダ面（3b）と前記裏当てツールの押圧力保持面（4b）との間に接合部（J）を挟み込み、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3b）と前記裏当てツールの押圧力保持面（4b）を前記接合部の表面側と裏面側から押圧し、

前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）を前記接合部に沿って同期した状態で移動させ、

前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツール（3）で摩擦攪拌することを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

[請求項2] 突き合わせた2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に、回転ツール（3）と裏当てツール（4）を配置し、この回転

ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法において、

前記回転ツール（3）は、ショルダ部（3c）を先端部分に形成したツール本体（3a）と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部（3d）とを有する構成とし、

前記裏当てツール（4）は、押圧力保持面部（4c）を先端部分に形成した裏当てツール本体（4a）と、前記2枚の金属板（1, 2）の接合時に前記突起部（3d）の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部（4d）とを有する構成とし、

前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）を前記2枚の金属板の接合部（J）の表面側と裏面側に相対向するように配置し、

前記回転ツール（3）を回転させ、前記回転ツール（3）を前記裏当てツール（4）に近づく方向に移動して、前記回転ツールの突起部の先端部（3d）を前記裏当てツールの凹み部（4d）内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部（3c）のショルダ面（3b）と前記裏当てツールの押圧力保持面（4b）との間に接合部（J）を挟み込み、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3b）と前記裏当てツールの押圧力保持面（4b）を前記接合部の表面側と裏面側から押圧し、

前記2枚の金属板（1, 2）を接合方向と同方向に移動させ、

前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツール（3）で摩擦攪拌することを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

[請求項3]

請求項1または2に記載の摩擦攪拌接合方法において、

前記相対向するように配置した前記回転ツール（3）のショルダ面（3b）と前記裏当てツール（4）の押圧力保持面（4b）との間の距離（δ）について、回転ツール及び裏当てツールの進行方向の前方の面間距離（δ1）と比較して、該進行方向の後方の面間距離（δ2）が狭くなるように、前記回転ツール（3）また裏当てツール（4）

の少なくともいずれか一方を傾斜する
ことを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

- [請求項4] 請求項1乃至3の何れか1項に記載の摩擦攪拌接合方法において、
前記回転ツール（3）は、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで
金属板（1，2）の厚み方向に対し位置制御にて移動し、
該回転ツール（3）の挿入深さを保持した状態で、前記2枚の金属
板の接合部端面（24）から該回転ツールを接合進行方向に位置制御
にて送って摩擦攪拌接合を開始し、
摩擦攪拌接合開始後は、該回転ツール（3）の負荷が所定の値とな
るように、該回転ツールの挿入位置を制御する負荷一定制御に切り替
え、
摩擦攪拌接合が終了する接合終端部到達前に、その時点の該回転ツ
ール（3）の挿入位置を保持する位置制御に切り替え、接合部終端部
を通過させ、
前記裏当てツール（4）は、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで
金属板（1，2）の厚み方向に対し位置制御にて移動し、位置を保
持したままで、摩擦攪拌接合の開始から終了まで位置制御する
ことを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

- [請求項5] 突き合わせた2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏
面側に、回転ツール（3）と裏当てツール（4）を配置し、この回転
ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌
接合する摩擦攪拌接合装置において、
前記金属板（1，2）をそれぞれ把持する第1及び第2把持装置（
5，6）と、
前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）が前記突き合わせた2
枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に相対向する
ように、前記回転ツールを装着し、前記回転ツールを回転駆動するツ
ール回転駆動装置（7）と、

前記裏当てツール（4）を金属板裏面位置に保持するツール位置保持装置（46）と、

前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツール（3）を前記ツール位置保持装置により位置保持された裏当てツール（4）に近づく方向に移動して、前記回転ツールを金属板の接合部の表面側に押圧するツール押圧装置（45）と、

前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツール（3）および裏当てツール（4）を前記接合部（J）に沿って、同期した状態で移動させる移動装置（47，48，75）とを備え、

前記回転ツール（3）は、ショルダ部（3c）を先端部分に形成したツール本体（3a）と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部（3d）とを有し、

前記裏当てツール（4）は、押圧力保持面部（4c）を先端部分に形成したツール本体（4a）と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部（3d）の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部（4d）とを有し、

前記ツール押圧装置（45）は、回転ツールを裏当てツールに近づく方向に移動するとき、前記回転ツールの突起部（3d）の先端部を前記裏当てツールの凹み部（4d）内に挿入するとともに、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3b）を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面（3b）と裏当てツールの押圧力保持面（4b）の間に接合部（J）を挟み込むことで接合部（J）に押圧力を付与し、

前記移動装置（47，48，75）は、前記回転ツールの突起部（3d）の先端部を前記裏当てツールの凹み部（4d）内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3b）を前記接合部の表面側から押圧した状態で、かつ、前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）を前記接合部に沿って同期した状態で移動させ、前記接合

部の板厚方向全域を前記回転ツール（3）で摩擦攪拌する
ことを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

- [請求項6] 突き合わせた2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に、回転ツール（3）と裏当てツール（4）を配置し、この回転ツールにより前記接合部を摩擦攪拌し、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合装置において、
前記金属板（1，2）をそれぞれ把持する第1及び第2把持装置（5，6）と、
前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）が前記突き合わせた2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に相対向するように、前記回転ツールを装着し、前記回転ツールを回転駆動するツール回転駆動装置（7）と、
前記裏当てツール（4）を金属板裏面位置に保持するツール位置保持装置（46）と、
前記ツール回転駆動装置に装着した前記回転ツール（3）を前記ツール位置保持装置により位置保持された裏当てツール（4）に近づく方向に移動して、前記回転ツールを金属板の接合部の表面側に押圧するツール押圧装置（45）と、
前記把持装置（5，6）に2枚の金属板（1，2）を接合方向と同方向に移動させる移動装置（75）とを備え、
前記回転ツール（3）は、ショルダ部（3c）を先端部分に形成したツール本体（3a）と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部（3d）とを有し、
前記裏当てツール（4）は、押圧力保持面部（4c）を先端部分に形成したツール本体（4a）と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部（3d）の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部（4d）とを有し、
前記ツール押圧装置（45）は、回転ツールを裏当てツールに近づ

く方向に移動するとき、前記回転ツールの突起部（3 d）の先端部を前記裏当てツールの凹み部（4 d）内に挿入するとともに、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3 b）を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面（3 b）と裏当てツールの押圧力保持面（4 b）の間に接合部（J）を挟み込むことで接合部（J）に押圧力を付与し、

前記移動装置（7 5）は、前記回転ツールの突起部（3 d）の先端部を前記裏当てツールの凹み部（4 d）内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3 b）を前記接合部の表面側から押圧した状態で、2枚の金属板（1， 2）を接合方向と同方向に移動させ、前記接合部の板厚方向全域を前記回転ツール（3）で摩擦攪拌する

ことを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

[請求項7]

請求項 5 または 6 に記載の摩擦攪拌接合装置において、
前記相対向するように配置した前記回転ツール（3）のショルダ面（3 b）と前記裏当てツール（4）の押圧力保持面（4 b）の間の距離（δ）について、回転ツール及び裏当てツールの進行方向の前方の面間距離（δ 1）と比較し、該進行方向の後方の面間距離（δ 2）が狭くなるように、前記回転ツール（3）また裏当てツール（4）の少なくともいずれか一方を傾けて支持する傾斜支持装置（7 6 a， 7 6 b）

を更に備えることを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

[請求項8]

請求項 5 乃至 7 の何れか 1 項に記載の摩擦攪拌接合装置において、
前記回転ツール（3）は、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板（1， 2）の厚み方向に対し位置制御にて移動し、該回転ツール（3）の挿入深さを保持した状態で、前記 2 枚の金属板の接合部端面（2 4）から該回転ツールを接合進行方向に位置制御にて送って摩擦攪拌接合を開始し、摩擦攪拌接合開始後は、該回転ツール（3）の

負荷が所定の値となるように、該回転ツールの挿入位置を制御する負荷一定制御に切り替え、摩擦攪拌接合が終了する接合終端部到達前に、その時点の該回転ツール（3）の挿入位置を保持する位置制御に切り替え、接合部終端部を通過させ、前記裏当てツール（4）は、摩擦攪拌接合開始前に予定挿入深さまで金属板（1，2）の厚み方向に対し位置制御にて移動し、位置を保持したままで、摩擦攪拌接合の開始から終了まで位置制御するよう前記ツール押圧装置（45）、前記ツール位置保持装置（46）および前記移動装置（47，48，75）を制御する制御装置（83）

を更に備えることを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

[請求項9]

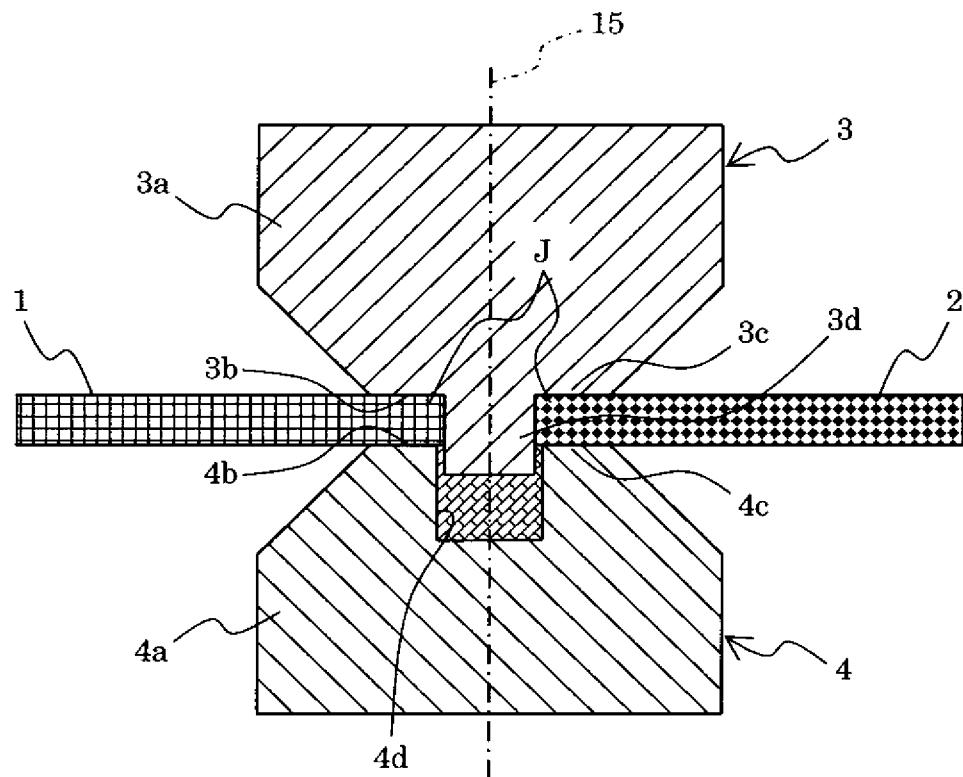
請求項5乃至8に記載の摩擦攪拌接合装置において、
前記回転ツール（3）の材質を焼結炭化タングステンの超硬合金またはタングステン合金とし、
接合される2枚の金属板（1，2）は、融点が1000°C以上の材料からなる
ことを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

[請求項10]

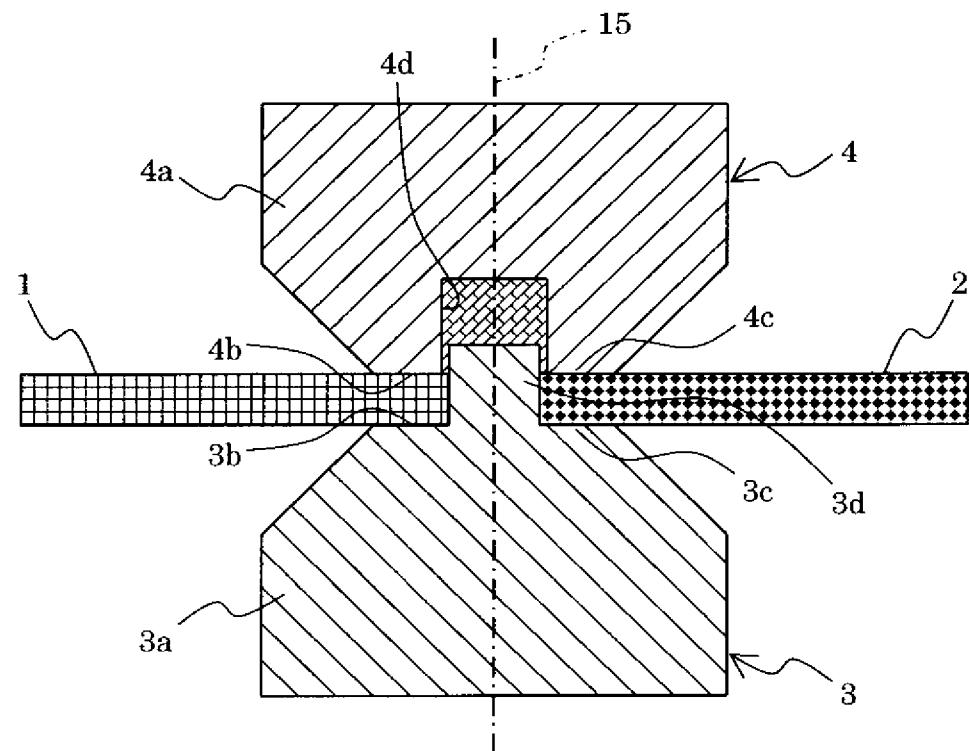
2枚の金属板（1，2）の接合部（J）を摩擦攪拌して、前記2枚の金属板を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合用ツールセットにおいて、
前記2枚の金属板（1，2）の接合部（J）の表面側と裏面側に相対向するように配置され、前記接合部を摩擦攪拌する回転ツール（3）と裏当てツール（4）とを備え、
前記回転ツール（3）は、ショルダ部（3c）を先端部分に形成したツール本体（3a）と、このツール本体の先端部分から突出するよう形成された少なくとも1つの突起部（3d）とを有し、
前記裏当てツール（4）は、押圧力保持面部（4c）を先端部分に形成したツール本体（4a）と、このツール本体の先端部分に形成され、前記2枚の金属板の接合時に前記突起部（3d）の先端部を収納する少なくとも1つの凹み部（4d）とを有し、

