(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
2010 年 12 月 9 日(09.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/140428 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 20/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/056775

(22) 国際出願日: 2010 年 4 月 15 日(15.04.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2009-131700 2009 年 6 月 1 日(01.06.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本軽金属株式会社 **(NIPPON LIGHT METAL COMPANY, LTD.)** [JP/JP]; 〒1408628 東京都品川区東品川２丁目２番２０号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 堀　久司 **(HORI Hisashi)** [JP/JP]; 〒4213291 静岡県静岡市清水区蒲原１丁目３４番１号　日本軽金属株式会社　グループ技術センター内 Shizuoka (JP).

瀬尾　伸城 **(SEO Nobushiro)** [JP/JP]; 〒4213291 静岡県静岡市清水区蒲原１丁目３４番１号　日本軽金属株式会社　グループ技術センター内 Shizuoka (JP). 佐藤　勇人 **(SATO Hayato)** [JP/JP]; 〒4928007 愛知県稲沢市赤池町６４０　株式会社名古屋アルミセンター内 Aichi (JP). 河本　知広 **(KOMOTO Tomohiro)** [JP/JP]; 〒1408628 東京都品川区東品川２丁目２番２０号　日本軽金属株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 磯野　道造 **(ISONO Michizo)**; 〒1020093 東京都千代田区平河町２丁目７番４号　砂防会館別館内　磯野国際特許商標事務所気付 Tokyo (JP).

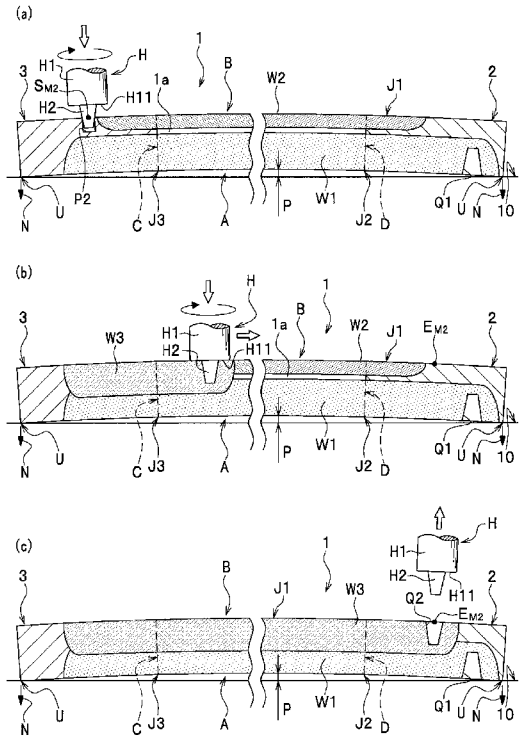
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL,

[続葉有]

(54) **Title**: WELDING METHOD

(54) 発明の名称 : 接合方法

[図9]



(57) **Abstract**: Provided is a friction stir welding method for welding together a pair of metal members, wherein the flatness of the metal members is improved. The welding method comprises a first welding step that conducts friction stir welding by moving a welding rotation tool from the front side (side A) of metal members along the abutting section (J1) of each metal member and a second welding step that conducts friction stir welding by moving the welding rotation tool (H) from the back side (side B) of the metal members along the abutting section (J1) after the first welding step. The welding method is characterized by the fact that the input of heat to the metal members in the second welding step is less than the input of heat to the metal members in the first welding step.

(57) 要約: 一対の金属部材を接合する摩擦攪拌接合において、金属部材の平坦性を高めることができる接合方法を提供することを課題とする。金属部材同士の突合部(Ｊ１)に沿って金属部材の表面Ａ側から本接合用回転ツールを移動させて摩擦攪拌接合を行う第一の本接合工程と、第一の本接合工程の後に、突合部(Ｊ１)に沿って金属部材の裏面(Ｂ)側から本接合用回転ツール(Ｈ)を移動させて摩擦攪拌接合を行う第二の本接合工程と、を含み、第二の本接合工程における金属部材への入熱量を、第一の本接合工程における金属部材への入熱量よりも少なく設定することを特徴とする。

WO 2010/140428 A1

PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, 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)）

明　細　書

発明の名称 ： 接合方法

技術分野

[0001] 本発明は、金属部材同士を接合する接合方法に関する。

背景技術

[0002] 金属部材同士を接合する方法として、摩擦攪拌接合（ＦＳＷ＝Friction Stir Welding）が知られている。摩擦攪拌接合は、回転ツールを回転させつつ金属部材同士の突合部に沿って移動させ、回転ツールと金属部材との摩擦熱により突合部の金属を塑性流動させることで、金属部材同士を固相接合させるものである。回転ツールは、円柱状を呈するショルダ部の下端面に攪拌ピン（プローブ）を突設してなるものが一般的である。

[0003] 例えば、特許文献１には、金属部材同士を突き合わせて形成された被接合金属部材に対して、被接合金属部材の表面側から摩擦攪拌接合を行う第一の本接合工程と、裏面側から摩擦攪拌接合を行う第二の本接合工程を行う技術が開示されている。この接合方法に係る第一の本接合工程及び第二の本接合工程では、同等の回転ツールを用いて、同等の条件（回転ツールの押込み量、送り速度等）で摩擦攪拌接合を行う。かかる接合方法によれば、突合部の深さ方向全体に亘って摩擦攪拌できるため接合部分の水密性及び気密性を高めることができる。

[0004] 従来の接合方法の第一の本接合工程においては、被接合金属部材の表面側から、回転ツールを押し込んで摩擦攪拌接合を行うと、被接合金属部材の表面に塑性化領域が形成される。第一の本接合工程では、高速回転する回転ツールによって被接合金属部材に熱が加わった後、冷却されるため被接合金属部材の表面側は、熱収縮によって凹状に変形する可能性がある。

[0005] しかし、従来の接合方法では、被接合金属部材の裏面側からも摩擦攪拌接合を行うため、表面側と同じ条件で摩擦攪拌接合を行えば、裏面側にも表面側と同様の熱収縮が起こると考えられ、被接合金属部材は平坦になるとも考

えられる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２００５－１３１６６６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、第一の本接合工程では、被接合金属部材と被接合金属部材が載置されたテーブルとが面接触しているため、回転ツールによって加えられた熱の一部は、被接合金属部材の裏面全体からテーブルに放出される（抜熱）。しかし、第二の本接合工程では、第一の本接合工程によって被接合金属部材が熱収縮により反っているため、被接合金属部材とテーブルとの間に隙間が形成された状態で摩擦攪拌接合を行うことになる。これにより、第二の本接合工程では、熱が放出される経路が少なくなるため第一の本接合工程に比べて抜熱量が少なくなる。

[0008] よって、第二の本接合工程では、第一の本接合工程に比べて、被接合金属部材内に残存する熱量が多くなるため、反りが戻り過ぎてしまい、被接合金属部材の裏面は凹状に変形する。つまり、被接合金属部材の表裏に対して同等の条件で摩擦攪拌接合を行っても、被接合金属部材内に残存する熱量が不均衡となるため、被接合金属部材が歪んでしまうという問題があった。

[0009] このような観点から、本発明は、一対の金属部材を接合する摩擦攪拌接合において、金属部材の平坦性を高めることができる接合方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] このような課題を解決する本発明に係る接合方法は、金属部材同士の突合部に沿って前記金属部材の表面側から本接合用回転ツールを移動させて摩擦攪拌接合を行う第一の本接合工程と、前記第一の本接合工程の後に、前記突合部に沿って前記金属部材の裏面側から本接合用回転ツールを移動させて摩

擦攪拌接合を行う第二の本接合工程と、を含み、前記第二の本接合工程における前記金属部材への入熱量を、前記第一の本接合工程における前記金属部材への入熱量よりも少なく設定することを特徴とする。

[0011] 要するに、摩擦攪拌接合された金属部材に残存する熱量は、残存熱量（Ｊ）＝入熱量－抜熱量で現され、第一の本接合工程と第二の本接合工程の残存熱量が等しくなれば被接合金属部材が平坦になると考えられる。

かかる接合方法によれば、第二の本接合工程における入熱量が、第一の本接合工程における入熱量よりも少なくなるため、接合された金属部材内に残存する熱量の不均衡を是正することができる。これにより、第二の本接合工程において金属部材が反ってしまうのを防ぐことができ、金属部材の平坦性を高めることができる。

[0012] また、前記第二の本接合工程で使用する本接合用回転ツールは、前記第一の本接合工程で使用する本接合用回転ツールよりも小さいことが好ましい。また、前記第二の本接合工程では、前記第一の本接合工程における前記本接合用回転ツールの送り速度よりも速い送り速度で摩擦攪拌接合を行うことが好ましい。かかる接合方法によれば、第二の本接合工程での入熱量を容易に少なく設定することができる。

[0013] また、前記第二の本接合工程の後に、前記金属部材の表面側又は裏面側から摩擦攪拌を行う矯正工程を行うことが好ましい。かかる接合方法によれば、第二の本接合工程で反りが是正されない場合であっても、矯正工程で矯正することで金属部材の平坦性を高めることができる。

[0014] また、前記第二の本接合工程では、前記第一の本接合工程で形成された塑性化領域に前記本接合用回転ツールの攪拌ピンを入り込ませつつ摩擦攪拌接合を行うことが好ましい。かかる接合方法によれば、塑性化領域が重複するとともに、塑性化領域の先端側が再度摩擦攪拌されるため、接合部分の気密性及び水密性を高めることができる。

[0015] また、前記金属部材を固定治具によってテーブルに固定した状態で前記第一の本接合工程及び前記第二の本接合工程を行うことが好ましい。かかる接

合方法によれば、摩擦攪拌接合の作業性を高めることができる。

[0016] また、前記本接合用回転ツールは、前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成された攪拌ピンと、前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、前記攪拌ピンの最大外径に対する前記攪拌ピンの長さの比を１．３３～２．０３に設定することが好ましい。

[0017] かかる接合方法によれば、攪拌ピンが折れにくく、かつ、金属部材の深い位置まで摩擦攪拌を行うことができる。この比が１．３３よりも小さいと、摩擦攪拌装置への負荷が大きくなって不適切である。また、攪拌ピンが短くなり金属部材の深くまで摩擦攪拌を行うことが困難になる。一方、この比が２．０３よりも大きくなると攪拌ピンが折れやすい。

[0018] また、前記本接合用回転ツールは、前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成された攪拌ピンと、前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、前記攪拌ピンの最小外径に対する前記攪拌ピンの最大外径の比を２．００～２．６７に設定することが好ましい。

[0019] かかる接合方法によれば、攪拌ピンを金属部材へ圧入する際の圧入抵抗をより小さくすることができるとともに、金属部材の深い位置まで摩擦攪拌を行うことができる。この比が２．００よりも小さくなると、攪拌ピンの最大径が小さ過ぎて、攪拌ピン先端の入熱量が不足して接合欠陥が発生する。また、金属部材に圧入する際の抵抗が大きくなり攪拌ピンを金属部材に圧入するのが困難になる。一方、この比が２．６７を超えると、攪拌ピンの最大径が大き過ぎてメタルが溢れ出して表面欠陥が発生する。また、攪拌ピンを深い位置まで圧入するのが困難になる。

[0020] また、前記本接合用回転ツールは、前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成された攪拌ピンと、前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、前記攪拌ピンの最大外径に対する前記ショルダ部の外径の

比を１．５６～２．１４に設定することが好ましい。

[0021] かかる接合方法によれば、攪拌ピンがより折れにくく、かつ、摩擦攪拌によって発生するバリを少なくすることができる。この比が１．５６よりも小さいと、ショルダ部からメタルが溢れ出して表面欠陥が発生する。一方、この比が２．１４よりも大きいと摩擦攪拌装置への負荷が大きくなって不適切である。

[0022] また、前記ショルダ部の下端面には、前記攪拌ピンの周囲を囲むように、平面視渦巻き状に突設された攪拌用突条体が形成されていることが好ましい。かかる接合方法によれば、摩擦攪拌接合の攪拌効率を高めることができる。

[0023] また、前記第一の本接合工程を行う前に、前記第一の本接合工程で用いる前記本接合用回転ツールよりも小型の仮接合用回転ツールを用いて、前記突合部に対して前記金属部材の表面側から摩擦攪拌接合を行う仮接合工程を行うことが好ましい。

また、前記第二の本接合工程を行う前に、前記第二の本接合工程で用いる前記本接合用回転ツールよりも小型の仮接合用回転ツールを用いて、前記突合部に対して前記金属部材の裏面側から摩擦攪拌接合を行う仮接合工程を行うことが好ましい。

[0024] かかる接合方法によれば、一対の金属部材を仮付けした状態で本接合工程を行うことができるため、作業性を高めることができる。

[0025] また、前記第一の本接合工程では、前記金属部材同士の突合部の側方に配置されたタブ材に摩擦攪拌の開始位置又は終了位置を設け、前記第一の本接合工程の後に、前記第一の本接合工程で形成された塑性化領域のうち少なくとも前記タブ材に隣接する部分に対して前記本接合用回転ツールよりも小型の補修用回転ツールを用いて摩擦攪拌を行う補修工程を行うことが好ましい。

また、前記第二の本接合工程では、前記金属部材同士の突合部の側方に配置されたタブ材に摩擦攪拌の開始位置又は終了位置を設け、前記第二の本接

合工程の後に、前記第二の本接合工程で形成された塑性化領域のうち少なくとも前記タブ材に隣接する部分に対して前記本接合用回転ツールよりも小型の補修用回転ツールを用いて摩擦攪拌を行う補修工程を行うことが好ましい。

[0026] かかる接合方法によれば、本接合工程で形成された塑性化領域に接合欠陥が含まれている場合であっても当該接合欠陥を補修して接合部分の気密性及び水密性を高めることができる。

発明の効果

[0027] 本発明に係る接合方法によれば、平坦性の高い金属部材を容易に形成することができる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]第一の実施形態に係る金属部材、第一タブ材及び第二タブ材の配置を説明するための図であって、（ａ）は斜視図、（ｂ）は平面図、（ｃ）は（ｂ）のＩ－Ｉ線断面図、（ｄ）は（ｂ）のII－II線断面図である。

[図2]（ａ）は仮接合用回転ツールを説明するための側面図、（ｂ）は本接合用回転ツールを説明するための側面図である。

[図3]第一の実施形態に係る金属部材の固定状態を示した斜視図である。

[図4]第一の実施形態に係る第一の仮接合工程を示した平面図である。

[図5]第一の実施形態に係る第一の仮接合工程を示した断面図である。

[図6]第一の実施形態に係る第一の本接合工程を示した図であって（ａ）は、開始位置、（ｂ）は、中間位置、（ｃ）は、終了位置を示す。

[図7]第一の実施形態に係る第一の本接合工程後を示した斜視図である。

[図8]第一の実施形態に係る第二の仮接合工程を示した断面図である。

[図9]第一の実施形態に係る第二の本接合工程を示した図であって（ａ）は、開始位置、（ｂ）は、中間位置、（ｃ）は、終了位置を示す。

[図10]第一の実施形態を終えた状態を示した断面図である。

[図11]第二の実施形態に係る第二の補修工程を説明するための図であって、（ａ）は、平面図、（ｂ）は、断面図である。

[図12]第二の実施形態に係る第二の補修工程を示した平面図である。

[図13]第二の実施形態に係る第二の補修工程後を示した断面図である。

[図14]第二の実施形態に係る第一の補修工程を説明するための平面図である。

[図15]第二の実施形態に係る第一の補修工程を示した断面図である。

[図16]回転ツールの変形例を示した図であって（ａ）は、側断面図、（ｂ）は、底面図である。

[図17]実施例を説明するための図であって（ａ）は、斜視図、（ｂ）は、平面図である。

発明を実施するための形態

[0029] ［第一の実施形態］

次に、本発明の実施形態について説明する。本実施形態では、図１に示すように、金属部材１ａ，１ｂを直線状に繋ぎ合せる場合を例示する。まず、接合すべき金属部材１ａ，１ｂを詳細に説明するとともに、この金属部材１ａ，１ｂを接合する際に用いられる第一タブ材２、第二タブ材３を詳細に説明する。

[0030] 金属部材１ａ，１ｂは、断面視矩形を呈する板状部材であって、アルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金、チタン、チタン合金、マグネシウム、マグネシウム合金など摩擦攪拌可能な金属材料からなる。本実施形態では、一方の金属部材１ａ及び他方の金属部材１ｂを、同一組成の金属材料で形成している。金属部材１ａ，１ｂの形状・寸法に特に制限はないが、少なくとも突合部Ｊ１における厚さ寸法を同一にすることが望ましい。なお、金属部材１ａ及び金属部材１ｂを突き合わせた金属部材を被接合金属部材１といい、被接合金属部材１の表面を表面Ａ、裏面を裏面Ｂ、一方の側面を第一側面Ｃ及び他方の側面を第二側面Ｄともいう。

[0031] 第一タブ材２及び第二タブ材３は、被接合金属部材１の突合部Ｊ１を挟むように配置されるものであって、それぞれ、被接合金属部材１に添設され、被接合金属部材１の側面に現れる継ぎ目（境界線）を覆い隠す。第一タブ材

２及び第二タブ材３の材質に特に制限はないが、本実施形態では、被接合金属部材１と同一組成の金属材料で形成している。また、第一タブ材２及び第二タブ材３の形状・寸法にも特に制限はないが、本実施形態では、その厚さ寸法を突合部Ｊ１における被接合金属部材１の厚さ寸法と同一にしている。

[0032] 次に、図２を参照して、仮接合工程で用いる回転ツール（以下、「仮接合用回転ツールＦ」という。）及び本接合工程で用いる回転ツール（以下、「本接合用回転ツールＧ」という。）を詳細に説明する。

[0033] 図２の（ａ）に示す仮接合用回転ツールＦは、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｆ１と、このショルダ部Ｆ１の下端面Ｆ１１に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｆ２とを備えて構成されている。仮接合用回転ツールＦの寸法・形状は、被接合金属部材１の材質や厚さ等に応じて設定すればよいが、少なくとも、後記する第一の本接合工程で用いる本接合用回転ツールＧ（図２の（ｂ）参照）よりも小型にする。このようにすると、本接合よりも小さな負荷で仮接合を行うことが可能となるので、仮接合時に摩擦攪拌装置に掛かる負荷を低減することが可能となり、さらには、仮接合用回転ツールＦの移動速度（送り速度）を本接合用回転ツールＧの移動速度よりも高速にすることも可能になるので、仮接合に要する作業時間やコストを低減することが可能となる。

[0034] ショルダ部Ｆ１の下端面Ｆ１１は、塑性流動化した金属を押えて周囲への飛散を防止する役割を担う部位であり、本実施形態では、凹面状に成形されている。ショルダ部Ｆ１の外径$Ｘ_1$の大きさに特に制限はないが、本実施形態では、本接合用回転ツールＧのショルダ部Ｇ１の外径$Ｙ_1$よりも小さくなっている。

[0035] 攪拌ピンＦ２は、ショルダ部Ｆ１の下端面Ｆ１１の中央から垂下しており、本実施形態では、先細りの円錐台状に成形されている。また、攪拌ピンＦ２の周面には、螺旋状に刻設された攪拌翼が形成されている。攪拌ピンＦ２の外径の大きさに特に制限はないが、本実施形態では、最大外径（上端径）$Ｘ_2$が本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２の最大外径（上端径）$Ｙ_2$よりも

小さく、かつ、最小外径（下端径）X_3が攪拌ピンＧ２の最小外径（下端径）Y_3よりも小さい。攪拌ピンＦ２の長さL_Aは、突合部Ｊ１（図１の（ａ）参照）における被接合金属部材１の厚さｔ（図１の（ｃ）参照）の３～１５％とすることが望ましいが、少なくとも、本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２の長さL_Bよりも小さくすることが望ましい。

[0036] 図２の（ｂ）に示す本接合用回転ツールＧは、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｇ１と、このショルダ部Ｇ１の下端面Ｇ１１に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｇ２とを備えて構成されている。

[0037] ショルダ部Ｇ１の下端面Ｇ１１は、仮接合用回転ツールＦと同様に、凹面状に成形されている。攪拌ピンＧ２は、ショルダ部Ｇ１の下端面Ｇ１１の中央から垂下しており、本実施形態では、先細りの円錐台状に成形されている。また、攪拌ピンＧ２の周面には、螺旋状に刻設された攪拌翼が形成されている。攪拌ピンＧ２の長さL_Bは、突合部Ｊ１（図１の（ｃ）参照）における被接合金属部材１の肉厚ｔの１／２以上３／４以下となるように設定することが望ましい。

[0038] 以下、本実施形態に係る接合方法を詳細に説明する。本実施形態に係る接合方法は、（１）第一の準備工程、（２）第一の予備工程、（３）第一の本接合工程、（４）第二の準備工程、（５）第二の予備工程、（６）第二の本接合工程、を含むものである。なお、第一の予備工程、第一の本接合工程は、被接合金属部材１の表面Ａ側から実行される工程であり、第二の予備工程、第二の本接合工程は、被接合金属部材１の裏面Ｂ側から実行される工程である。

[0039] （１）第一の準備工程

図１を参照して第一の準備工程を説明する。第一の準備工程は、接合すべき被接合金属部材１の摩擦攪拌の開始位置や終了位置が設けられる当て部材（第一タブ材２及び第二タブ材３）を準備する工程であり、本実施形態では、金属部材１ａ，１ｂ、第一タブ材２及び第二タブ材３の油脂分等の汚れを

取り除く脱脂工程と、金属部材１ａ，１ｂを突き合せる突合工程と、被接合金属部材１の突合部Ｊ１の両側に第一タブ材２、第二タブ材３を配置するタブ材配置工程と、第一タブ材２、第二タブ材３を溶接により被接合金属部材１に仮接合する溶接工程と、被接合金属部材１をテーブルに固定する固定工程を具備している。

[0040] 脱脂工程では、面削加工された金属部材１ａ，１ｂ、第一タブ材２及び第二タブ材３を脱脂処理液内に浸けて、各部材が突き合わされる面に付着した加工油等の油脂分や汚れを取り除く。具体的には、金属部材１ａと金属部材１ｂとが突き合わされる端面１１，１１や、被接合金属部材１と第一タブ材２及び第二タブ材３とが突き合わされる金属部材１ａ，１ｂの側面１４、第一タブ材２の当接面２１、第二タブ材３の当接面３１に対してそれぞれ脱脂処理を行う。脱脂工程は、少なくとも各部材が突き合わされる面に対して処理を行えばよいが、突合せ面に隣接する面に対して脱脂処理を行ってもよい。

[0041] 突合工程では、図１の（ｃ）に示すように、一方の金属部材１ａの端面１１に他方の金属部材１ｂの端面１１を密着させるとともに、一方の金属部材１ａの表面１２と他方の金属部材１ｂの表面１２を面一にし、さらに、一方の金属部材１ａの裏面１３と他方の金属部材１ｂの裏面１３を面一にする。また、一方の金属部材１ａの側面１４，１４と他方の金属部材１ｂの側面１４，１４をそれぞれ面一にする。

[0042] タブ材配置工程では、図１の（ｂ）に示すように、被接合金属部材１の突合部Ｊ１の一端側に第一タブ材２を配置してその当接面２１を被接合金属部材１の第二側面Ｄに当接させるとともに、突合部Ｊ１の他端側に第二タブ材３を配置してその当接面３１を被接合金属部材１の第一側面Ｃに当接させる。このとき、図１の（ｄ）に示すように、第一タブ材２の表面２２と第二タブ材３の表面３２を被接合金属部材１の表面Ａと面一にするとともに、第一タブ材２の裏面２３と第二タブ材３の裏面３３を被接合金属部材１の裏面Ｂと面一にする。

[0043] 溶接工程では、図１の（ａ）及び（ｂ）に示すように、被接合金属部材１と第一タブ材２とにより形成された入隅部２ａ，２ａ（即ち、金属部材１ａ，１ｂの側面１４と第一タブ材２の側面２４とにより形成された角部）を溶接して被接合金属部材１と第一タブ材２とを接合し、被接合金属部材１と第二タブ材３とにより形成された入隅部３ａ，３ａ（即ち、金属部材１ａ，１ｂの側面１４と第二タブ材３の側面３４とにより形成された角部）を溶接して被接合金属部材１と第二タブ材３とを接合する。なお、各入隅部の全長に亘って連続して溶接を施してもよいし、断続して溶接を施してもよい。

[0044] 固定工程では、図３に示すように、被接合金属部材１を摩擦攪拌装置のテーブル（架台）１０に載置し、クランプ等の固定治具１５を用いて移動不能に拘束する。固定治具１５の形態は、特に制限されないが、被接合金属部材１の表面Ａに当接する当て金具１５ａと、当て金具１５ａに挿通されるボルト１５ｂと、ボルト１５ｂが螺入されるネジ孔１５ｃとからなる。本実施形態では４つの固定治具１５を用いたが、数量を限定するものではない。

[0045] （２）第一の予備工程

第一の予備工程は、第一の本接合工程に先立って行われる工程であり、本実施形態では、被接合金属部材１と第一タブ材２との突合部Ｊ２を接合する第一タブ材接合工程と、被接合金属部材１の突合部Ｊ１を仮接合する第一の仮接合工程と、被接合金属部材１と第二タブ材３との突合部Ｊ３を接合する第二タブ材接合工程と、第一の本接合工程における摩擦攪拌の開始位置に下穴を形成する下穴形成工程とを具備している。

[0046] 第一の予備工程では、図４に示すように、一の仮接合用回転ツールＦを一筆書きの移動軌跡（ビード）を形成するように移動させて、突合部Ｊ２，Ｊ１，Ｊ３に対して連続して摩擦攪拌を行う。即ち、摩擦攪拌の開始位置S_Pに挿入した仮接合用回転ツールＦの攪拌ピンＦ２（図２の（ａ）参照）を途中で離脱させることなく終了位置E_Pまで移動させ、第一タブ材接合工程、第一の仮接合工程及び第二タブ材接合工程を連続して実行する。なお、本実施形態では、第一タブ材２に摩擦攪拌の開始位置S_Pを設け、第二タブ材３に終了

位置Ｅｐを設けているが、開始位置Ｓｐと終了位置Ｅｐの位置を限定する趣旨ではない。

[0047] 第一の予備工程における摩擦攪拌の手順を図４を参照してより詳細に説明する。まず、図４に示すように、第一タブ材２の適所に設けた開始位置Ｓｐの直上に仮接合用回転ツールＦを位置させ、続いて、仮接合用回転ツールＦを右回転させつつ下降させて攪拌ピンＦ２を開始位置Ｓｐに押し付ける。仮接合用回転ツールＦの回転速度は、攪拌ピンＦ２の寸法・形状、摩擦攪拌される被接合金属部材１等の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、５００～２０００（ｒｐｍ）の範囲内において設定される。