前記回転ツールの突起部（3 d）の先端部を前記裏当てツールの凹み部（4 d）内に挿入し、前記回転ツールの前記ショルダ部のショルダ面（3 b）を前記接合部の表面側から押圧し、回転ツールのショルダ面（3 b）と裏当てツールの押圧力保持面（4 b）の間に接合部（J）を挟み込むことで接合部（J）に押圧力を付与した状態で、前記回転ツール（3）と裏当てツール（4）を前記接合部に沿って移動させ、前記接合部の板厚方向全域を摩擦攪拌することを特徴とする摩擦攪拌接合用ツールセット。

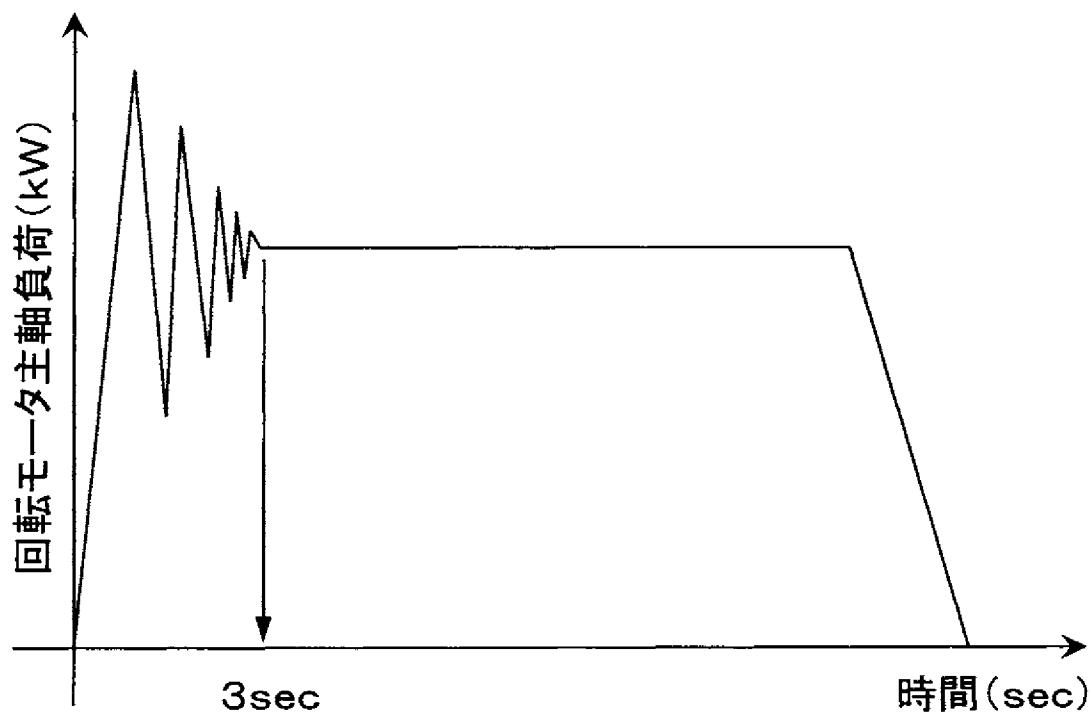
[図1]



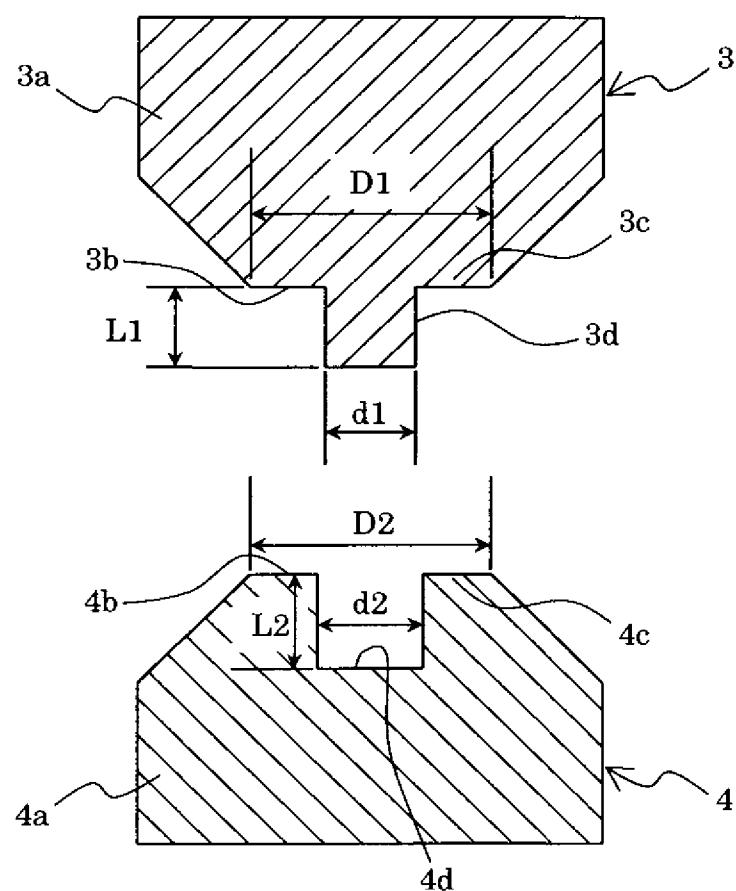
[図2]



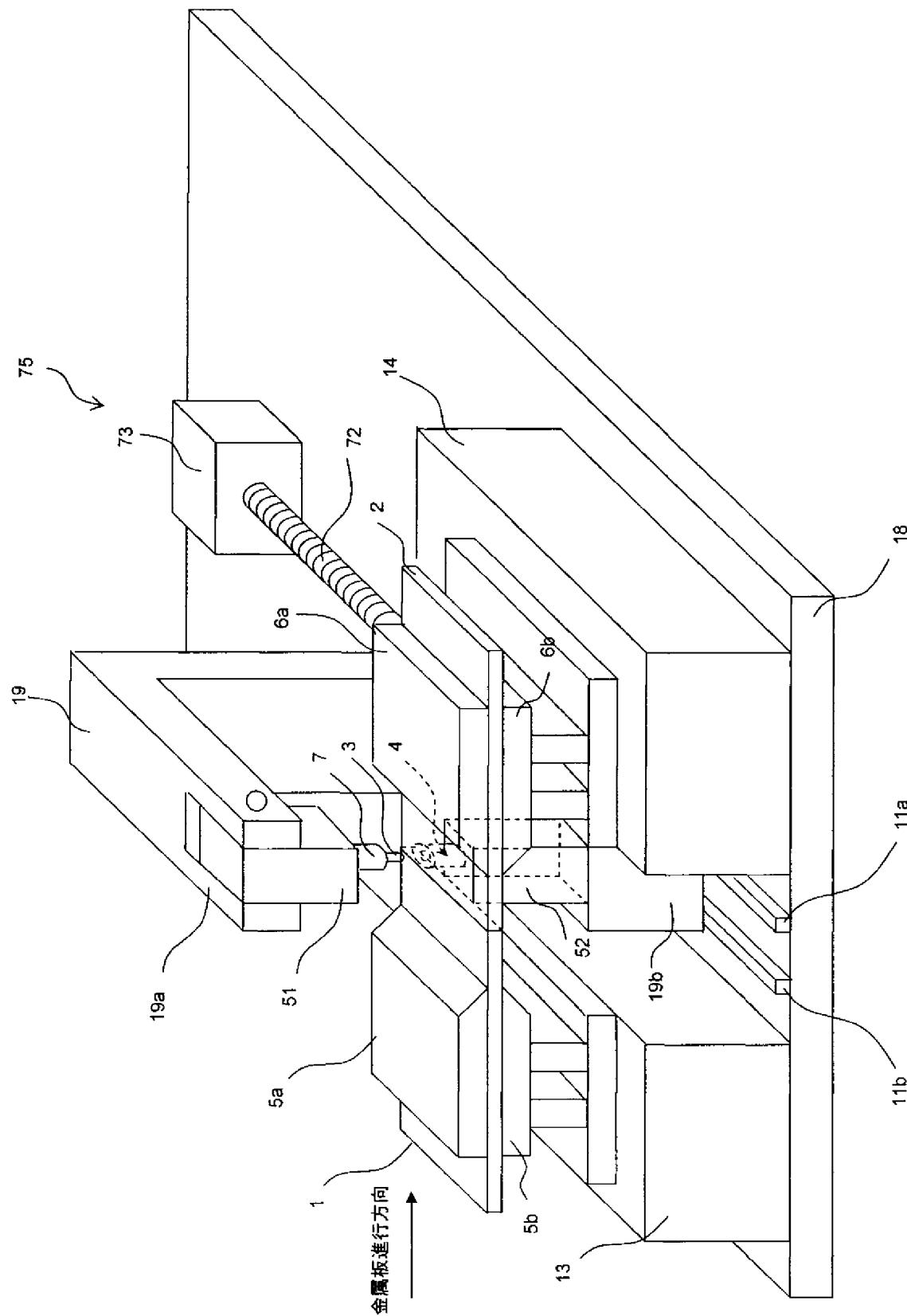
[図3]



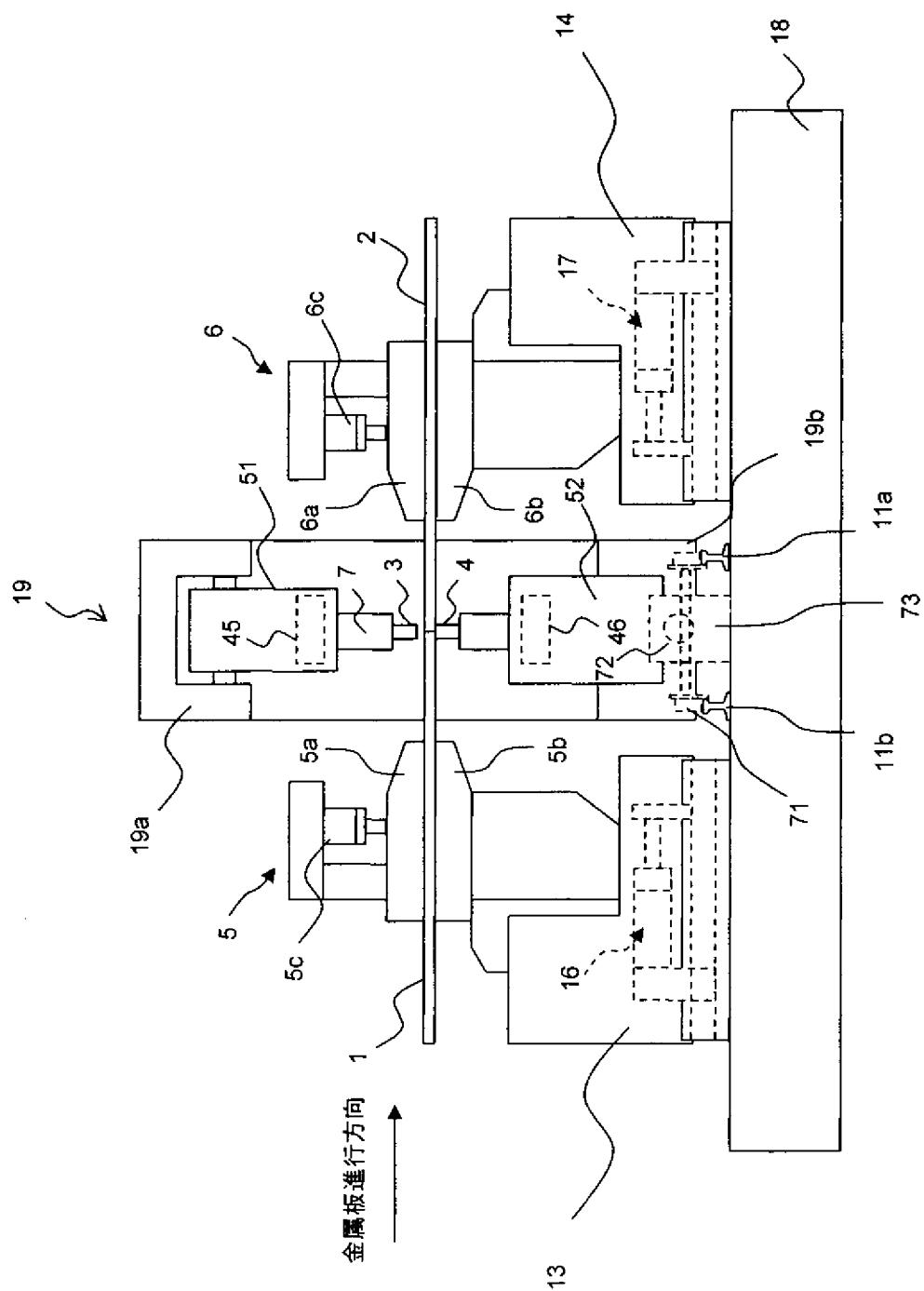
[図4]



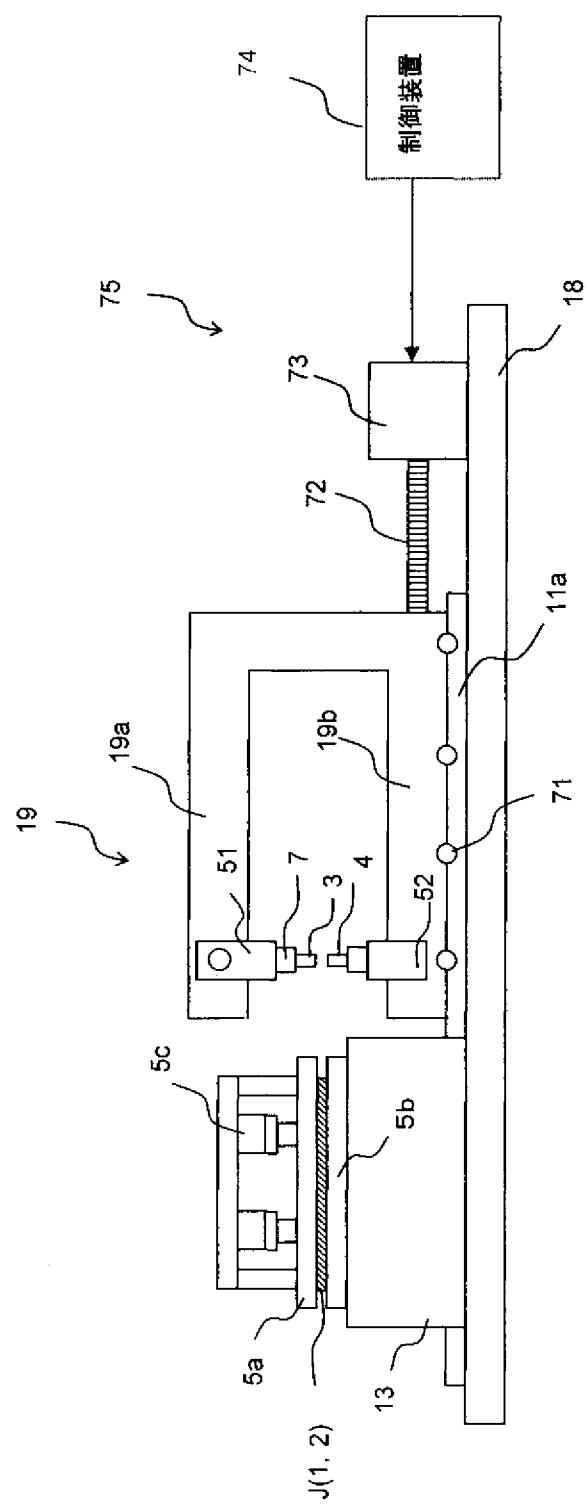
[図5]



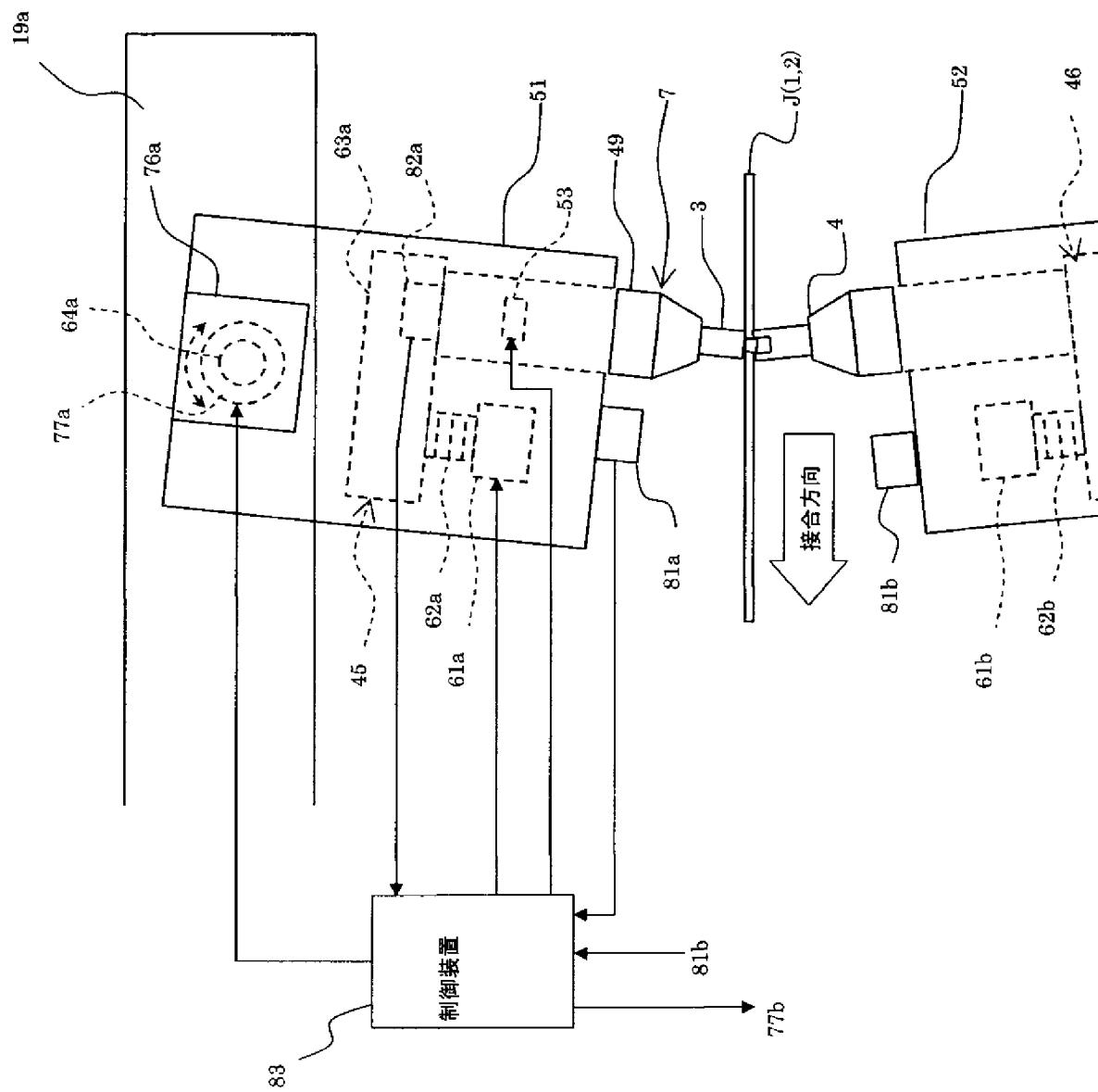
[図6]



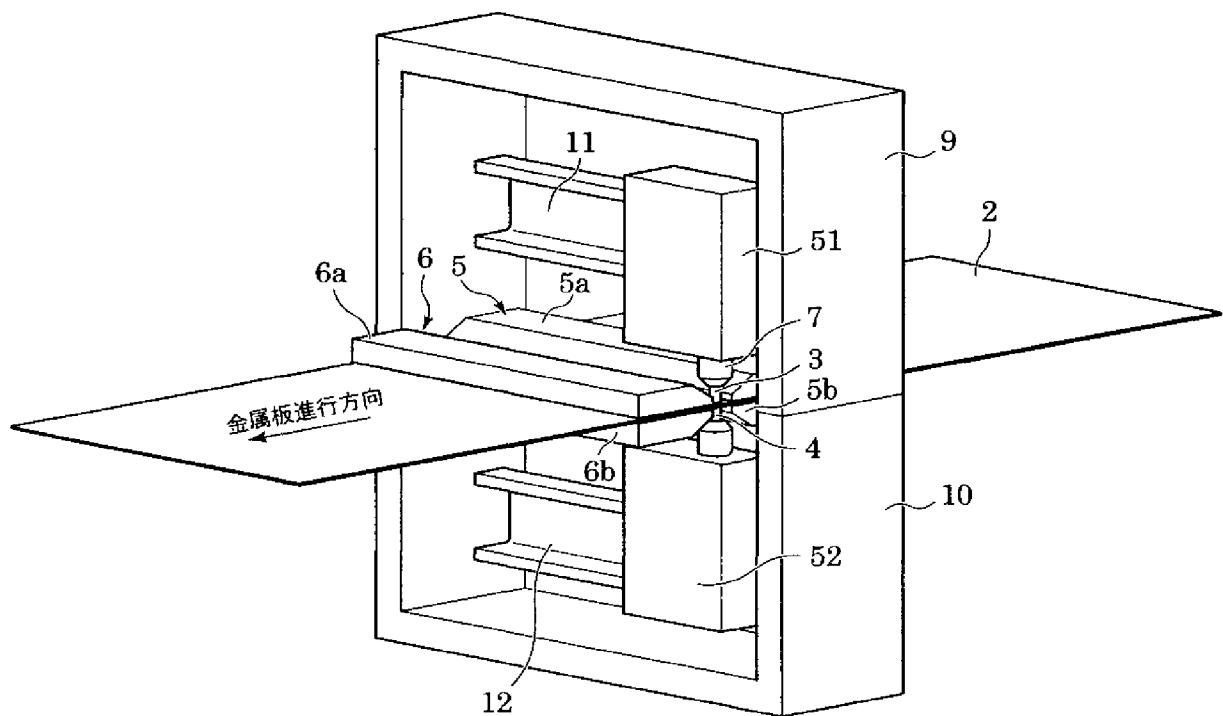
[図7]



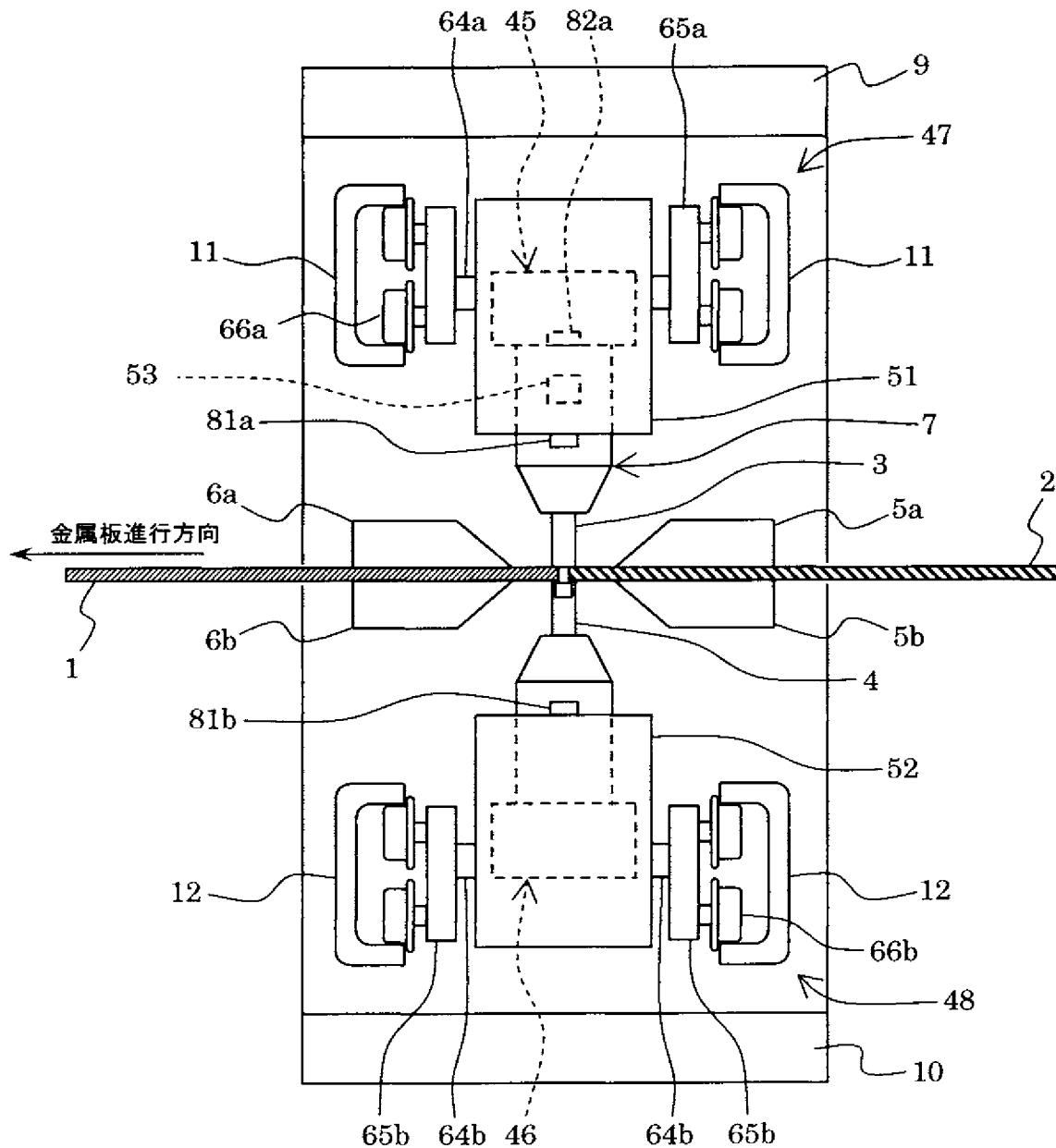
[図8]