[0048] 攪拌ピンＦ２が第一タブ材２の表面２２に接触すると、摩擦熱によって攪拌ピンＦ２の周囲にある金属が塑性流動化し、攪拌ピンＦ２が第一タブ材２に挿入される。仮接合用回転ツールＦの挿入速度（下降速度）は、攪拌ピンＦ２の寸法・形状、開始位置Ｓｐが設けられる部材の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、３０～６０（ｍｍ／分）の範囲内において設定される。

[0049] 攪拌ピンＦ２の全体が第一タブ材２に入り込み、かつ、ショルダ部Ｆ１の下端面Ｆ１１の全面が第一タブ材２の表面２２に接触したら、仮接合用回転ツールＦを回転させつつ第一タブ材接合工程の始点ｓ２に向けて相対移動させる。

[0050] 仮接合用回転ツールＦの移動速度（送り速度）は、攪拌ピンＦ２の寸法・形状、摩擦攪拌される被接合金属部材１等の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、１００～１０００（ｍｍ／分）の範囲内において設定される。仮接合用回転ツールＦの移動時の回転速度は、挿入時の回転速度と同じか、それよりも低速にする。なお、仮接合用回転ツールＦを移動させる際には、ショルダ部Ｆ１の軸線を鉛直線に対して進行方向の後ろ側へ僅かに傾斜させてもよいが、傾斜させずに鉛直にすると、仮接合用回転ツールＦの方向転換が容易となり、複雑な動きが可能となる。仮接合用回転ツールＦを移動させると、その攪拌ピンＦ２の周囲にある金属が順次塑性流動

化するとともに、攪拌ピンＦ２から離れた位置では、塑性流動化していた金属が再び硬化する。

[0051] 仮接合用回転ツールＦを相対移動させて第一タブ材接合工程の始点ｓ２まで連続して摩擦攪拌を行ったら、始点ｓ２で仮接合用回転ツールＦを離脱させずにそのまま第一タブ材接合工程に移行する。

[0052] 第一タブ材接合工程では、第一タブ材２と被接合金属部材１との突合部Ｊ２に対して摩擦攪拌を行う。具体的には、被接合金属部材１と第一タブ材２の継ぎ目（境界線）上に摩擦攪拌のルートを設定し、当該ルートに沿って仮接合用回転ツールＦを相対移動させることで、突合部Ｊ２に対して摩擦攪拌を行う。なお、本実施形態では、仮接合用回転ツールＦを途中で離脱させることなく第一タブ材接合工程の始点ｓ２から終点ｅ２まで連続して摩擦攪拌を行う。

[0053] なお、仮接合用回転ツールＦを右回転させた場合には、仮接合用回転ツールＦの進行方向の左側に微細な接合欠陥が発生する虞があるので、仮接合用回転ツールＦの進行方向の右側に被接合金属部材１が位置するように第一タブ材接合工程の始点ｓ２と終点ｅ２の位置を設定することが望ましい。このようにすると、被接合金属部材１側に接合欠陥が発生し難くなるので、高品質の接合体を得ることが可能となる。

[0054] ちなみに、仮接合用回転ツールＦを左回転させた場合には、仮接合用回転ツールＦの進行方向の右側に微細な接合欠陥が発生する虞があるので、仮接合用回転ツールＦの進行方向の左側に被接合金属部材１が位置するように第一タブ材接合工程の始点と終点の位置を設定することが望ましい。具体的には、図示は省略するが、仮接合用回転ツールＦを右回転させた場合の終点ｅ２の位置に始点を設け、仮接合用回転ツールＦを右回転させた場合の始点ｓ２の位置に終点を設ければよい。

[0055] なお、仮接合用回転ツールＦの攪拌ピンＦ２が突合部Ｊ２に入り込むと、被接合金属部材１と第一タブ材２を引き離そうとする力が作用するが、被接合金属部材１と第一タブ材２により形成された一対の入隅部２ａを溶接によ

り仮接合しているので、被接合金属部材１と第一タブ材２との間に目開きが発生するのを防止できる。

[0056] 仮接合用回転ツールＦが第一タブ材接合工程の終点ｅ２に達したら、終点ｅ２で摩擦攪拌を終了させずに第一の仮接合工程の始点ｓ１まで連続して摩擦攪拌を行い、そのまま第一の仮接合工程に移行する。即ち、第一タブ材接合工程の終点ｅ２から第一の仮接合工程の始点ｓ１まで仮接合用回転ツールＦを離脱させずに摩擦攪拌を継続し、さらに、始点ｓ１で仮接合用回転ツールＦを離脱させることなく第一の仮接合工程に移行する。このようにすると、第一タブ材接合工程の終点ｅ２での仮接合用回転ツールＦの離脱作業が不要となり、さらに、第一の仮接合工程の始点ｓ１での仮接合用回転ツールＦの挿入作業が不要となることから、予備的な接合作業の効率化・迅速化を図ることが可能となる。

[0057] 本実施形態では、第一タブ材接合工程の終点ｅ２から第一の仮接合工程の始点ｓ１に至る摩擦攪拌のルートを第一タブ材２に設定し、仮接合用回転ツールＦを第一タブ材接合工程の終点ｅ２から第一の仮接合工程の始点ｓ１に移動させる際の移動軌跡を第一タブ材２に形成する。このようにすると、第一タブ材接合工程の終点ｅ２から第一の仮接合工程の始点ｓ１に至る工程中において、被接合金属部材１に接合欠陥が発生し難くなるので、高品質の接合体を得ることが可能となる。

[0058] 第一の仮接合工程では、被接合金属部材１の突合部Ｊ１に対して摩擦攪拌を行う。具体的には、被接合金属部材１の継ぎ目（境界線）上に摩擦攪拌のルートを設定し、当該ルートに沿って仮接合用回転ツールＦを相対移動させることで、突合部Ｊ１の全長に亘って連続して摩擦攪拌を行う。第一の仮接合工程によって、突合部Ｊ１に表面側塑性化領域Ｗ０が形成される。なお、本実施形態では、仮接合用回転ツールＦを途中で離脱させることなく第一の仮接合工程の始点ｓ１から終点ｅ１まで連続して摩擦攪拌を行う。このようにすると、第一の仮接合工程中における仮接合用回転ツールＦの離脱作業が一切不要となることから、予備的な接合作業のより一層の効率化・迅速化を

図ることが可能となる。

[0059] 仮接合用回転ツールＦが第一の仮接合工程の終点ｅ１に達したら、終点ｅ１で摩擦攪拌を終了させずに第二タブ材接合工程の始点ｓ３まで連続して摩擦攪拌を行い、そのまま第二タブ材接合工程に移行する。即ち、第一の仮接合工程の終点ｅ１から第二タブ材接合工程の始点ｓ３まで仮接合用回転ツールＦを離脱させずに摩擦攪拌を継続し、さらに、始点ｓ３で仮接合用回転ツールＦを離脱させることなく第二タブ材接合工程に移行する。このようにすると、第一の仮接合工程の終点ｅ１での仮接合用回転ツールＦの離脱作業が不要となり、さらに、第二タブ材接合工程の始点ｓ３での仮接合用回転ツールＦの挿入作業が不要となることから、予備的な接合作業のより一層の効率化・迅速化を図ることが可能となる。

[0060] 本実施形態では、第一の仮接合工程の終点ｅ１から第二タブ材接合工程の始点ｓ３に至る摩擦攪拌のルートを第二タブ材３に設定し、仮接合用回転ツールＦを第一の仮接合工程の終点ｅ１から第二タブ材接合工程の始点ｓ３に移動させる際の移動軌跡を第二タブ材３に形成する。このようにすると、第一の仮接合工程の終点ｅ１から第二タブ材接合工程の始点ｓ３に至る工程中において、被接合金属部材１に接合欠陥が発生し難くなるので、高品質の接合体を得ることが可能となる。

[0061] 第二タブ材接合工程では、被接合金属部材１と第二タブ材３との突合部Ｊ３に対して摩擦攪拌を行う。具体的には、被接合金属部材１と第二タブ材３の継ぎ目（境界線）上に摩擦攪拌のルートを設定し、当該ルートに沿って仮接合用回転ツールＦを相対移動させることで、突合部Ｊ３に対して摩擦攪拌を行う。なお、本実施形態では、仮接合用回転ツールＦを途中で離脱させることなく第二タブ材接合工程の始点ｓ３から終点ｅ３まで連続して摩擦攪拌を行う。

[0062] なお、仮接合用回転ツールＦを右回転させているので、仮接合用回転ツールＦの進行方向の右側に被接合金属部材１が位置するように第二タブ材接合工程の始点ｓ３と終点ｅ３の位置を設定する。このようにすると、被接合金

属部材１側に接合欠陥が発生し難くなるので、高品質の接合体を得ることが可能となる。ちなみに、仮接合用回転ツールＦを左回転させた場合には、仮接合用回転ツールＦの進行方向の左側に被接合金属部材１が位置するように第二タブ材接合工程の始点と終点の位置を設定することが望ましい。具体的には、図示は省略するが、仮接合用回転ツールＦを右回転させた場合の終点ｅ３の位置に始点を設け、仮接合用回転ツールＦを右回転させた場合の始点ｓ３の位置に終点を設ければよい。

[0063] なお、仮接合用回転ツールＦの攪拌ピンＦ２（図２の（ａ）参照）が突合部Ｊ３に入り込むと、被接合金属部材１と第二タブ材３を引き離そうとする力が作用するが、被接合金属部材１と第二タブ材３の一対の入隅部３ａを溶接により仮接合しているので、被接合金属部材１と第二タブ材３との間に目開きが発生するのを防止できる。

[0064] 仮接合用回転ツールＦが第二タブ材接合工程の終点ｅ３に達したら、終点ｅ３で摩擦攪拌を終了させずに、第二タブ材３に設けた終了位置$Ｅ_{Ｐ}$まで連続して摩擦攪拌を行う。なお、本実施形態では、被接合金属部材１の表面Ａ側に現れる継ぎ目（境界線）の延長線上に終了位置$Ｅ_{Ｐ}$を設けている。ちなみに、終了位置$Ｅ_{Ｐ}$は、後記する第一の本接合工程における摩擦攪拌の開始位置$Ｓ_{Ｍ１}$でもある。

[0065] 仮接合用回転ツールＦが終了位置$Ｅ_{Ｐ}$に達したら、仮接合用回転ツールＦを回転させつつ上昇させて攪拌ピンＦ２を終了位置$Ｅ_{Ｐ}$から離脱させる。図５に示すように、高速回転した仮接合用回転ツールＦが被接合金属部材１に挿入されると、被接合金属部材１内に摩擦熱が伝達される（入熱）。被接合金属部材１がテーブル１０に面接触しているため、摩擦熱の一部は、矢印Ｎに示すように被接合金属部材１の裏面Ｂの全体からテーブル１０側に放出（抜熱）される。

[0066] なお、仮接合用回転ツールＦの離脱速度（上昇速度）は、攪拌ピンＦ２の寸法・形状、終了位置$Ｅ_{Ｐ}$が設けられる部材の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、３０～６０（ｍｍ／分）の範囲内において設

定される。また、仮接合用回転ツールＦの離脱時の回転速度は、移動時の回転速度と同じか、それよりも高速にする。

[0067] 続いて、下穴形成工程を実行する。下穴形成工程は、図２の（ｂ）に示すように、第一の本接合工程における摩擦攪拌の開始位置S_{M1}に下穴Ｐ１を形成する工程である。即ち、下穴形成工程は、本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２の挿入予定位置に下穴Ｐ１を形成する工程である。

[0068] 下穴Ｐ１は、本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２の挿入抵抗（圧入抵抗）を低減する目的で設けられるものであり、本実施形態では、仮接合用回転ツールＦの攪拌ピンＦ２（図２の（ａ）参照）を離脱させたときに形成される抜き穴ｈ１を図示せぬドリルなどで拡径することで形成される。抜き穴ｈ１を利用すれば、下穴Ｐ１の形成工程を簡略化することが可能となるので、作業時間を短縮することが可能となる。下穴Ｐ１の形態に特に制限はないが、本実施形態では、円筒状としている。また、下穴Ｐ１の幅Z_1及び深さZ_2は、攪拌ピンＧ２の大きさ、形状に応じて適宜設定すればよい。

[0069] なお、本実施形態では、第二タブ材３に下穴Ｐ１を形成しているが、下穴Ｐ１の位置に特に制限はなく、第一タブ材２に形成してもよいし、突合部Ｊ２，Ｊ３に形成してもよいが、好適には、本実施形態の如く被接合金属部材１の表面Ａ側に現れる被接合金属部材１の継ぎ目（境界線）の延長線上に形成することが望ましい。

[0070] （３）第一の本接合工程

第一の本接合工程は、被接合金属部材１の突合部Ｊ１を表面Ａ側から本格的に接合する工程である。本実施形態に係る第一の本接合工程では、図２の（ｂ）に示す本接合用回転ツールＧを使用し、仮接合された状態の突合部Ｊ１に対して被接合金属部材１の表面Ａ側から摩擦攪拌を行う。

[0071] 第一の本接合工程では、図６の（ａ）～（ｃ）に示すように、開始位置S_{M1}に形成した下穴Ｐ１に本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２を挿入（圧入）し、挿入した攪拌ピンＧ２を途中で離脱させることなく終了位置E_{M1}まで移動させる。即ち、第一の本接合工程では、下穴Ｐ１から摩擦攪拌を開始し、

終了位置E_{M1}まで連続して摩擦攪拌を行う。なお、本実施形態では、第二タブ材３に摩擦攪拌の開始位置S_{M1}を設け、第一タブ材２に終了位置E_{M1}を設けているが、開始位置S_{M1}と終了位置E_{M1}の位置を限定する趣旨ではない。