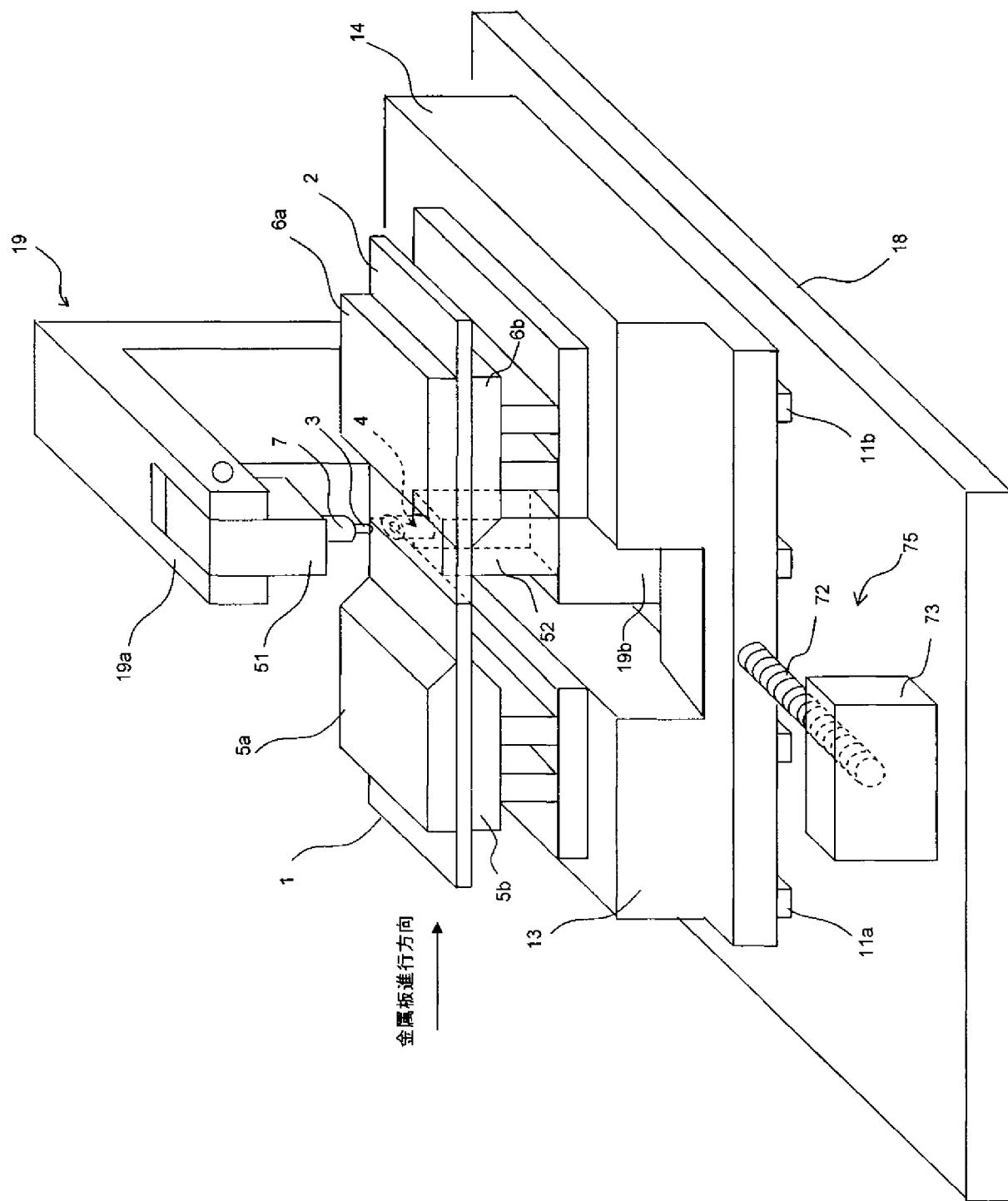
[図9]



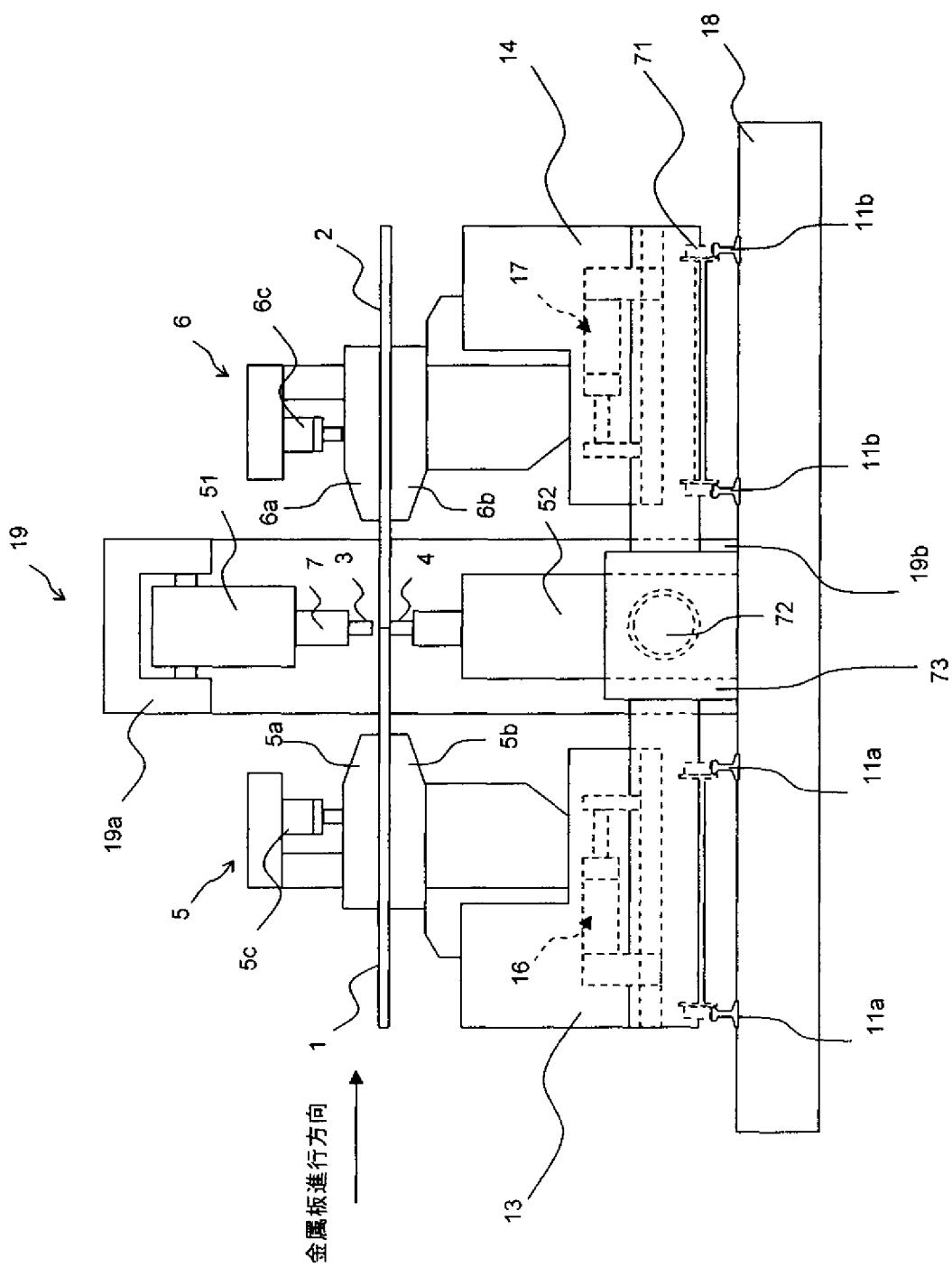
[图10]



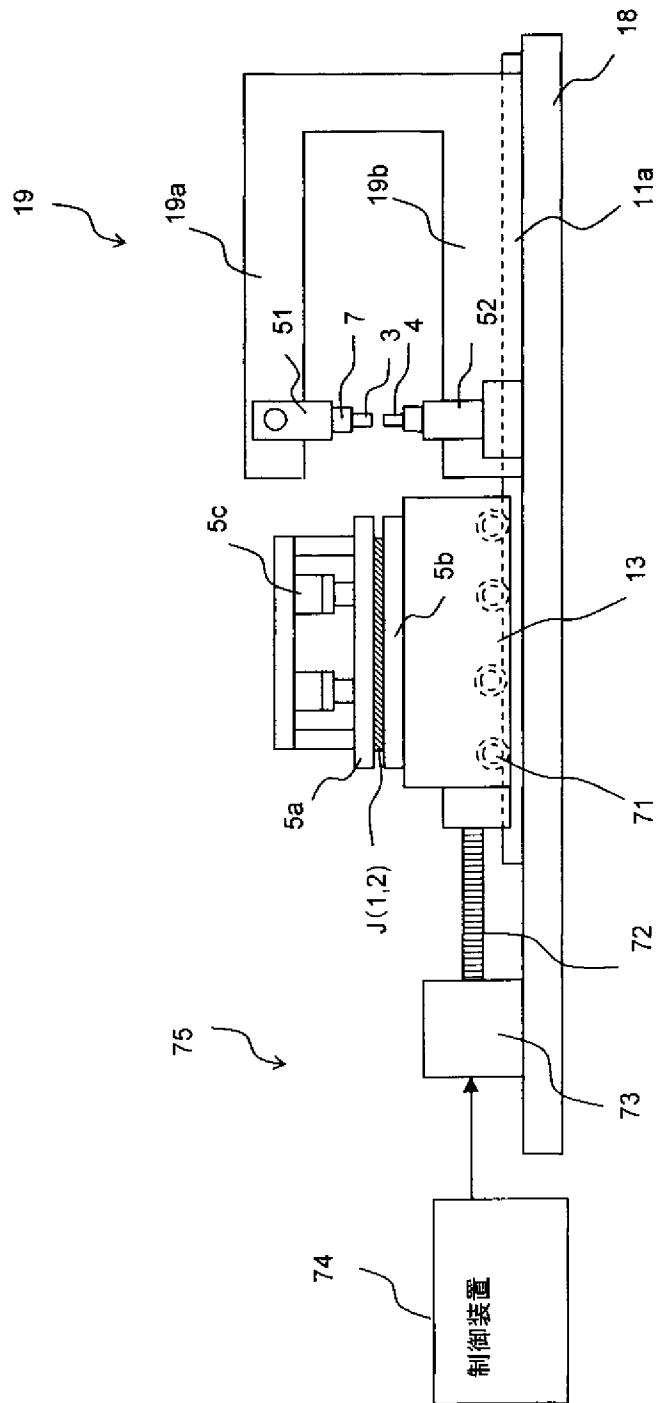
[図11]



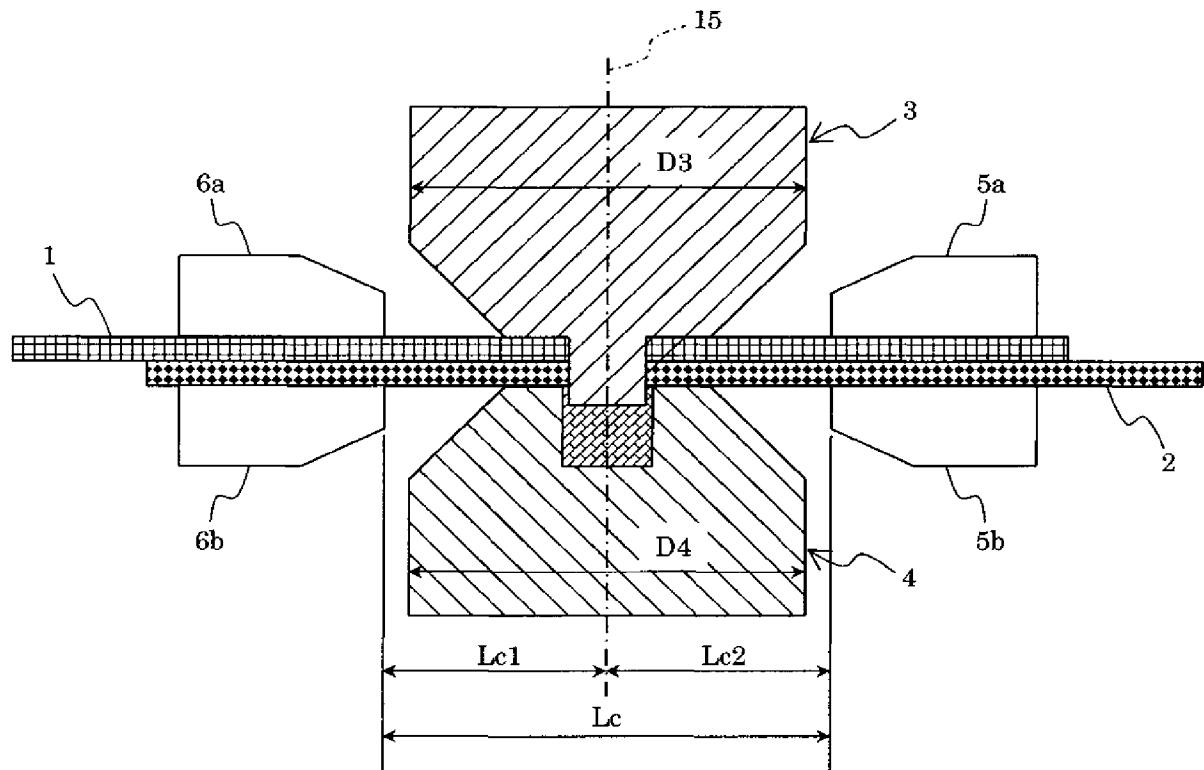
[図12]



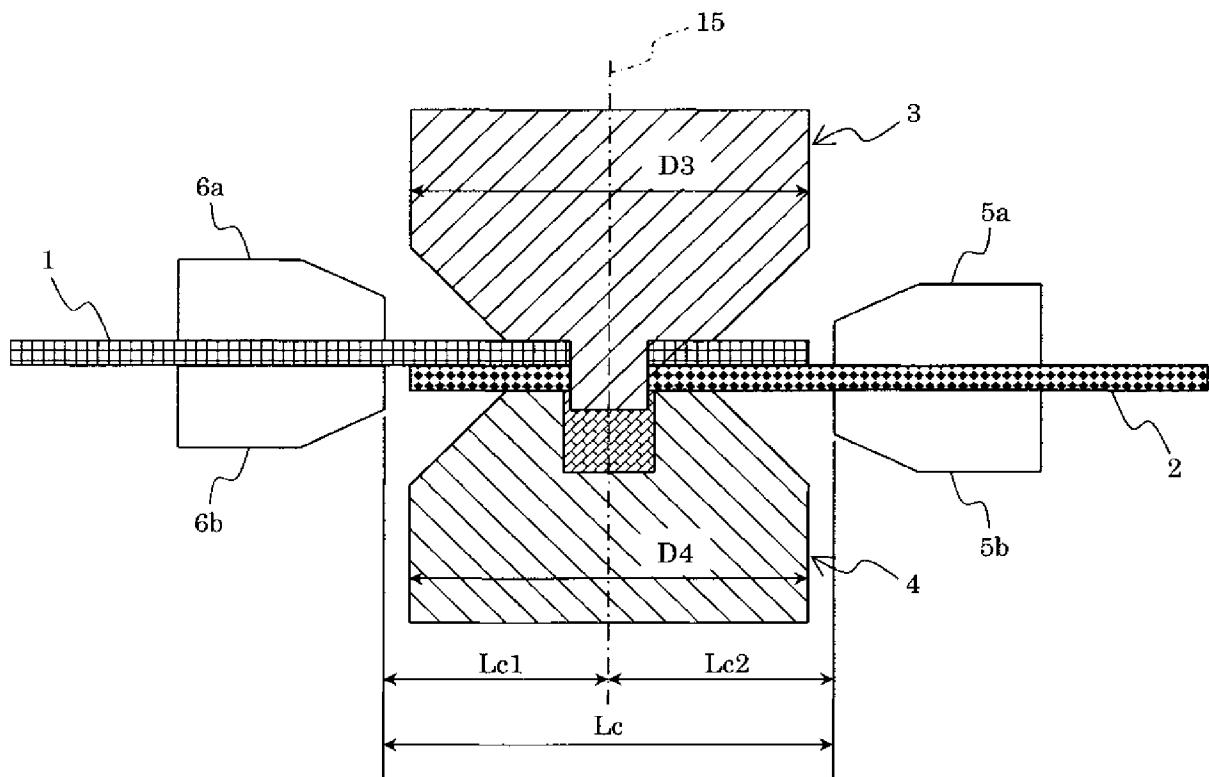
[図13]



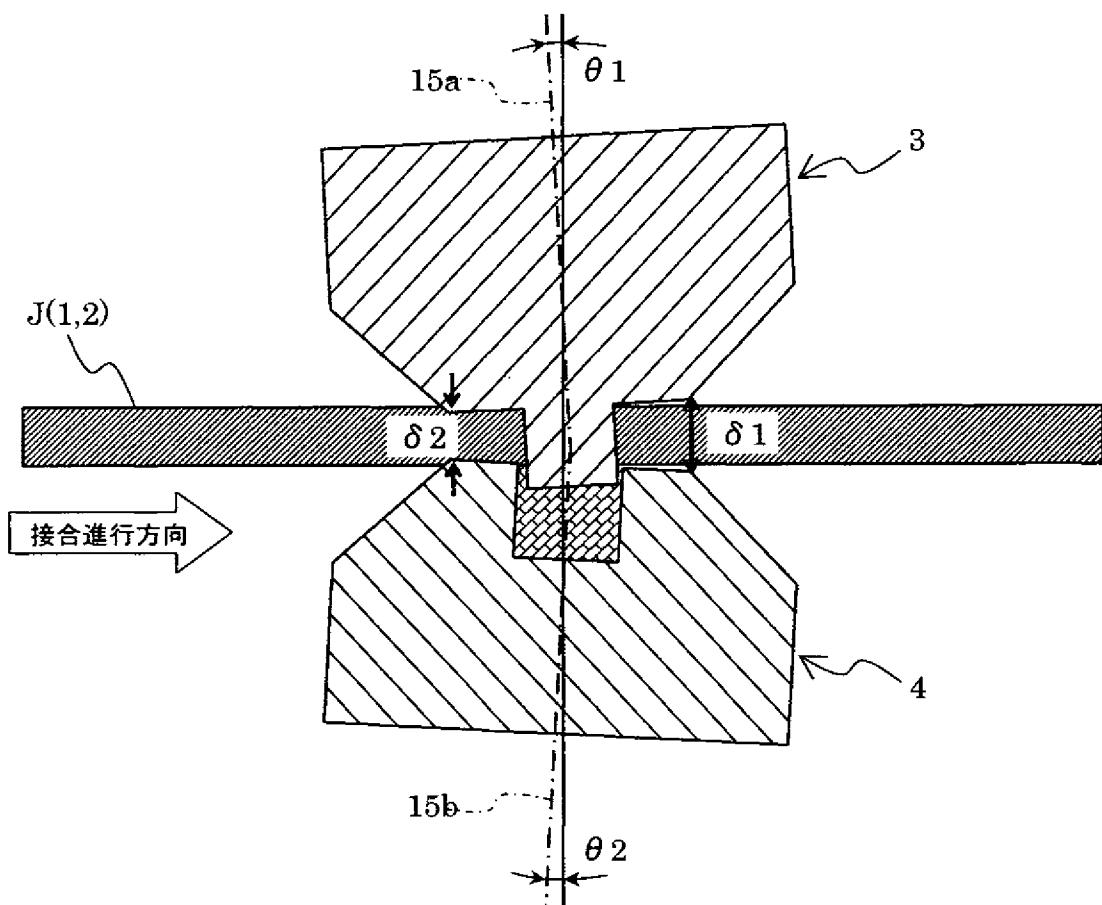
[図14]



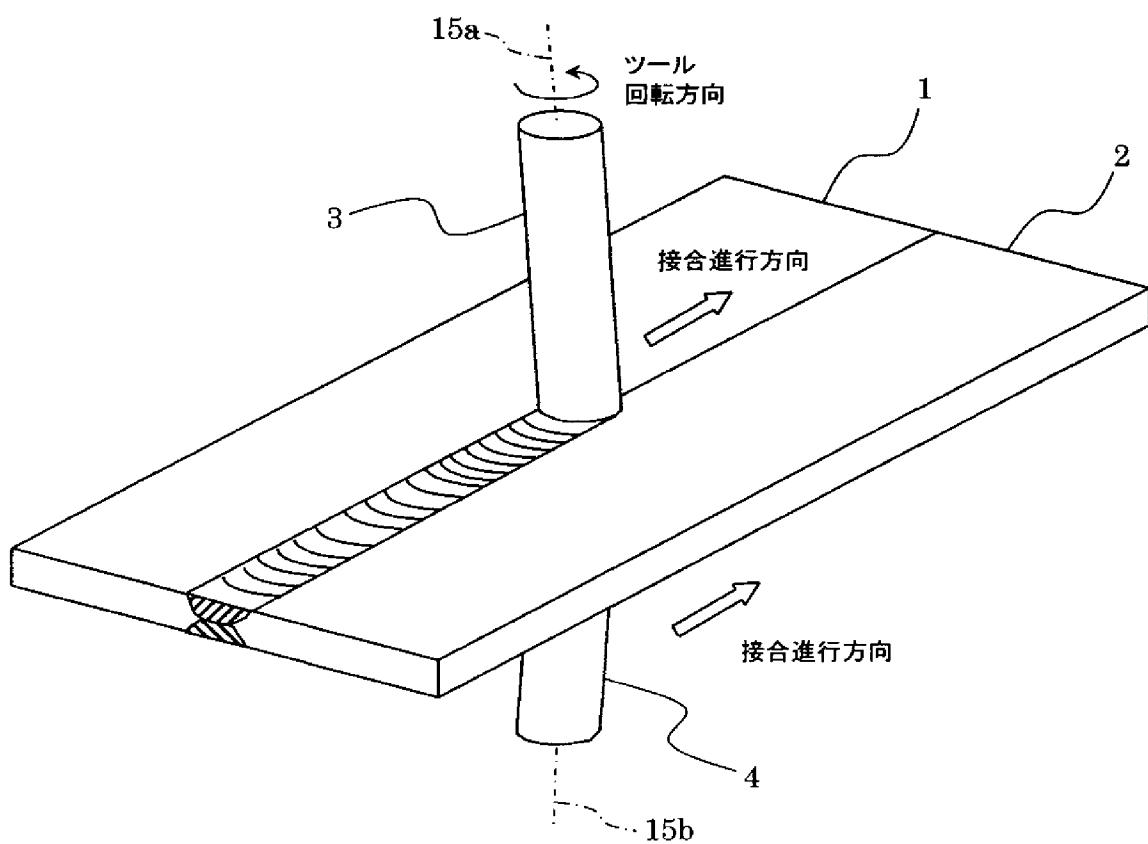
[図15]



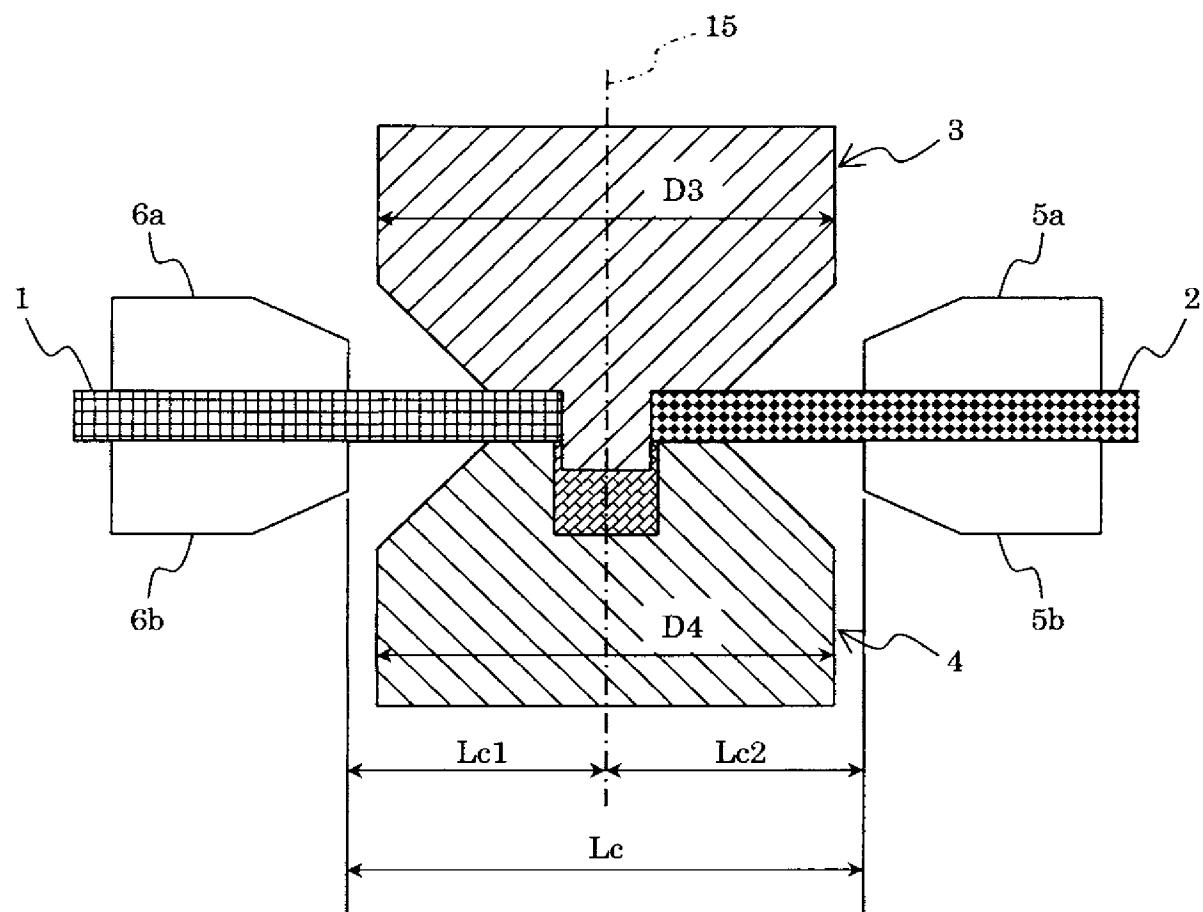
[図16]



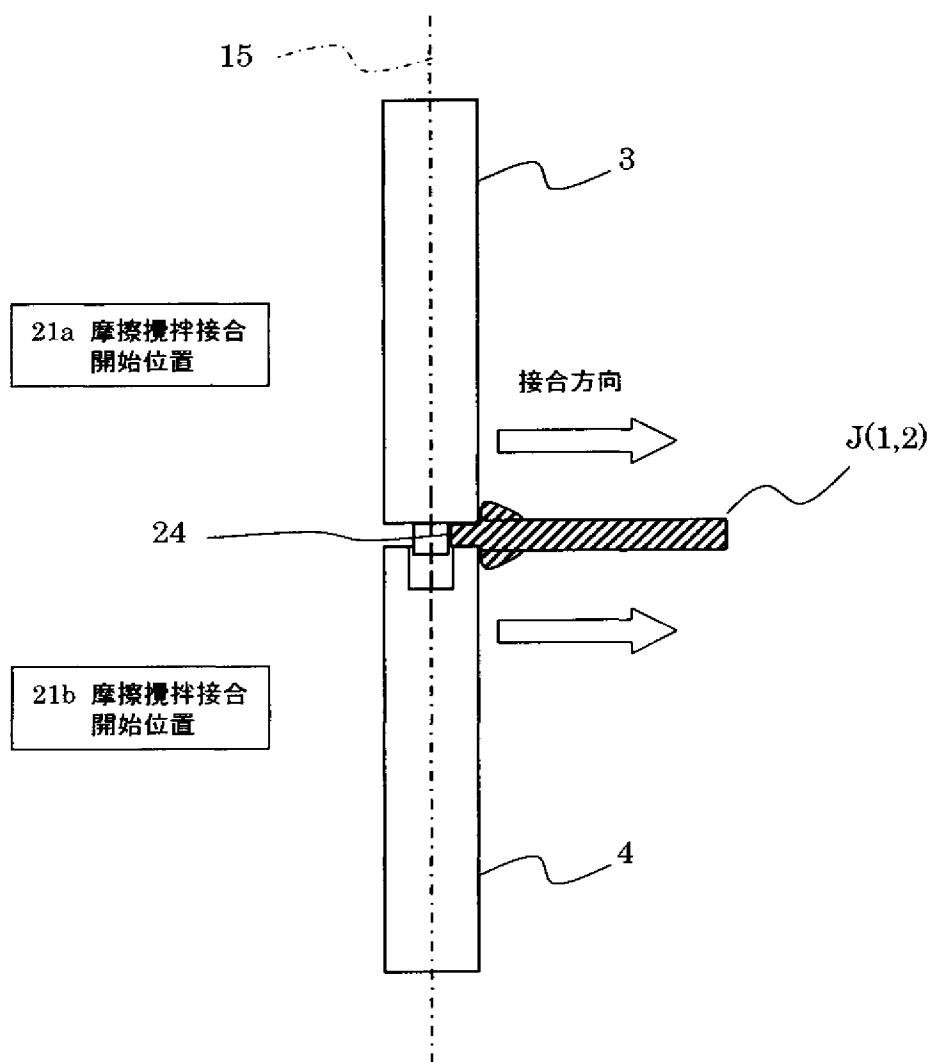
[図17]