[0072] 図６の（ａ）～（ｃ）を参照して第一の本接合工程をより詳細に説明する。

まず、図６の（ａ）に示すように、下穴Ｐ１（開始位置S_{M1}）の直上に本接合用回転ツールＧを位置させ、続いて、本接合用回転ツールＧを右回転させつつ下降させて攪拌ピンＧ２の先端を下穴Ｐ１に挿入する。攪拌ピンＧ２を下穴Ｐ１に入り込ませると、攪拌ピンＧ２の周面（側面）が下穴Ｐ１の穴壁に当接し、穴壁から金属が塑性流動化する。このような状態になると、塑性流動化した金属を攪拌ピンＧ２の周面で押し退けながら、攪拌ピンＧ２が圧入されることになるので、圧入初期段階における圧入抵抗を低減することが可能となり、また、本接合用回転ツールＧのショルダ部Ｇ１が第二タブ材３の表面に当接する前に攪拌ピンＧ２が下穴Ｐ１の穴壁に当接して摩擦熱が発生するので、塑性流動化するまでの時間を短縮することが可能となる。つまり、摩擦攪拌装置の負荷を低減することが可能となり、加えて、本接合に要する作業時間を短縮することが可能となる。

[0073] 摩擦攪拌の開始位置S_{M1}に本接合用回転ツールＧの攪拌ピンＧ２を挿入する際の本接合用回転ツールＧの回転速度（挿入時の回転速度）は、攪拌ピンＧ２の寸法・形状、摩擦攪拌される被接合金属部材１等の材質や肉厚等に応じて設定されるものであり、多くの場合、７０～７００（ｒｐｍ）の範囲内において設定されるが、開始位置S_{M1}から摩擦攪拌の終了位置E_{M1}に向かって本接合用回転ツールＧを移動させる際の本接合用回転ツールＧの回転速度（移動時の回転速度）よりも高速にすることが望ましい。このようにすると、挿入時の回転速度を移動時の回転速度と同じにした場合に比べて、金属を塑性流動化させるまでに要する時間が短くなるので、開始位置S_{M1}における攪拌ピンＧ２の挿入作業を迅速に行うことが可能となる。

[0074] 攪拌ピンＧ２の全体が第二タブ材３に入り込み、かつ、ショルダ部Ｇ１の

下端面Ｇ１１の全面が第二タブ材３の表面に接触したら、図６の（ｂ）に示すように、摩擦攪拌を行いながら被接合金属部材１の突合部Ｊ１の一端に向けて本接合用回転ツールＧを相対移動させ、さらに、突合部Ｊ３を横切らせて突合部Ｊ１に突入させる。本接合用回転ツールＧを移動させると、その攪拌ピンＧ２の周囲にある金属が順次塑性流動化するとともに、攪拌ピンＧ２から離れた位置では、塑性流動化していた金属が再び硬化して塑性化領域Ｗ１（以下、「表面側塑性化領域Ｗ１」という。）が形成される。

[0075] 本接合用回転ツールＧの移動速度（送り速度）は、攪拌ピンＧ２の寸法・形状、摩擦攪拌される被接合金属部材１等の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、３０～３００（ｍｍ／分）の範囲内において設定される。なお、本接合用回転ツールＧを移動させる際には、ショルダ部Ｇ１の軸線を鉛直線に対して進行方向の後ろ側へ僅かに傾斜させてもよいが、傾斜させずに鉛直にすると、本接合用回転ツールＧの方向転換が容易となり、複雑な動きが可能となる。

[0076] 被接合金属部材１への入熱量が過大になる虞がある場合には、本接合用回転ツールＧの周囲に表面Ａ側から水を供給するなどして冷却することが望ましい。なお、被接合金属部材１の突合部Ｊ１間に冷却水が入り込むと、接合面に酸化皮膜を発生させる虞があるが、本実施形態においては、第一の仮接合工程を実行して被接合金属部材１間の目地を閉塞しているので、被接合金属部材１の突合部Ｊ１に冷却水が入り込み難く、したがって、接合部の品質を劣化させる虞がない。

[0077] 被接合金属部材１の突合部Ｊ１では、被接合金属部材１の継ぎ目上（第一の仮接合工程における移動軌跡上）に摩擦攪拌のルートを設定し、当該ルートに沿って本接合用回転ツールＧを相対移動させることで、突合部Ｊ１の一端から他端まで連続して摩擦攪拌を行う。突合部Ｊ１の他端まで本接合用回転ツールＧを相対移動させたら、摩擦攪拌を行いながら突合部Ｊ２を横切らせ、そのまま終了位置E_{M1}に向けて相対移動させる。

[0078] なお、本実施形態では、被接合金属部材１の表面Ａ側に現れる継ぎ目（境

界線）の延長線上に摩擦攪拌の終了位置E_{M1}を設定しているので、第一の本接合工程における摩擦攪拌のルートを一直線にすることができる。摩擦攪拌のルートを一直線にすると、本接合用回転ツールＧの移動距離を最小限に抑えることができるので、第一の本接合工程を効率よく行うことが可能となり、さらには、本接合用回転ツールＧの磨耗量を低減することが可能となる。

[0079] 本接合用回転ツールＧが終了位置E_{M1}に達したら、図６の（ｃ）に示すように、本接合用回転ツールＧを回転させつつ上昇させて攪拌ピンＧ２を終了位置E_{M1}（図６の（ｂ）参照）から離脱させる。なお、終了位置E_{M1}において攪拌ピンＧ２を上方に離脱させると、攪拌ピンＧ２と略同形の抜き穴Ｑ１が不可避的に形成されることになるが、本実施形態では、そのまま残置する。

[0080] 図６の（ｂ）及び（ｃ）に示すように、高速回転した本接合用回転ツールＧが被接合金属部材１に挿入されると、被接合金属部材１内に摩擦熱が伝達される（入熱）。被接合金属部材１がテーブル１０に面接触しているため、摩擦熱の一部は、矢印Ｎに示すように被接合金属部材１の裏面Ｂからテーブル１０側に放出（抜熱）される。

[0081] なお、本実施形態では、図６の（ｂ）及び（ｃ）に示すように、本接合用回転ツールＧを右回転させて第一の本接合工程を行ったため、進行方向左側、即ち、金属部材１ｂにトンネル状の空洞欠陥（以下、トンネル状空洞欠陥とする）が形成される可能性がある。摩擦攪拌を行う際に、進行方向左側はシアー側（被接合部に対する回転ツールの外周の相対速さが、回転ツールの外周における接線速度の大きさに移動速度の大きさを加算した値となる側）であるため、メタルが強く攪拌されて高温軟化し、バリとなって排出され易いと考えられる。このため、進行方向左側はメタルが不足するので、トンネル状空洞欠陥が形成される可能性がある。また、進行方向右側、即ち、金属部材１ａ側は、フロー側（被接合部に対する回転ツールの外周の相対速さが、回転ツールの外周における接線速度の大きさから移動速度の大きさを減算した値となる側）であるため、メタルの攪拌が比較的弱く、バリとなって排

出され難いと考えられ、比較的緻密な塑性化領域が形成される。

[0082] ちなみに、本接合用回転ツールＧを左回転させると、進行方向右側は、シア一側となるため進行方向右側にトンネル状空洞欠陥が形成される可能性がある。一方、進行方向左側は、フロー側となるため、比較的緻密な塑性化領域が形成される。かかるトンネル状空洞欠陥などの接合欠陥が被接合金属部材１に形成されると、被接合金属部材１の気密性及び水密性を低下させる原因となる。

[0083] 第一の本接合工程が終了したら、第一予備工程、第一の本接合工程における摩擦攪拌で発生したバリを除去する。さらに、固定治具１５から被接合金属部材１を解除する。

[0084] 図７は、第一の実施形態に係る第一の本接合工程後を示した斜視図である。図７に示すように、前記した第一の予備工程及び第一の本接合工程を行うと、被接合金属部材１に伝達された熱が、冷却されて熱収縮を起こすため、被接合金属部材１の表面Ａ側に凹状に変形する。

[0085] （４）第二の準備工程

第二の準備工程は、第二の予備工程に先立って行われる工程であり、本実施形態では、被接合金属部材１の表裏を逆にして、被接合金属部材１を固定治具１５（図３参照）でテーブル１０に固定する。図８に示すように、被接合金属部材１をテーブル１０に固定すると、被接合金属部材１が反って（歪んで）いるため、被接合金属部材１の縁部Ｕ，Ｕとテーブル１０とが当接し、テーブル１０と被接合金属部材１の表面Ａとの間に間隙Ｐが形成される。

[0086] （５）第二の予備工程

第二の予備工程は、第二の本接合工程に先だって行われる工程であり、本実施形態では、被接合金属部材１と第一タブ材２との突合部Ｊ２を接合する第一タブ材接合工程と、被接合金属部材１の突合部Ｊ１を仮接合する第二の仮接合工程と、被接合金属部材１と第二タブ材３との突合部Ｊ３を接合する第二タブ材接合工程と、第二の本接合工程における摩擦攪拌の開始位置に下穴を形成する下穴形成工程とを具備している。第二の予備工程は、被接合金

属部材１の表裏を除いては、前記した第一の予備工程と略同等であるため、詳細な説明は省略する。

[0087] 図８に示すように、第二の仮接合工程によって、高速回転した仮接合用回転ツールＦが被接合金属部材１に挿入されると、被接合金属部材１内に摩擦熱が伝達される（入熱）。また、摩擦熱の一部は、矢印Ｎに示すように被接合金属部材１の縁部Ｕ，Ｕからテーブル１０に放出（抜熱）される。第二の仮接合工程では、第一の仮接合工程と同じ仮接合用回転ツールＦを用いるため、入熱量は表面Ａ側と同等であるが、第一の仮接合工程に比べて熱が放出される経路が少ないため抜熱量は少ない。第二の仮接合工程によって、被接合金属部材１の裏面Ｂには、裏面側塑性化領域Ｗ２が形成される。

[0088] （６）第二の本接合工程

第二の本接合工程は、被接合金属部材１の突合部Ｊ１を裏面Ｂ側から本格的に接合する工程である。本実施形態に係る第二の本接合工程では、図９の（ａ）～（ｃ）に示すように、本接合用回転ツールＨを使用して、突合部Ｊ１に対して被接合金属部材１の裏面Ｂ側から摩擦攪拌を行う。

[0089] 本接合用回転ツールＨは、図９の（ａ）に示すように、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｈ１と、このショルダ部Ｈ１の下端面Ｈ１１に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｈ２とを備えて構成されている。本接合用回転ツールＨは、第一の本接合工程で用いた本接合用回転ツールＧと略同等の形状を呈し、本接合用回転ツールＧの８０％程度の大きさで形成されている。第二の本接合工程で用いる本接合用回転ツールＨは、本接合用回転ツールＧと同等の大きさでもよいが、好ましくは、本接合用回転ツールＧよりも小さく設定する。本接合用回転ツールＨは、第一の本接合工程で用いる本接合用回転ツールＧの大きさ、被接合金属部材１の反りの大きさ等を考慮して適宜設定する。

[0090] 第二の本接合工程では、第二タブ材３に設けた下穴Ｐ２（開始位置S_{M2}）に本接合用回転ツールＨの攪拌ピンＨ２を挿入（圧入）し、挿入した攪拌ピンＨ２を途中で離脱させることなく第一タブ材２に設けた終了位置E_{M2}まで

移動させる。即ち、第二の本接合工程では、下穴Ｐ２から摩擦攪拌を開始し、終了位置E_{M2}まで連続して摩擦攪拌を行う。

[0091] 図９の（ａ）～（ｃ）を参照して第二の本接合工程をより詳細に説明する。

まず、図９の（ａ）に示すように、下穴Ｐ２の直上に本接合用回転ツールＨを位置させ、続いて、本接合用回転ツールＨを右回転させつつ下降させて攪拌ピンＨ２の先端を下穴Ｐ２に挿入する。

[0092] 攪拌ピンＨ２の全体が第二タブ材３に入り込み、かつ、ショルダ部Ｈ１の下端面Ｈ１１の全面が第二タブ材３の表面に接触したら、図９の（ｂ）に示すように、本接合用回転ツールＨを被接合金属部材１の突合部Ｊ１の一端に向けて相対移動させる。攪拌ピンＨ２の挿入深さは特に制限されないが、本実施形態のように、攪拌ピンＨ２が表面側塑性化領域Ｗ１に接触する程度に設定することが好ましい。これにより、表面側塑性化領域Ｗ１の先端側を再度摩擦攪拌することができるため、表面側塑性化領域Ｗ１の先端側に接合欠陥が形成されている場合、当該欠陥を補修することができる。また、突合部Ｊ１の深さ方向全体に亘って摩擦攪拌を行うことができ、接合部分の水密性及び気密性を高めることができる。本接合用回転ツールＨを移動させると、その攪拌ピンＨ２の周囲にある金属が順次塑性流動化するとともに、攪拌ピンＨ２から離れた位置では、塑性流動化していた金属が再び硬化して塑性化領域Ｗ３（以下、「裏面側塑性化領域Ｗ３」という。）が形成される。

[0093] また、図９に示すように、第二の本接合工程においては、本接合用回転ツールＨを右回転させて、被接合金属部材１の第一側面Ｃ側から第二側面Ｄ側に向けて摩擦攪拌を行うため、進行方向右側、即ち、金属部材１ｂ側では、比較的緻密な塑性化領域が形成される。したがって、第一の本接合工程によって形成された表面側塑性化領域Ｗ１のトンネル状空洞欠陥を確実に密閉することができる。