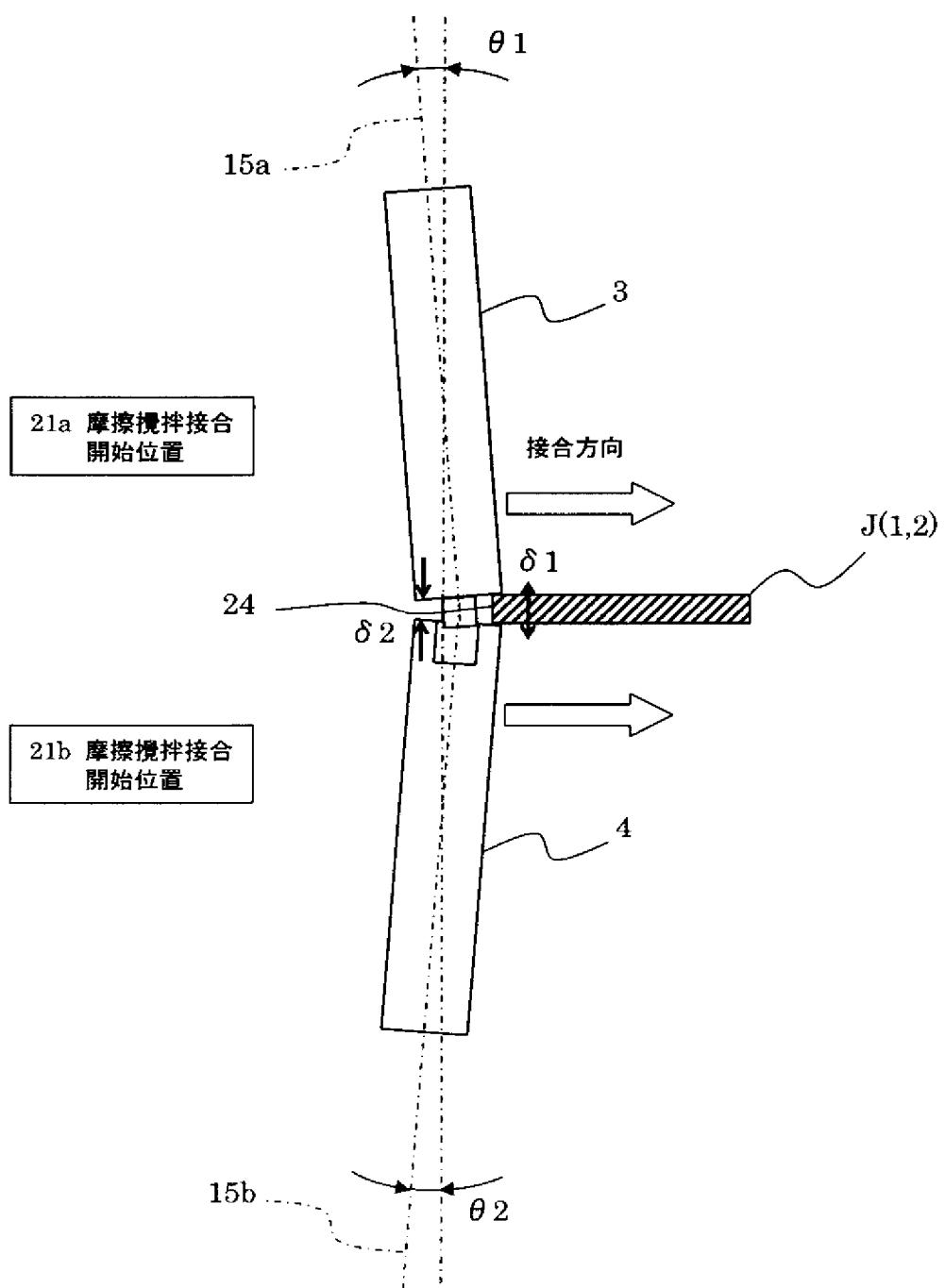
[図18]



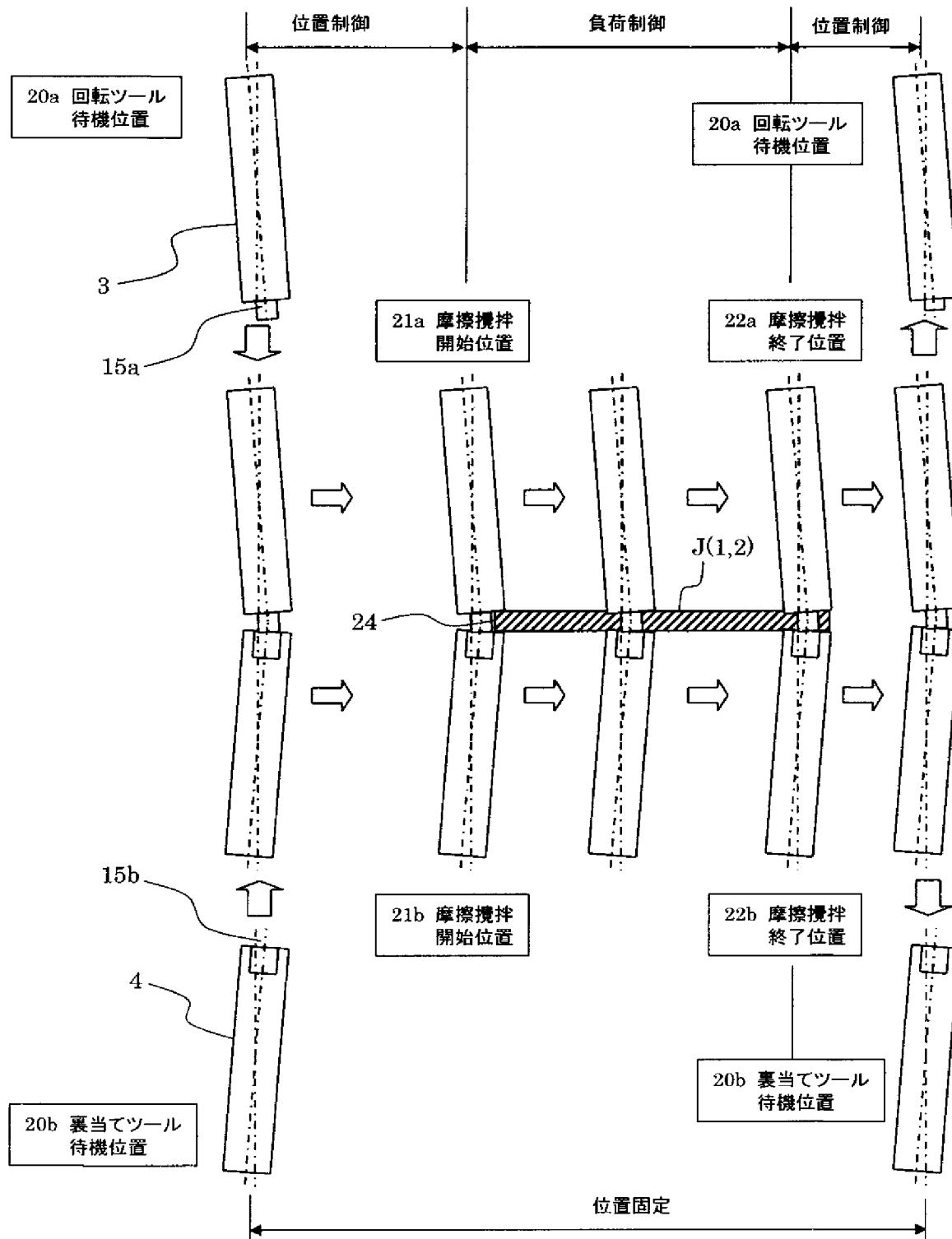
[図19]



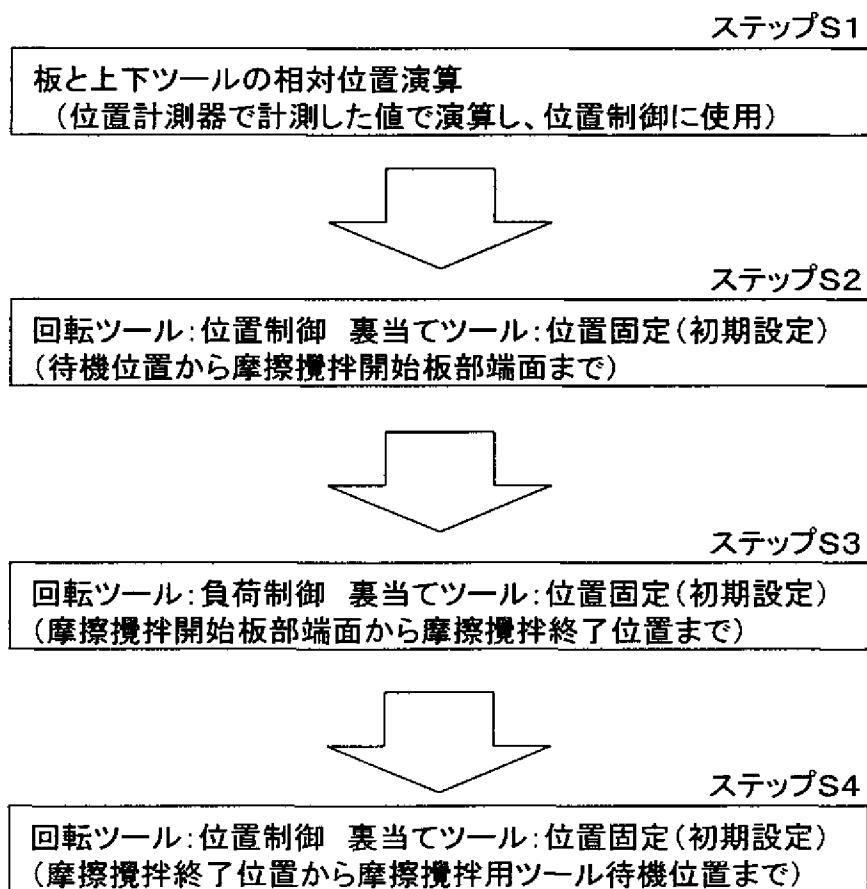
[図20]



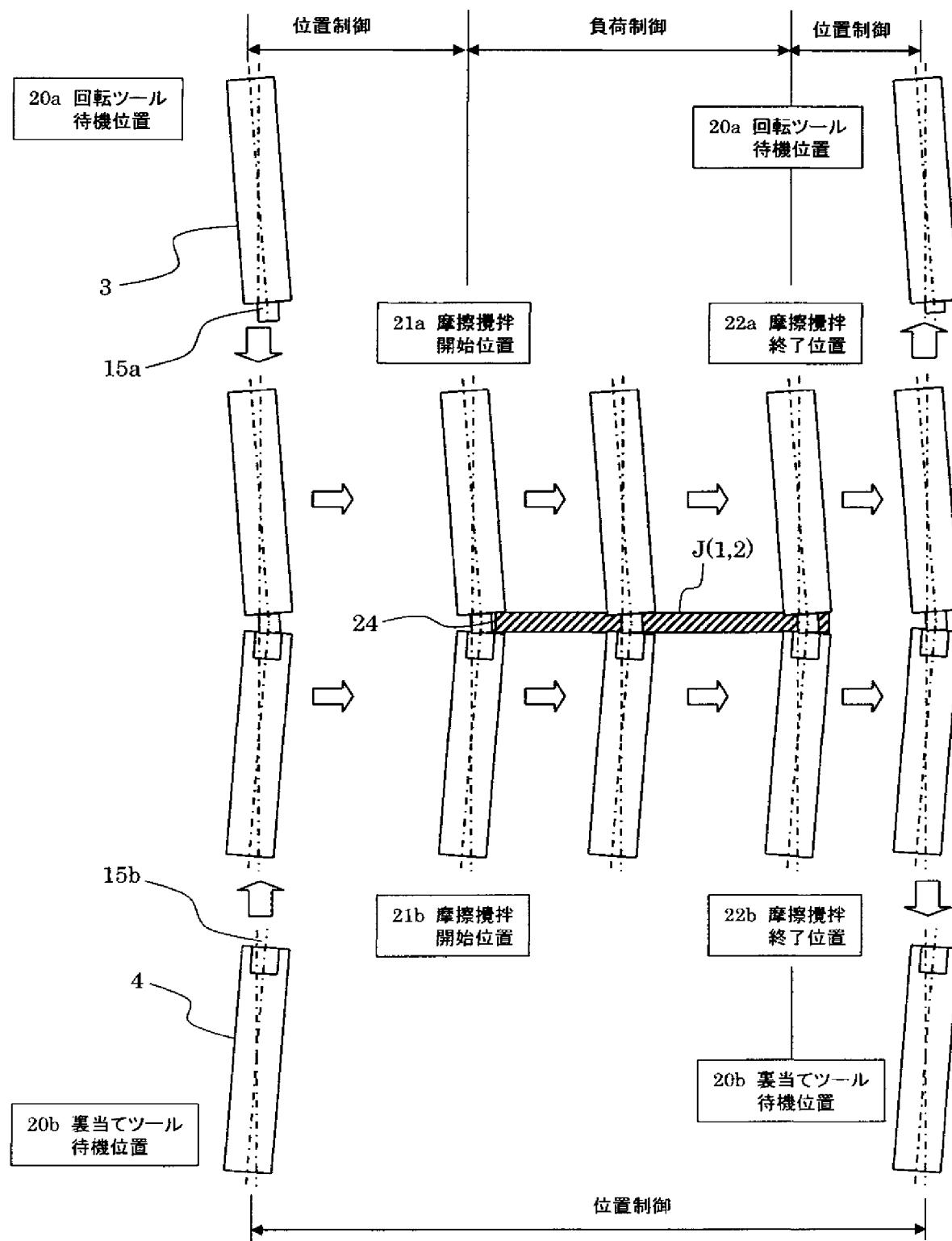
[图21]



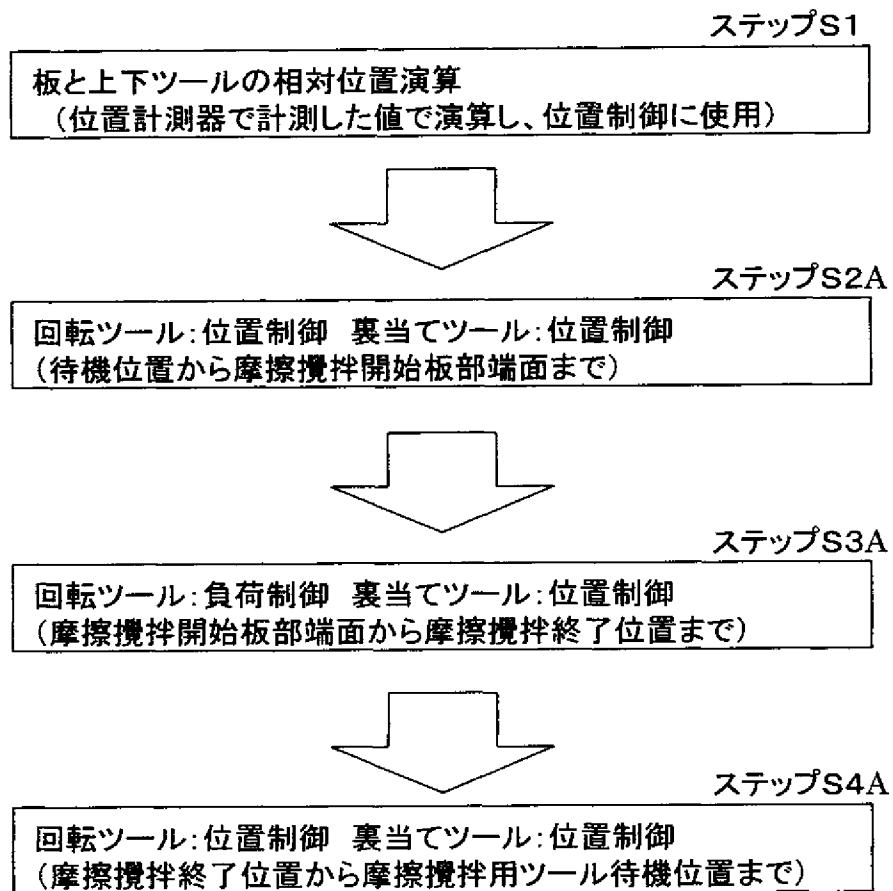
[図22]



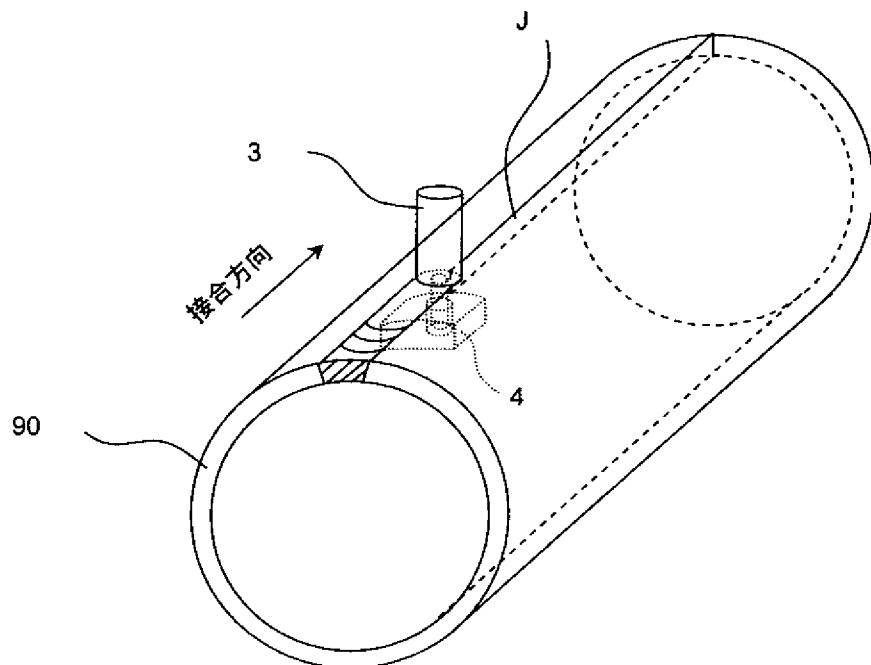
[図23]



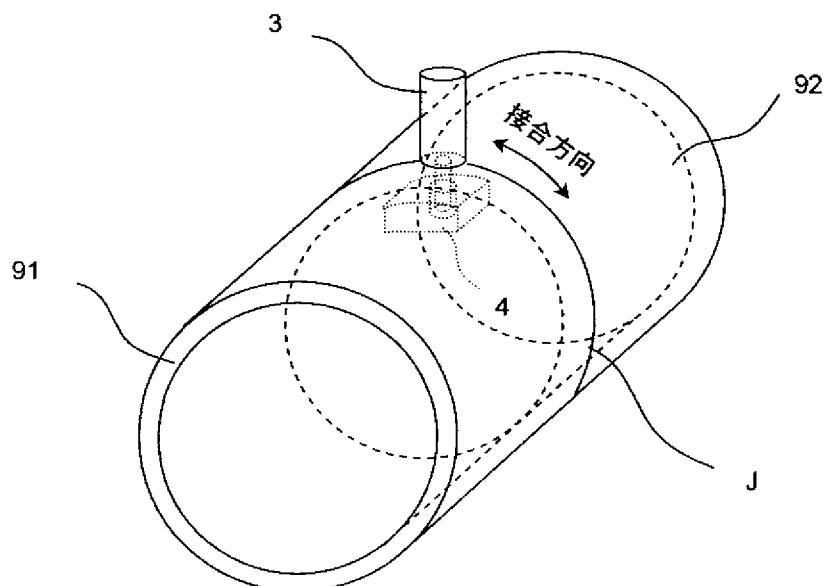
[図24]



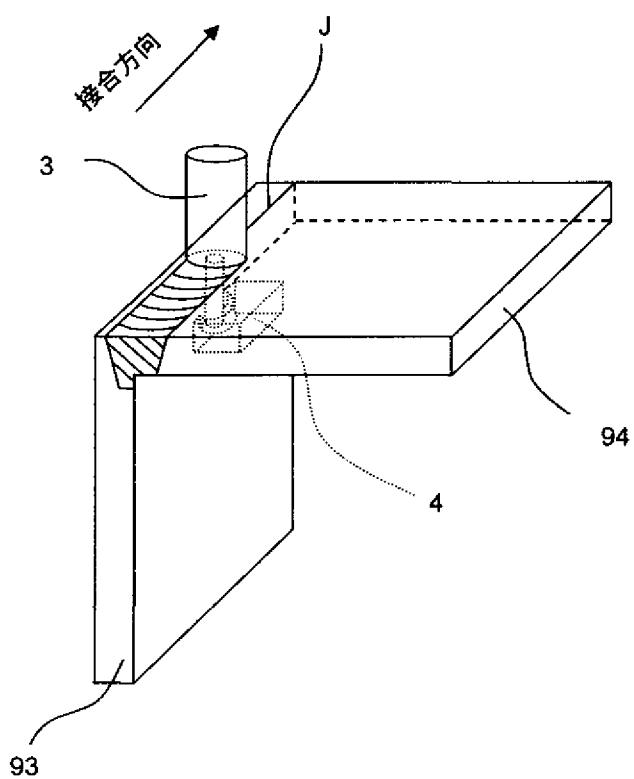
[図25]



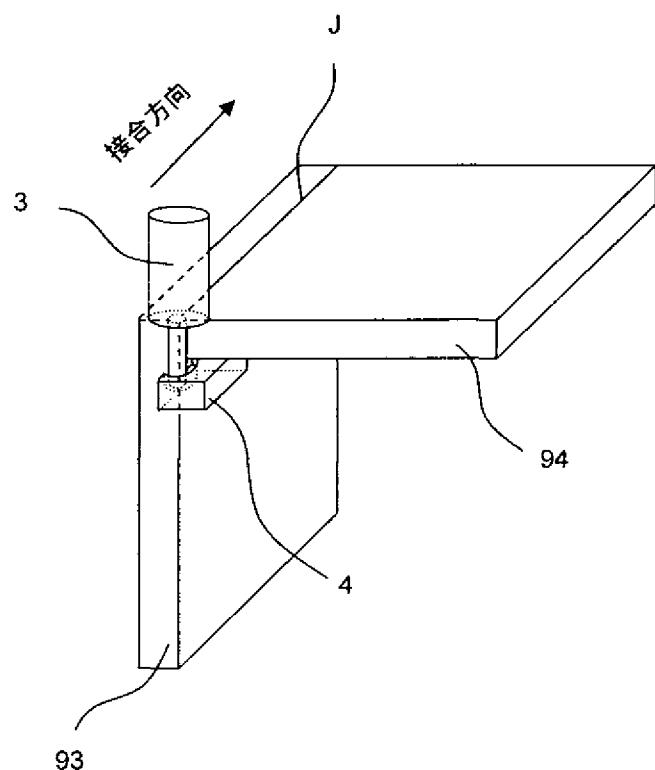
[図26]



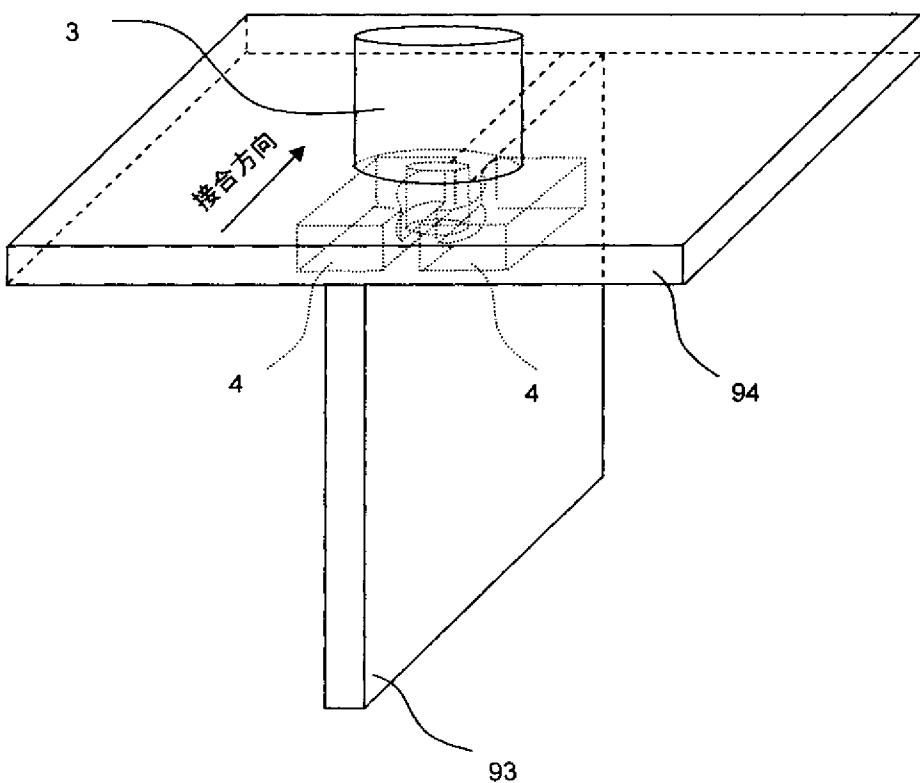
[図27A]



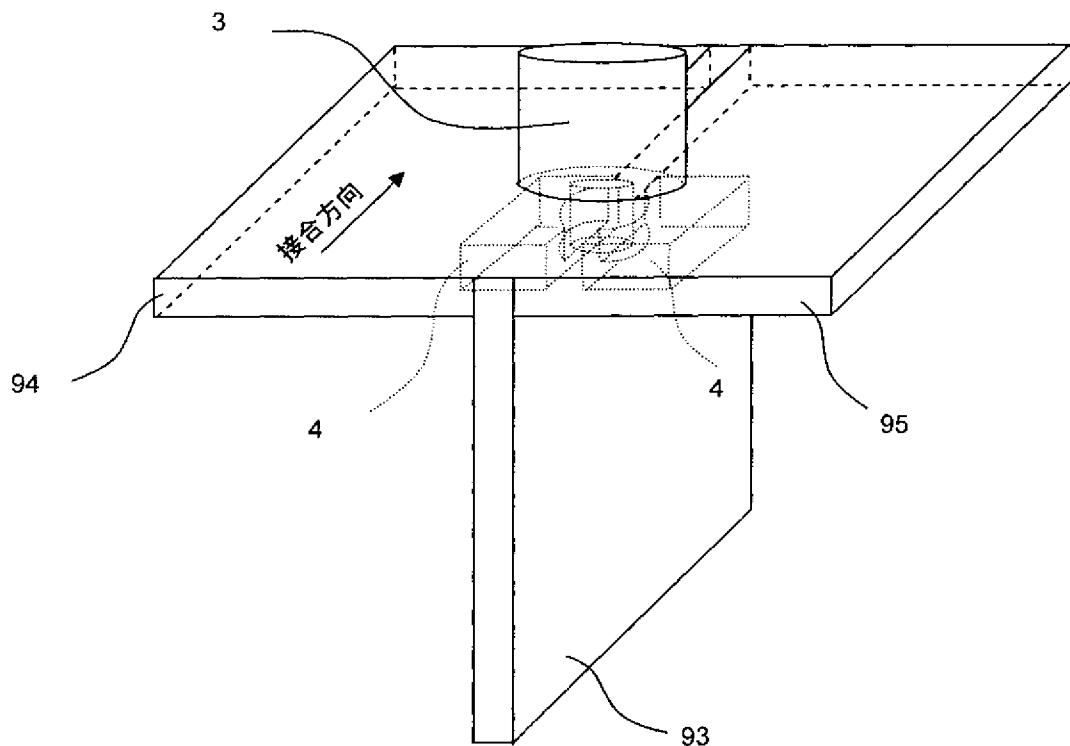
[図27B]