[0094] 図９の（ｃ）に示すように、本接合用回転ツールＨが終了位置E_{M2}に達したら、本接合用回転ツールＨを回転させつつ上昇させて攪拌ピンＨ２を終了

位置E_{M2}から離脱させる（図９の（ｃ）参照）。本接合用回転ツールＨの離脱時の回転速度は、前記した第一の本接合工程の場合と同様に、移動時の回転速度よりも高速にすることが望ましい。

[0095] なお、第一の本接合工程で残置された抜き穴Ｑ１と第二の本接合工程における本接合用回転ツールＨの移動ルートとが重なると、塑性流動化した金属が抜き穴Ｑ１に流れ込み、接合欠陥が発生する虞があるので、抜き穴Ｑ１から離れた位置に第二の本接合工程における摩擦攪拌の終了位置E_{M2}（抜き穴Ｑ２）を設けるとともに、抜き穴Ｑ１を避けるように第二の本接合工程における摩擦攪拌のルートを設定し、当該ルートに沿って本接合用回転ツールＨの攪拌ピンＨ２を移動させることが望ましい。

[0096] 図９の（ｂ）及び（ｃ）に示すように、高速回転した本接合用回転ツールＨが被接合金属部材１に挿入されると、被接合金属部材１内に摩擦熱が伝達される（入熱）。また、摩擦熱の一部は、矢印Ｎに示すように被接合金属部材１の縁部Ｕ，Ｕからテーブル１０に放出（抜熱）される。

[0097] 第二の本接合工程では、隙間Ｐが形成されているため第一の本接合工程に比べて熱が放出される経路が少ない。そのため、第二の本接合工程では、第一の本接合工程に比べて抜熱量が少ないが、本接合用回転ツールＧよりも小型の本接合用回転ツールＨを用いているため、第一の本接合工程に比べて入熱量も少ない。

[0098] 第二の本接合工程を終了したら、タブ材を切除する。なお、各工程を終えた後は、被接合金属部材１に形成されたバリを除去することが好ましい。

[0099] 以上説明した第一実施形態によれば、図１０に示すように、第二の本接合工程後に、固定治具１５（図３参照）から被接合金属部材１を解除して放置すると、被接合金属部材１の裏面Ｂ側にも熱収縮が発生するため、第一の本接合工程で形成された反りが是正され被接合金属部材１が平坦になる。

[0100] 前記したように、隙間Ｐが発生することにより第二の本接合工程では抜熱量が少なくなるが、第二の本接合工程で用いる本接合用回転ツールＨを第一の本接合工程で用いる本接合用回転ツールＧよりも小さく設定して入熱量を

少なくすることで、第一の本接合工程と第二の本接合工程とで被接合金属部材１に残存する熱量の均衡を図ることができる。

[0101] 被接合金属部材１の表面Ａ側の残存熱量は、（第一の予備工程での入熱量＋第一の本接合工程での入熱量）－（第一の予備工程での抜熱量＋第一の本接合工程での抜熱量）で表される。一方、裏面Ｂ側の残存熱量は、（第二の予備工程での入熱量＋第二の本接合工程での入熱量）－（第二の予備工程での抜熱量＋第二の本接合工程での抜熱量）表される。本実施形態では、第一の本接合工程及び第二の本接合工程で回転ツールの大きさを変えることで、第一の本接合工程及び第二の本接合工程の残存熱量の均衡を図り、被接合金属部材１を平坦にすることができる。

[0102] また、被接合金属部材１への入熱量を本接合用回転ツールＧ，Ｈの大きさを変えることで変更するため、入熱量の調節を容易に行うことができる。また、第二の本接合工程では、第一の本接合工程で形成された表面側塑性化領域Ｗ１に本接合用回転ツールＨの先端を入り込ませることにより、表面側塑性化領域Ｗ１を再度摩擦攪拌することができる。これにより、塑性化領域に発生する可能性がある接合欠陥を補修することができる。

[0103] また、本実施形態では、本接合工程に先だって仮接合工程をするため、金属部材１ａ，１ｂ同士が離間することなく摩擦攪拌接合を行うことができる。

[0104] なお、第一の実施形態では、回転ツールの大きさを変更することにより被接合金属部材１の表面側及び裏面側の入熱量を調節したが、これに限定されるものではない。例えば、被接合金属部材１の表裏で同等の回転ツールを用いる場合には、裏面Ｂ側の回転ツールの移動速度を表面Ａ側の回転ツールの移動速度より速めることで、裏面Ｂ側の回転ツールの入熱量を少なくすることができる。また、回転ツールを移動させる軌跡の長さ（摩擦攪拌の軌跡の長さの和）を、被接合金属部材１の表面Ａ側よりも裏面Ｂ側を短くすることで、裏面Ｂ側の入熱量を少なくすることができる。第二の本接合工程で行う摩擦攪拌については、第一の本接合工程の入熱量、抜熱量及び隙間Ｐの大き

さ、さらには被接合金属部材１の厚み等を考慮して設定すればよい。

[0105] また、第一の本接合工程及び第二の本接合工程を行った後に、被接合金属部材１に反りが残る場合には、被接合金属部材１の表面Ａ又は裏面Ｂから矯正工程を行ってもよい。矯正工程では、矯正用回転ツール（図示省略）を用いて、被接合金属部材１の表面Ａ又は裏面Ｂのうち、凸状になっている面側から摩擦攪拌を行う。矯正用回転ツールは、本接合用回転ツールＧと同等の形状からなり、本接合用回転ツールＧよりも小さい矯正用回転ツール（図示省略）を用いる。摩擦攪拌の移動軌跡は特に限定されるものではなく、突合部に対して行ってもよいし、反りが大きい部分に重点的に行ってもよい。

[0106] ［第二の実施形態］

次に、本発明の第二の実施形態について説明する。第二の実施形態は、（１）第一の準備工程、（２）第一の予備工程、（３）第一の本接合工程、（４）第二の準備工程、（５）第二の予備工程、（６）第二の本接合工程、（７）第二の補修工程、（８）第一の補修工程を含む。（１）第一の準備工程から（６）第二の本接合工程までは、第一の実施形態と同等であるため、詳細な説明は省略する。

[0107] （７）第二の補修工程

前記した（６）第二の本接合工程が終了したら、そのまま、第二の補修工程を行う。第二の補修工程は、被接合金属部材１の裏面Ｂの裏面側塑性化領域Ｗ３に含まれる可能性のある接合欠陥を補修する工程である。

[0108] 本実施形態に係る第二の補修工程では、図１１の（ａ）及び（ｂ）に示すように、裏面側塑性化領域Ｗ３のうち、少なくとも、第一の補修領域Ｒ１、第二の補修領域Ｒ２及び第三の補修領域Ｒ３に対して摩擦攪拌を行う。

[0109] 第一の補修領域Ｒ１に対する摩擦攪拌は、前記した第二の本接合工程の際に、本接合用回転ツールＨの進行方向に沿って形成される虞のあるトンネル欠陥を分断することを目的として行われるものである。本接合用回転ツールＨを右回転させた場合にはその進行方向の左側にトンネル欠陥が発生する虞があり、左回転させた場合には進行方向の右側にトンネル欠陥が発生する虞

があるので、本接合用回転ツールＨを右回転させた本実施形態においては、平面視して進行方向の左側に位置する表面側塑性化領域Ｗ１の上部を少なくとも含むように第一の補修領域Ｒ１を設定するとよい。

[0110] 第二の補修領域Ｒ２に対する摩擦攪拌は、第二の本接合工程の際に、本接合用回転ツールＨが突合部Ｊ２を横切る際に裏面側塑性化領域Ｗ３に巻き込まれた酸化皮膜を分断することを目的として行われるものである。本実施形態の如く本接合工程における摩擦攪拌の終了位置E_{M2}を第一タブ材２に設け、本接合用回転ツールＨを右回転させた場合にはその進行方向の右側にある裏面側塑性化領域Ｗ３の上部に酸化皮膜が巻き込まれている可能性が高く、左回転させた場合には進行方向の左側にある裏面側塑性化領域Ｗ３の上部に酸化皮膜が巻き込まれている可能性が高いので、本接合用回転ツールＨを右回転させた本実施形態においては、第一タブ材２に隣接する裏面側塑性化領域Ｗ３のうち、平面視して進行方向の右側に位置する裏面側塑性化領域Ｗ３の上部を少なくとも含むように第二の補修領域Ｒ２を設定するとよい。なお、被接合金属部材１と第一タブ材２の継ぎ目から第二の補修領域Ｒ２の被接合金属部材１側の縁辺までの距離d_5は、本接合用回転ツールＨの攪拌ピンＨ２の最大外径よりも大きくすることが望ましい。

[0111] 第三の補修領域Ｒ３に対する摩擦攪拌は、本接合用回転ツールＨが突合部Ｊ３を横切る際に裏面側塑性化領域Ｗ３に巻き込まれた酸化皮膜を分断することを目的として行われるものである。本実施形態の如く本接合工程における摩擦攪拌の開始位置S_{M2}を第二タブ材３に設けた場合、本接合用回転ツールＨを右回転させた場合にはその進行方向の左側にある裏面側塑性化領域Ｗ３の上部に酸化皮膜が巻き込まれている可能性が高く、左回転させた場合には進行方向の右側にある裏面側塑性化領域Ｗ３の上部に酸化皮膜が巻き込まれている可能性が高いので、本接合用回転ツールＨを右回転させた本実施形態においては、第二タブ材３に隣接する裏面側塑性化領域Ｗ３のうち、平面視して進行方向の左側に位置する裏面側塑性化領域Ｗ３の上部を少なくとも含むように第三の補修領域Ｒ３を設定するとよい。なお、被接合金属部材１

と第二タブ材３の継ぎ目から第三の補修領域Ｒ３の被接合金属部材１側の縁辺までの距離ｄ$_4$は、本接合用回転ツールＨの攪拌ピンＨ２の最大外径よりも大きくすることが望ましい。

[0112] 本実施形態に係る第二の補修工程では、図１１の（ｂ）に示すように、本接合用回転ツールＨよりも小型の補修用回転ツールＥを用いて摩擦攪拌を行う。このようにすると、塑性化領域が必要以上に広がることを防止することが可能となる。

[0113] 補修用回転ツールＥは、本接合用回転ツールＨと同様に、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｅ１と、このショルダ部Ｅ１の下端面Ｅ１１に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｅ２とを備えて構成されている。

[0114] 攪拌ピンＥ２は、ショルダ部Ｅ１の下端面から垂下しており、本実施形態では、先細りの円錐台状に成形されている。また、攪拌ピンＥ２の周面には、螺旋状に刻設された攪拌翼が形成されている。なお、補修用回転ツールＥは、本接合用回転ツールＨよりも小さく、仮接合用回転ツールＦよりも大きく形成されている。

[0115] 第二の補修工程では、一の補修領域に対する摩擦攪拌が終了する度に補修用回転ツールＥを離脱させてもよいし、補修領域ごとに形態の異なる補修用回転ツールＥを使用してもよいが、本実施形態では、図１２に示すように、一の補修用回転ツールＥを一筆書きの移動軌跡（ビード）を形成するように移動させて、第一の補修領域Ｒ１、第二の補修領域Ｒ２及び第三の補修領域Ｒ３に対して連続して摩擦攪拌を行う。すなわち、本実施形態に係る第二の補修工程では、摩擦攪拌の開始位置Ｓ$_R$に挿入した補修用回転ツールＥの攪拌ピンＥ２（図１１の（ｂ）参照）を途中で離脱させることなく終了位置Ｅ$_R$まで移動させる。なお、本実施形態では、第一タブ材２に摩擦攪拌の開始位置Ｓ$_R$を設けるとともに、第二タブ材３に終了位置Ｅ$_R$を設け、第二の補修領域Ｒ２、第一の補修領域Ｒ１、第三の補修領域Ｒ３の順序で摩擦攪拌を行う場合を例示するが、開始位置Ｓ$_R$と終了位置Ｅ$_R$の位置や摩擦攪拌の順序を限定

する趣旨ではない。

[0116] 第二の補修工程における摩擦攪拌の手順を、図１２を参照してより詳細に説明する。

まず、第一タブ材２の適所に設けた開始位置S_Rに補修用回転ツールＥの攪拌ピンＥ２を挿入（圧入）して摩擦攪拌を開始し、第二の補修領域Ｒ２に対して摩擦攪拌を行う。

[0117] また、補修用回転ツールＥの移動速度（送り速度）は、攪拌ピンＥ２の寸法・形状、摩擦攪拌される被接合金属部材１等の材質や肉厚等に応じて設定されるものであるが、多くの場合、１００～１０００（ｍｍ／分）の範囲内において設定される。補修用回転ツールＥの移動時の回転速度は、挿入時の回転速度と同じか、それよりも低速にする。

[0118] 第二の補修領域Ｒ２に対して摩擦攪拌を行うと、被接合金属部材１と第一タブ材２との間にある酸化皮膜が裏面側塑性化領域Ｗ３に巻き込まれた場合であっても、当該酸化皮膜を分断することが可能となるので、第一タブ材２に隣接する裏面側塑性化領域Ｗ３においても接合欠陥が発生し難くなる。なお、補修用回転ツールＥで摩擦攪拌できる領域に比して第二の補修領域Ｒ２が大きい場合には、摩擦攪拌のルートをずらしつつ補修用回転ツールＥを何度かＵターンさせればよい。

[0119] 第二の補修領域Ｒ２に対する摩擦攪拌が終了したら、補修用回転ツールＥを離脱させずにそのまま第一の補修領域Ｒ１に移動させ、前記した第二の本接合工程における摩擦攪拌のルートに沿って連続して摩擦攪拌を行う。このようにすると、第二の本接合工程における摩擦攪拌のルートに沿ってトンネル欠陥が連続して形成された場合であっても、これを確実に分断することが可能となるので、接合欠陥が発生し難くなる。

[0120] 第一の補修領域Ｒ１に対する摩擦攪拌が終了したら、補修用回転ツールＥを離脱させずにそのまま第三の補修領域Ｒ３に移動させ、第三の補修領域Ｒ３に対して摩擦攪拌を行う。このようにすると、被接合金属部材１と第二タブ材３との間にある酸化皮膜が裏面側塑性化領域Ｗ３に巻き込まれた場合で

あっても、当該酸化皮膜を分断することが可能となるので、第二タブ材３に隣接する裏面側塑性化領域Ｗ３においても接合欠陥が発生し難くなる。なお、補修用回転ツールＥで摩擦攪拌できる領域に比して第三の補修領域Ｒ３が大きい場合には、摩擦攪拌のルートをずらしつつ補修用回転ツールＥを何度かＵターンさせればよい。

[0121] 第三の補修領域Ｒ３に対する摩擦攪拌が終了したら、補修用回転ツールＥを終了位置$Ｅ_R$に移動させ、補修用回転ツールＥを回転させつつ上昇させて攪拌ピンＥ２を終了位置$Ｅ_R$から離脱させる。第二の補修工程によって、被接合金属部材１の裏面Ｂには、裏面側塑性化領域Ｗ４が形成される。

[0122] 第二の補修工程では、図１１の（ｂ）に示すように、テーブル１０と被接合金属部材１の表面Ａとが接触しているため、補修用回転ツールＥによって入熱された熱の一部は、表面Ａからテーブル１０に放出される（抜熱）。

[0123] 図１３に示すように、第二の補修工程を終えた後に、固定治具１５（図１２参照）から被接合金属部材１を解除すると、熱収縮によって被接合金属部材１の裏面Ｂ側に凹状に変形する。

[0124] （８）第一の補修工程

第二の補修工程が終了したら、被接合金属部材１の表裏を逆にして、表面Ａに対して第一の補修工程を行う。第一の補修工程は、図１４に示すように、被接合金属部材１の表面Ａの表面側塑性化領域Ｗ１に含まれる可能性のある接合欠陥を補修する工程である。

[0125] 第一の補修工程では、図１４に示すように、表面側塑性化領域Ｗ１のうち、少なくとも第一の補修領域Ｒ１、第二の補修領域Ｒ２及び第三の補修領域Ｒ３に対して摩擦攪拌を行う。第一の補修領域Ｒ１、第二の補修領域Ｒ２及び第三の補修領域Ｒ３の設定の原理は、第二の補修工程と同様であるため詳細な説明を省略する。

[0126] 第一の補修工程では、図１４及び図１５に示すように、第二の補修工程で用いた補修用回転ツールＥよりも小さく、かつ、仮接合用回転ツールＦよりも大きく形成された補修用回転ツールＥ’を用いる。補修用回転ツールＥ’

は、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｅ１’と、このショルダ部Ｅ１’の下端面Ｅ１１’に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｅ２’とを備えて構成されている。

[0127] 第一の補修工程では、図１４及び図１５に示すように、第一タブ材２の適所に設けた開始位置S_Rに補修用回転ツールＥ’の攪拌ピンＥ２’を挿入（圧入）して摩擦攪拌を開始し、第二の補修領域Ｒ２に対して摩擦攪拌を行う。第一の補修工程では、第二の補修工程と同様に、第一の補修領域Ｒ１及び第三の補修領域Ｒ３に対して連続して摩擦攪拌を行う。

[0128] 第一の補修工程では、図１５に示すように、高速回転した補修用回転ツールＥ’が被接合金属部材１に挿入されると、被接合金属部材１内に摩擦熱が伝達される（入熱）。また、摩擦熱の一部は、矢印Ｎに示すように被接合金属部材１の縁部Ｕ，Ｕからテーブル１０に放出（抜熱）される。

[0129] 第一の補修工程では、隙間Ｐが形成されているため、第二の補修工程に比べて熱が放出される経路が少ない。そのため、第一の補修工程では、第二の補修工程に比べて抜熱量が少ないが、補修用回転ツールＥよりも小型の補修用回転ツールＥ’を用いているため、第二の補修工程に比べて入熱量が少ない。

[0130] 第一の補修工程を終了したら、タブ材を切除する。なお、各工程を終えた後には、被接合金属部材１に形成されたバリを除去することが好ましい。

[0131] 以上説明した第二の実施形態によれば、第一の補修工程後に固定治具１５（図１４参照）から被接合金属部材１を解除して放置すると、熱収縮によって第二の補修工程で形成された反りが是正して被接合金属部材１が平坦になる。

[0132] 前記したように、隙間Ｐが発生することにより抜熱量が少なくなるが、第一の補修工程で用いる補修用回転ツールＥ’を、第二の補修工程で用いる補修用回転ツールＥよりも小さく設定して入熱量を少なくすることで、第二の補修工程と第一の補修工程とで被接合金属部材１に残存する熱量の均衡を図ることができる。これにより、表面側塑性化領域Ｗ１及び裏面側塑性化領域

Ｗ３の接合欠陥を補修しつつ、補修工程で発生する可能性がある反りを是正することができる。

[0133] なお、補修工程の回転ツールの軌跡は前記した形態に限定されるものではない。例えば、具体的な図示はしないが、突合部Ｊ１を横断するように、ジグザグに回転ツールを移動させて補修を行ってもよい。

[0134] ［変形例］

変形例では、第一の本接合工程および第二の本接合工程を行う際に、回転ツールとして図１６に示す本接合用回転ツールＫを用いてもよい。なお、変形例は、本接合用回転ツールＫを用いる点を除いては第一の実施形態と同等であるため、重複する部分については説明を省略する。

[0135] 変形例で用いる本接合用回転ツールＫの構成について説明する。図１６は、回転ツールの変形例を示した図であって、（ａ）は、側断面図、（ｂ）は、底面図である。

[0136] 本接合用回転ツールＫは、図１６の（ａ）に示すように、工具鋼など被接合金属部材１よりも硬質の金属材料からなり、円柱状を呈するショルダ部Ｋ１と、このショルダ部Ｋ１の下端面Ｋ１１に突設された攪拌ピン（プローブ）Ｋ２と、下端面Ｋ１１に突設された攪拌用突条体Ｋ３と、攪拌ピンＫ２の周面に刻設された攪拌翼Ｋ４を備えて構成されている。

[0137] 攪拌ピンＫ２は、ショルダ部Ｋ１の下端面Ｋ１１の中央から垂下しており、本実施形態では先細りの円錐台状に成形されている。攪拌ピンＫ２の周面には、攪拌効果を高めるために螺旋状に刻設された攪拌翼Ｋ４が形成されている。攪拌ピンＫ２の長さ$Ｌ_1$は、攪拌ピンＫ２の最大外径$Ｙ_2$、最小外径$Ｙ_3$およびショルダ部Ｋ１の外径$Ｙ_1$に応じて適宜設定すればよい。

[0138] 平坦に形成されたショルダ部Ｋ１の下端面Ｋ１１には、攪拌用突条体Ｋ３が突設されている。攪拌用突条体Ｋ３は、図１６の（ｂ）に示すように、攪拌ピンＫ２の周囲を取り囲むように下端面Ｋ１１に渦巻き状に形成されている。攪拌用突条体Ｋ３を備えることで、塑性流動化された金属が攪拌ピンＫ２側に流動するため、摩擦攪拌の効率を高めることができる。なお、攪拌用

突条体Ｋ３の長さや巻回数等は適宜設定すればよい。

[0139] 変形例に係る本接合用回転ツールＫは、下端面Ｋ１１に攪拌用突条体Ｋ３が突設されているため、塑性流動化した金属を攪拌ピンＫ２の中央部分に寄せ集めつつ摩擦攪拌を行うことができる。これにより、摩擦攪拌の効率を高めるとともに、接合欠陥の発生を抑制することができる。また、本接合用回転ツールＫは、攪拌ピンＫ２の基端部分が太く、先端側が先細りに形成されているため、攪拌ピンＫ２の折れを防ぐとともに、攪拌ピンＫ２を金属部材へ圧入する際の圧入抵抗を小さくすることができる。また、攪拌ピンＫ２の外周面に攪拌翼Ｋ４が刻設されているため、より効率よく摩擦攪拌を行うことができる。

実施例

[0140] ［実施例１］

次に、本発明の実施例について説明する。本発明に係る実施例は、図１７の（ａ）及び（ｂ）に示すように平面視正方形の金属部材２００の表面Ｚａ及び裏面Ｚｂにそれぞれ３つの円を描くように摩擦攪拌を行い、表面Ｚａ側で発生した反りの変形量と、裏面Ｚｂ側で発生した反りの変形量を測定した。表面Ｚａ側で発生した反りの変形量の値と、裏面Ｚｂ側で発生した反りの変形量の値が近いほど、金属部材２００の平坦性が高いことを示す。

[0141] 金属部材２００は、平面視５００ｍｍ×５００ｍｍの直方体であって、厚みが３０ｍｍ、６０ｍｍの二種類の部材を用いてそれぞれ測定を行った。金属部材２００の素材は、ＪＩＳ規格の５０５２アルミニウム合金である。

[0142] 摩擦攪拌の軌跡である３つの円は、金属部材２００の中心に設定した地点ｊ又は地点ｊ’を中心とし、表面Ｚａ及び裏面Ｚｂともに半径ｒ１＝１００ｍｍ（以下、小円ともいう）、ｒ２＝１５０ｍｍ（以下、中円ともいう）、ｒ３＝２００ｍｍ（以下、大円ともいう）に設定した。摩擦攪拌の順序は、小円、中円、大円の順番で行った。

[0143] 回転ツールは、表面Ｚａ側及び裏面Ｚｂ側ともに同じ大きさの回転ツールを用いた。回転ツールのサイズは、ショルダ部の外径が２０ｍｍ、攪拌ピン

の長さが１０ｍｍ、攪拌ピンの根元の大きさ（最大径）が９ｍｍ、攪拌ピンの先端の大きさ（最小径）が６ｍｍのものを用いた。回転ツールの回転数は、６００ｒｐｍ、送り速度は、３００ｍｍ／ｍｉｎに設定した。また、表面Ｚａ側及び裏面Ｚｂ側ともに回転ツールの押込み量は一定に設定した。図１７に示すように、表面Ｚａ側において形成された塑性化領域を小円から大円に向けてそれぞれ塑性化領域Ｗ２１乃至塑性化領域Ｗ２３とする。また、裏面Ｚｂ側において形成された塑性化領域を小円から大円に向けて塑性化領域Ｗ３１乃至Ｗ３３とする。当該実施例における各測定結果を以下の表１～表４に示す。

[0144] 表１は、金属部材２００の板厚が３０ｍｍであって、表面Ｚａ側から摩擦攪拌を行った場合の測定値を示した表である。「ＦＳＷ前」は、摩擦攪拌を行う前において、中心地点ｊ（基準ｊ）と各地点（地点ａ～地点ｈ）との高低差を示している。「ＦＳＷ後」は、基準ｊをゼロとして、３つの円の摩擦攪拌を行った後において、基準ｊと各地点との高低差を示している。「表面側変形量」は、各地点における（ＦＳＷ後－ＦＳＷ前）の値を示している。「表面側変形量」の最下欄は、地点ａ～地点ｈの平均値を示す。「ＦＳＷ前」及び「ＦＳＷ後」のマイナス値は、基準ｊよりも下方に位置していることを意味する。

[0145] [表1]

板厚30mm 表面 (mm)

	FSW前	FSW後	表面側変形量
基準j	0.0	0.0	
a	-0.2	1.9	2.1
b	-0.1	0.9	1.0
c	0.0	2.2	2.2
d	-0.1	1.1	1.2
e	0.0	1.2	1.2
f	0.1	2.2	2.1
g	0.1	1.2	1.1
h	0.1	2.1	2.0
			AV=1.61

[0146] 表２は、金属部材２００の板厚が３０ｍｍであって、表面側から小円、中円、大円の摩擦攪拌をいった後、反って（歪んで）しまった金属部材２００に対して、裏面側からも小円、中円、大円のそれぞれの摩擦攪拌を行った場合の金属部材２００の各地点の測定値を示した表である。「ＦＳＷ前」は、摩擦攪拌を行う前において、中心地点ｊ’（基準ｊ’）と各地点（ａ’～ｈ’）との高低差を示している。

「ＦＳＷ１」は、図１７を参照するように、基準ｊ’をゼロとして、小円（半径ｒ１）の摩擦攪拌を行った後の、基準ｊ’と各地点との高低差を示している。「裏面側変形量１」は、各地点における（ＦＳＷ１－ＦＳＷ前）の値を示している。「裏面側変形量１」の最下欄は、地点ａ’～地点ｈ’の平均値を示す。

「ＦＳＷ２」は、基準ｊ’をゼロとして、小円（半径ｒ１）に加えてさらに、中円（半径ｒ２）の摩擦攪拌を行った後の、基準ｊ’と各地点との高低差を示している。「裏面側変形量２」は、各地点における（ＦＳＷ２－ＦＳＷ前）の値を示している。「裏面側変形量２」の最下欄は、地点ａ’～地点ｈ’の平均値を示す。

「ＦＳＷ３」は、基準ｊ’をゼロとして、小円（半径ｒ１）、中円（半径ｒ２）に加えてさらに、大円（半径ｒ３）の摩擦攪拌を行った後の、基準ｊ’と各地点との高低差を示している。「裏面側変形量３」は、各地点における（ＦＳＷ３－ＦＳＷ前）の値を示している。「裏面側変形量３」の最下欄は、地点ａ’～地点ｈ’の平均値を示す。