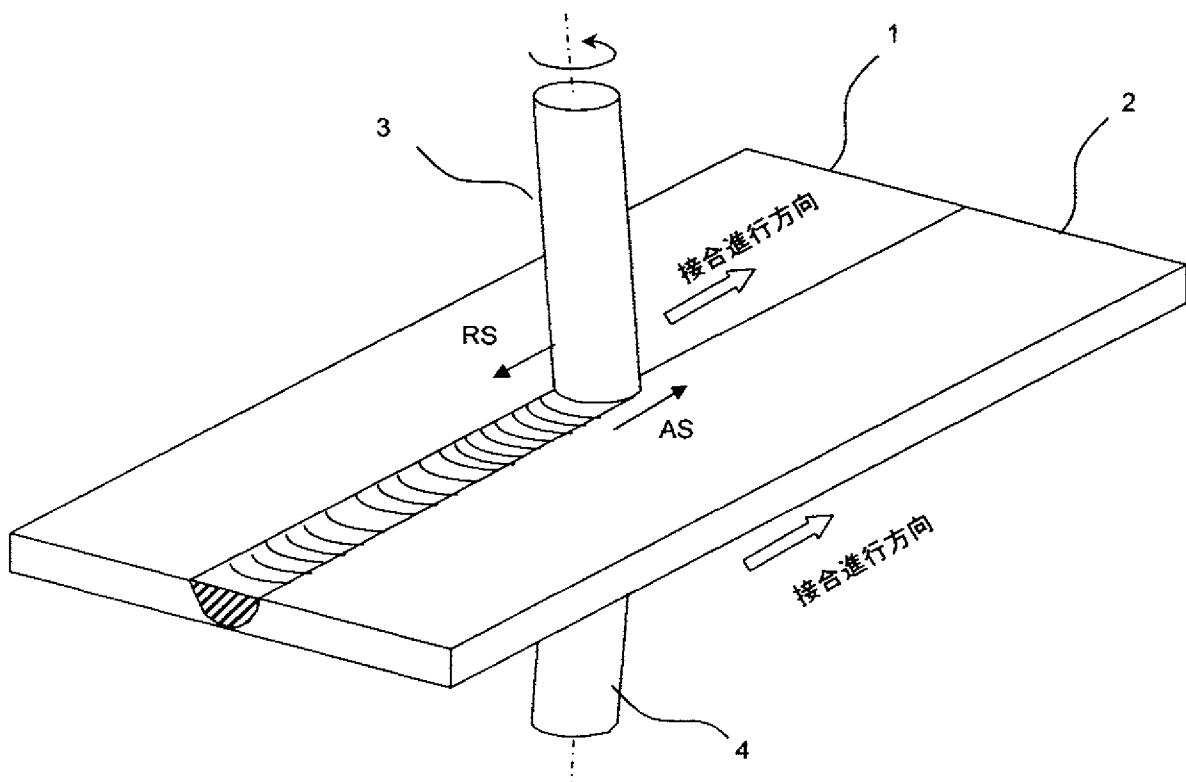
[図28]



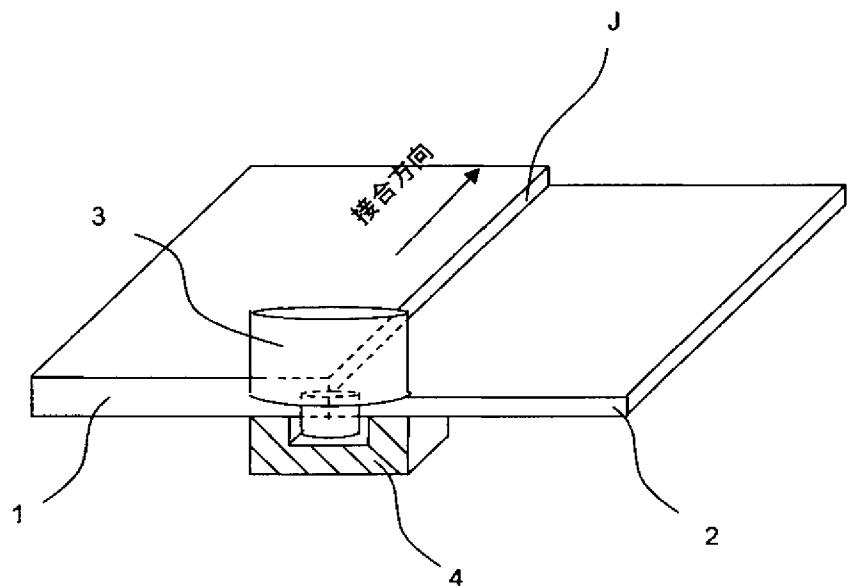
[図29]



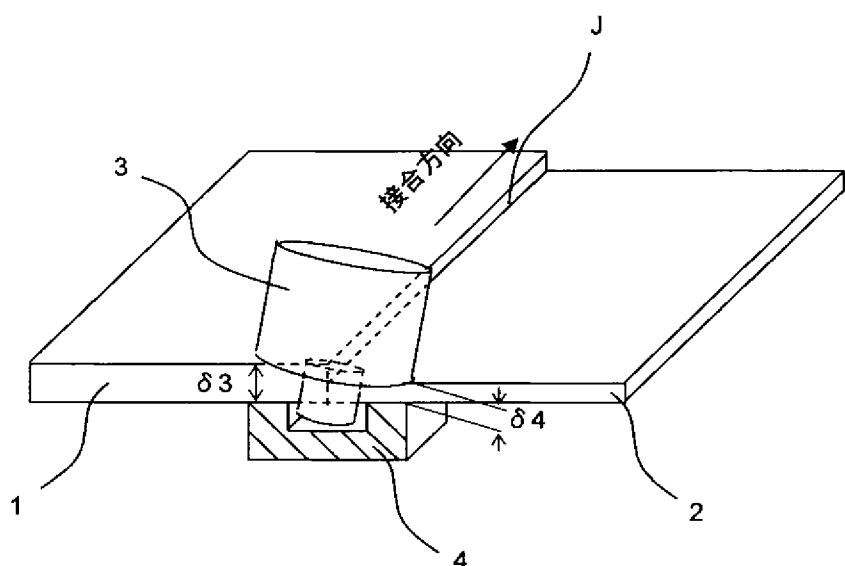
[図30]



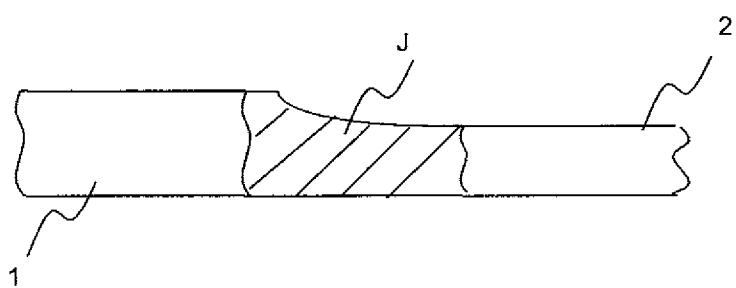
[図31]



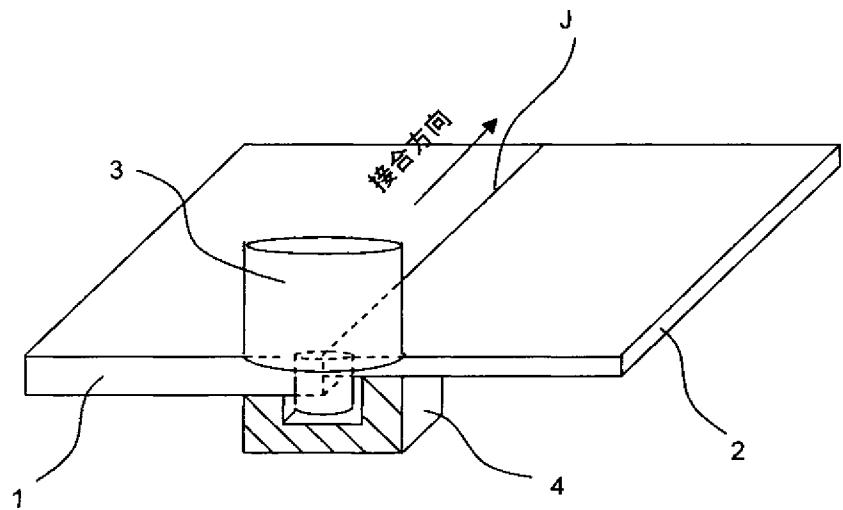
[図32]



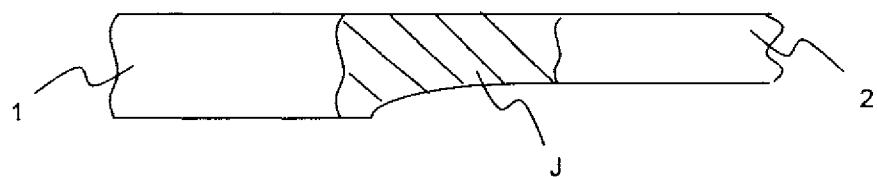
[図33]



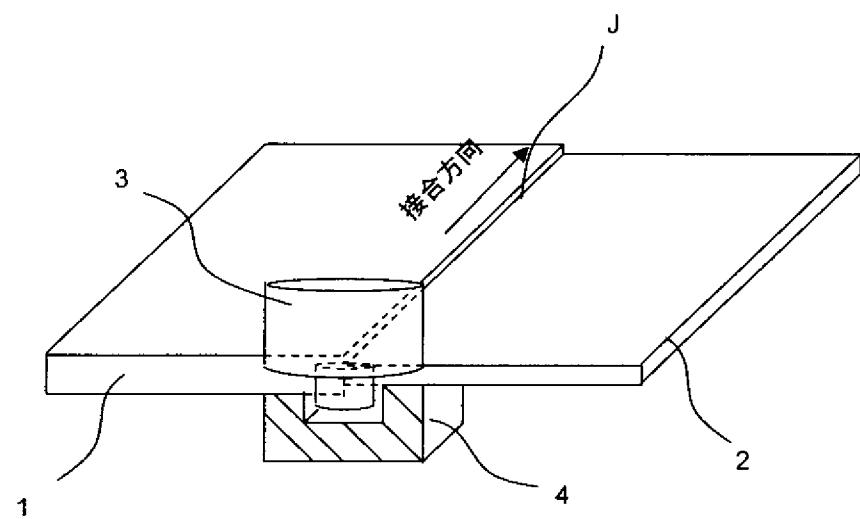
[図34]



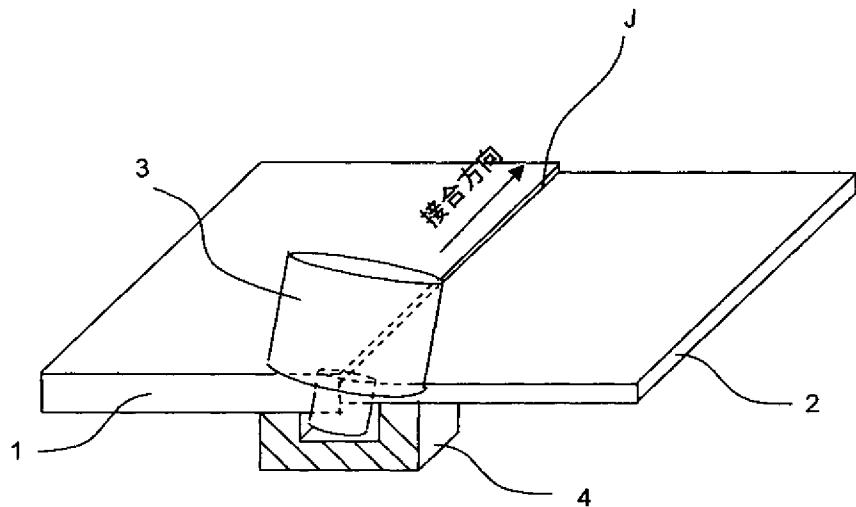
[図35]



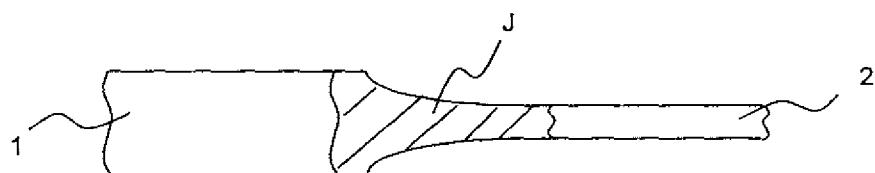
[図36]



[図37]



[図38]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/060457

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K20/12 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B23K20/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-48968 A (Hitachi, Ltd.), 23 February 1999 (23.02.1999), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 11-320127 A (Showa Aluminum Corp.), 24 November 1999 (24.11.1999), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2000-334577 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 05 December 2000 (05.12.2000), entire text; drawings (Family: none)	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 July, 2011 (25.07.11)

Date of mailing of the international search report
02 August, 2011 (02.08.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/060457

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-103061 A (Hitachi, Ltd., Hitachi Setsubi Engineering Co., Ltd.), 09 April 2002 (09.04.2002), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2004-276056 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 07 October 2004 (07.10.2004), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2005-66643 A (Nippon Sharyo Seizo Kaisha, Ltd.), 17 March 2005 (17.03.2005), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2008-36648 A (Keihin Ram Tech Co., Ltd.), 21 February 2008 (21.02.2008), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2009-18312 A (Sumitomo Light Metal Industries, Ltd.), 29 January 2009 (29.01.2009), entire text; drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2009-241771 A (Hitachi, Ltd.), 22 October 2009 (22.10.2009), entire text; drawings (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23K20/12 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. B23K20/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 11-48968 A (株式会社日立製作所) 1999.02.23, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 11-320127 A (昭和アルミニウム株式会社) 1999.11.24, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2000-334577 A (川崎重工業株式会社) 2000.12.05, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 25.07.2011	国際調査報告の発送日 02.08.2011
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許序審査官（権限のある職員） 松本 公一 電話番号 03-3581-1101 内線 3364 3P 3506

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2002-103061 A (株式会社日立製作所、日立設備エンジニアリング株式会社) 2002. 04. 09, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-276056 A (川崎重工業株式会社) 2004. 10. 07, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2005-66643 A (日本車輌製造株式会社) 2005. 03. 17, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2008-36648 A (京浜ラムテック株式会社) 2008. 02. 21, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2009-18312 A (住友軽金属工業株式会社) 2009. 01. 29, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2009-241771 A (株式会社日立製作所) 2009. 10. 22, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-10