[0147]

[表2]

板厚30mm 裏面(矯正FSW) (mm)

	FSW前	FSW1	裏面側変形量1	FSW2	裏面側変形量2	FSW3	裏面側変形量3
基準j'	0.0	0.0		0.0		0.0	
a'	-2.3	0.1	2.4	1.4	3.7	2.4	4.7
b'	-0.9	0.4	1.3	1.0	1.9	1.3	2.2
c'	-2.0	0.8	2.8	1.9	3.9	2.6	4.6
d'	-1.1	0.4	1.5	1.0	2.1	1.3	2.4
e'	-1.0	0.7	1.7	1.2	2.2	1.6	2.6
f'	-2.0	0.5	2.5	1.7	3.7	2.5	4.5
g'	-1.0	0.5	1.5	1.2	2.2	1.5	2.5
h'	-2.0	0.6	2.6	1.9	3.9	2.7	4.7
			AV=2.04		AV=2.95		AV=3.53

[0148] 表３は、金属部材２００の板厚が６０ｍｍであって、表面側から小円、中円、大円の摩擦攪拌を行った場合の測定値を示した表である。表３の各項目は、表１の各項目と略同等の意味を示す。

[0149] [表3]

板厚60mm 表面 (mm)

	FSW前	FSW後	表面側変形量
基準j	0.0	0.0	
a	0.0	1.1	1.1
b	0.1	0.6	0.5
c	0.3	1.2	0.9
d	0.0	0.5	0.5
e	0.3	0.7	0.4
f	-0.2	1.7	1.9
g	0.0	1.1	1.1
h	0.2	1.6	1.4
			AV=0.98

[0150] 表４は、金属部材２００の板厚が６０ｍｍであって、表面側から摩擦攪拌を行った後、裏面側から摩擦攪拌を行った場合の測定値を示した表である。表４の各項目は、表２の各項目と略同等の意味を示す。

[0151] [表4]

板厚60mm 裏面(矯正FSW) (mm)

	FSW前	FSW1	裏面側変形量1	FSW2	裏面側変形量2	FSW3	裏面側変形量3
基準j'	0.0	0.0		0.0		0.0	
a'	-1.3	-0.7	0.6	-0.1	1.2	0.3	1.6
b'	-1.1	-0.6	0.5	-0.3	0.8	0.0	1.1
c'	-1.9	-1.3	0.6	-0.7	1.2	-0.1	1.8
d'	-0.4	-0.1	0.3	0.0	0.4	0.1	0.5
e'	-0.8	-0.4	0.4	-0.1	0.7	0.2	1.0
f'	-1.1	-0.4	0.7	0.0	1.1	0.6	1.7
g'	-0.6	-0.1	0.5	0.1	0.7	0.5	1.1
h'	-1.5	-0.8	0.7	-0.3	1.2	0.5	2.0
			AV=0.54		AV=0.91		AV=1.35

[0152] 表１の「表面側変形量」の平均値（1.61）と、表２の「裏面側変形量１」の平均値（2.04）とを比較すると、「裏面側変形量１」の値の方が大きい。同様に、「裏面側変形量２」の平均値（2.95）及び「裏面側変形量３」の平均値（3.53）も、「表面側変形量」の平均値（1.61）よりも大きな値となっている。つまり、金属部材２００の板厚が３０ｍｍの場合は、裏面側から小円の摩擦攪拌のみを行っただけでも、金属部材２００の反りが戻りすぎてしまう。したがって、金属部材２００が３０ｍｍの場合は、小さい回転ツールを用いるなどして表面側よりも裏面側の入熱量を少なくすれば、金属部材２００の平坦性を高めることができる。

[0153] 表３の「表面側変形量」の平均値（0.98）と、表４の「裏面側変形量２」の平均値（0.91）とを比較すると、両者の変形量が近似している。したがって、金属部材２００の板厚が６０ｍｍの場合は、裏面側から小円及び中円の摩擦攪拌を行ったときに、金属部材２００の平坦性が高いことが確認できた。つまり、板厚が６０ｍｍの場合は、小さい回転ツールを用いるなどして表面側よりも裏面側の入熱量を少なくすれば、金属部材２００の平坦性を高めることができる。

[0154] [実施例２]

前記した変形例に係る本接合用回転ツールＫの各要素の条件（寸法）を表５に示す。表５は、本接合用回転ツールＫと同等の構成からなるツールＩ～ツールＩＶにおいて、ピン（攪拌ピン）長さ、ピンの最大径、ピンの最小径及びショルダ径の各寸法、各寸法の割合及び回転数・接合速度を示す。表５に記載した各ツールＩ～ツールＩＶを用いて、一対のアルミニウム合金（５０５２アルミニウム合金）に対して摩擦攪拌接合を行い各ツールＩ～ツールＩＶにおける各ツールの状況について観察した。

[0155] [表5]

	ツールⅠ	ツールⅡ	ツールⅢ	ツールⅣ
ピンの長さL_1(mm)	22.0	32.0	55.0	77.0
ピンの最大径Y_2(mm)	14.0	24.0	32.0	38.0
ピンの最小径Y_3(mm)	7.0	9.0	16.0	16.0
ショルダ径Y_1(mm)	30.0	37.5	55.0	60.0
ピン長さ／ピン最大径	1.57	1.33	1.72	2.03
ピン最大径／ピン最小径	2.00	2.67	2.00	2.38
ショルダ径／ピン最大径	2.14	1.56	1.72	1.58
回転数(rpm)	500	250	100	80
接合速度(mm/min)	150	100	50	50

[0156] ピンの長さ／ピン最大径の値が２．０３を超えると、ピンが破損した。一方、ピンの長さ／ピン最大径の値が１．３３未満であると、摩擦攪拌装置への負荷が大きくなるため不適切であるとともに、深い位置まで摩擦攪拌を行うことができない。

[0157] ピン最大径／ピン最小径の値が２．６７を超えると、ピン最大径が大き過ぎてメタルが溢れだし、表面欠陥が発生した。一方、ピン最大径／ピン最小径の値が２．００未満であると、ピン最小径に対してピン最大径が小さいため、ピン先端の入熱が不足して接合欠陥が発生した。

[0158] ショルダ径／ピン最大径の値が２．１４を超えると、表面欠陥の発生は防げるが、摩擦攪拌装置への負荷が大きくなり不適切であった。一方、ショルダ径／ピン最大径の値が１．５６未満であると、ショルダ部からメタルが溢

れ出して表面欠陥が発生した。

符号の説明

[0159] １　接合金属部材

１ａ　金属部材

１ｂ　金属部材

２　第一タブ材

３　第二タブ材

Ｊ１～Ｊ３　突合部

Ａ　表面

Ｂ　裏面

Ｃ　第一側面

Ｄ　第二側面

Ｆ　仮接合用回転ツール

Ｆ１　ショルダ部

Ｆ２　攪拌ピン

Ｇ　本接合用回転ツール

Ｇ１　ショルダ部

Ｇ２　攪拌ピン

Ｈ　本接合用回転ツール

Ｈ１　ショルダ部

Ｈ２　攪拌ピン

Ｅ　補修用回転ツール

Ｅ１　ショルダ部

Ｅ２　攪拌ピン

Ｗ１，Ｗ２　塑性化領域

請求の範囲

[請求項1] 金属部材同士の突合部に沿って前記金属部材の表面側から本接合用回転ツールを移動させて摩擦攪拌接合を行う第一の本接合工程と、

前記第一の本接合工程の後に、前記突合部に沿って前記金属部材の裏面側から本接合用回転ツールを移動させて摩擦攪拌接合を行う第二の本接合工程と、を含み、

前記第二の本接合工程における前記金属部材への入熱量を、前記第一の本接合工程における前記金属部材への入熱量よりも少なく設定することを特徴とする接合方法。

[請求項2] 前記第二の本接合工程で使用する本接合用回転ツールは、前記第一の本接合工程で使用する本接合用回転ツールよりも小さいことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項3] 前記第二の本接合工程では、前記第一の本接合工程における前記本接合用回転ツールの送り速度よりも速い送り速度で摩擦攪拌接合を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項4] 前記第二の本接合工程の後に、前記金属部材の表面側又は裏面側から摩擦攪拌を行う矯正工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項5] 前記第二の本接合工程では、前記第一の本接合工程で形成された塑性化領域に前記本接合用回転ツールの攪拌ピンを入り込ませつつ摩擦攪拌接合を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項6] 前記金属部材を固定治具によってテーブルに固定した状態で前記第一の本接合工程及び前記第二の本接合工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項7] 前記本接合用回転ツールは、

前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、

前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成

された攪拌ピンと、

前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、

前記攪拌ピンの最大外径に対する前記攪拌ピンの長さの比を１．３３～２．０３に設定することを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項8] 前記本接合用回転ツールは、

前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、

前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成された攪拌ピンと、

前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、

前記攪拌ピンの最小外径に対する前記攪拌ピンの最大外径の比を２．００～２．６７に設定することを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項9] 前記本接合用回転ツールは、

前記金属部材よりも硬質の金属からなるショルダ部と、

前記ショルダ部の下端面の中央に突設され先細りの円錐台状に形成された攪拌ピンと、

前記攪拌ピンの外周面に螺旋状に刻設された攪拌翼と、を有し、

前記攪拌ピンの最大外径に対する前記ショルダ部の外径の比を１．５６～２．１４に設定することを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項10] 前記ショルダ部の下端面には、前記攪拌ピンの周囲を囲むように、平面視渦巻き状に突設された攪拌用突条体が形成されていることを特徴とする請求の範囲第７項乃至第９項のいずれか一項に記載の接合方法。

[請求項11] 前記第一の本接合工程を行う前に、前記第一の本接合工程で用いる前記本接合用回転ツールよりも小型の仮接合用回転ツールを用いて、前記突合部に対して前記金属部材の表面側から摩擦攪拌接合を行う仮

接合工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

[請求項12] 前記第二の本接合工程を行う前に、前記第二の本接合工程で用いる前記本接合用回転ツールよりも小型の仮接合用回転ツールを用いて、前記突合部に対して前記金属部材の裏面側から摩擦攪拌接合を行う仮接合工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

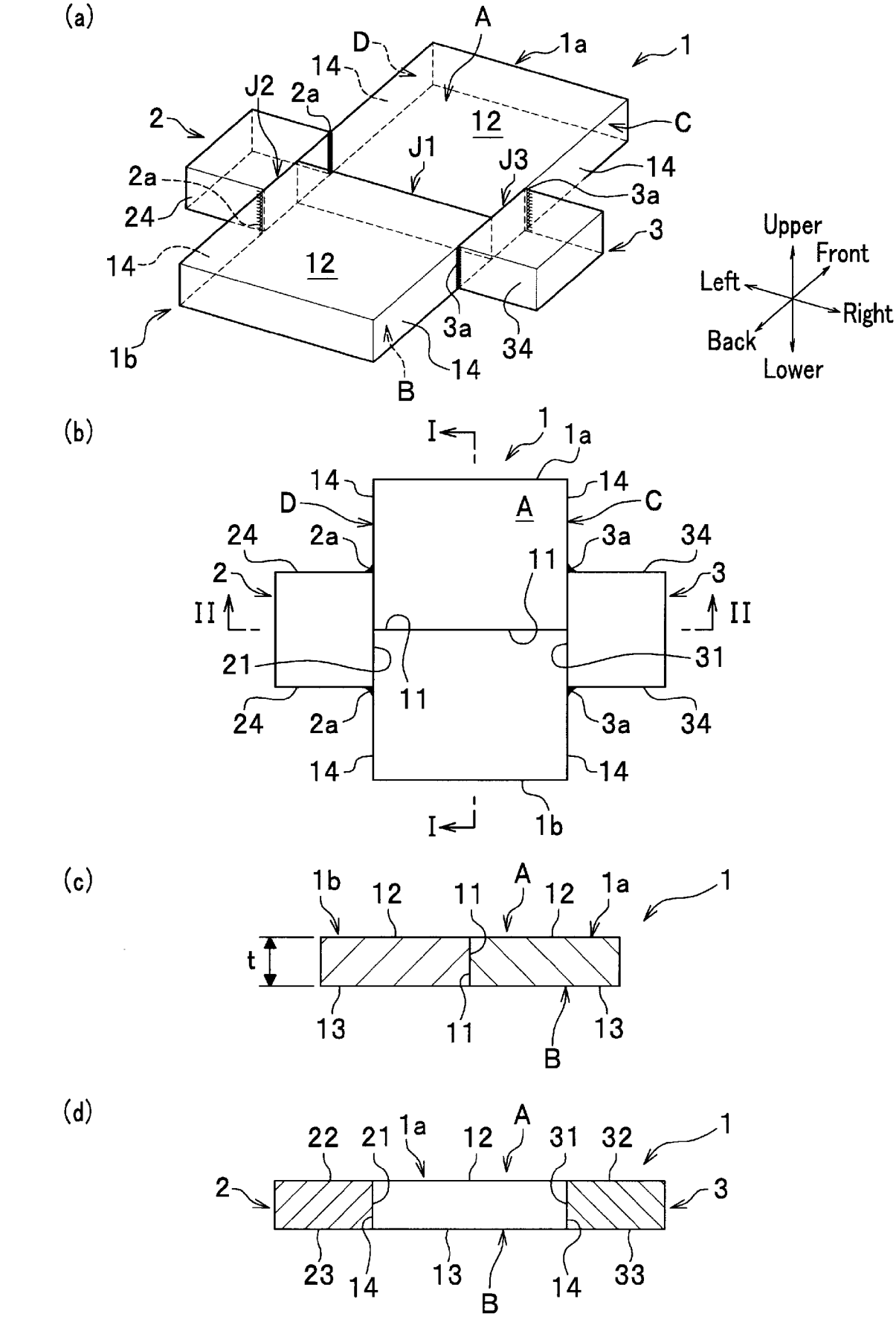
[請求項13] 前記第一の本接合工程では、前記金属部材同士の突合部の側方に配置されたタブ材に摩擦攪拌の開始位置又は終了位置を設け、

前記第一の本接合工程の後に、前記第一の本接合工程で形成された塑性化領域のうち少なくとも前記タブ材に隣接する部分に対して前記本接合用回転ツールよりも小型の補修用回転ツールを用いて摩擦攪拌を行う補修工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

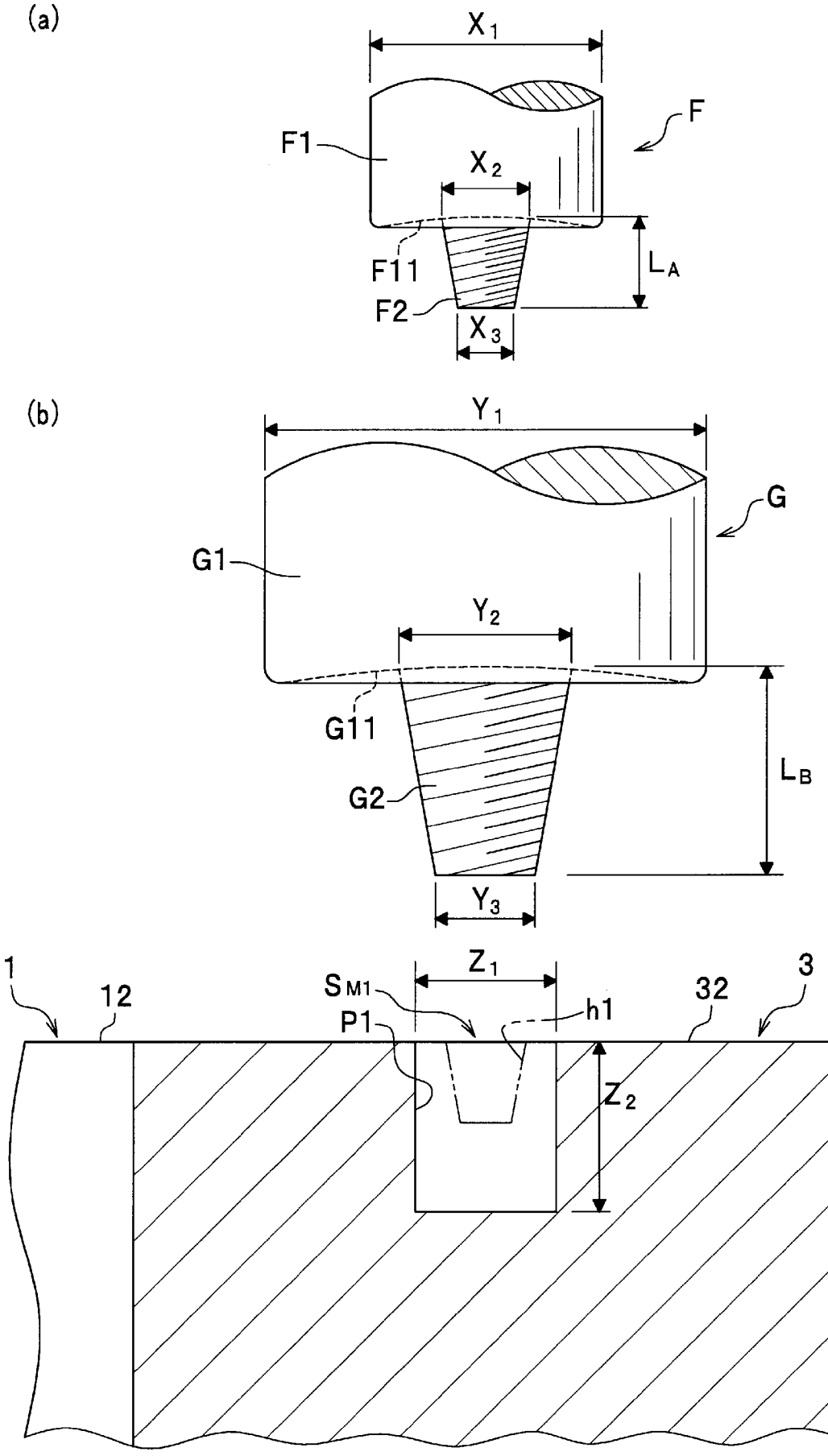
[請求項14] 前記第二の本接合工程では、前記金属部材同士の突合部の側方に配置されたタブ材に摩擦攪拌の開始位置又は終了位置を設け、

前記第二の本接合工程の後に、前記第二の本接合工程で形成された塑性化領域のうち少なくとも前記タブ材に隣接する部分に対して前記本接合用回転ツールよりも小型の補修用回転ツールを用いて摩擦攪拌を行う補修工程を行うことを特徴とする請求の範囲第１項に記載の接合方法。

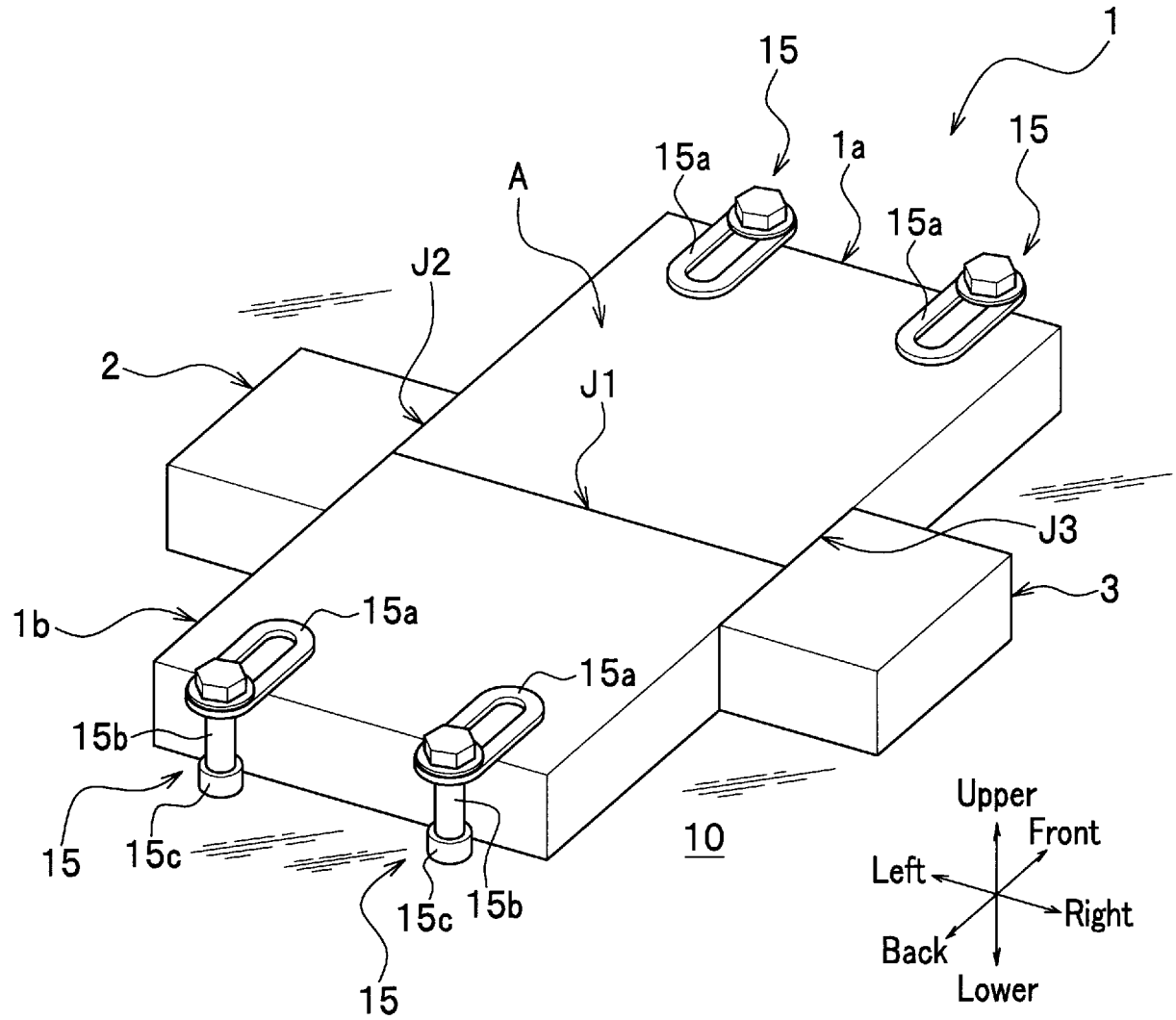
[図1]


(a)
A
D
1a
1
14
J2
2a
2
12
C
J1
J3
14
2a
3a
24
3
14
12
1b
3a
34
B
14
Upper
Front
Left
Right
Back
Lower
(b)
I
1
1a
14
14
D
A
C
24
2a
3a
34
11
2
3
II
II
21
31
11
24
2a
3a
34
14
14
I
1b
(c)
1b
12
11
A
12
1a
1
t
13
11
13
B
(d)
22
21
1a
12
A
31
32
1
2
3
23
14
13
B
14
33

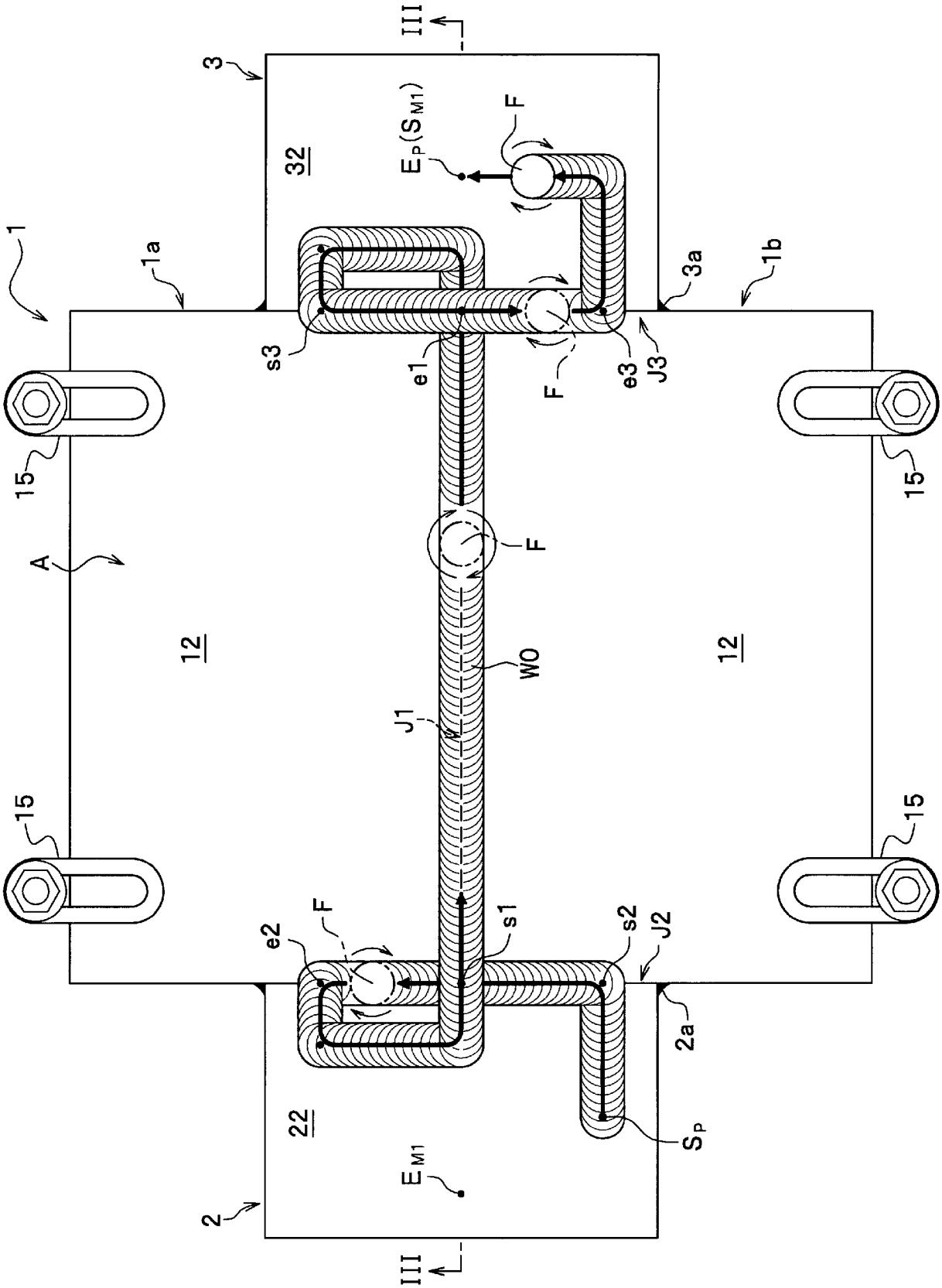
[図2]


(a)
X1
F
F1
X2
F11
LA
F2
X3
(b)
Y1
G
G1
Y2
G11
LB
G2
Y3
1
12
SM1
Z1
P1
h1
32
3
Z2

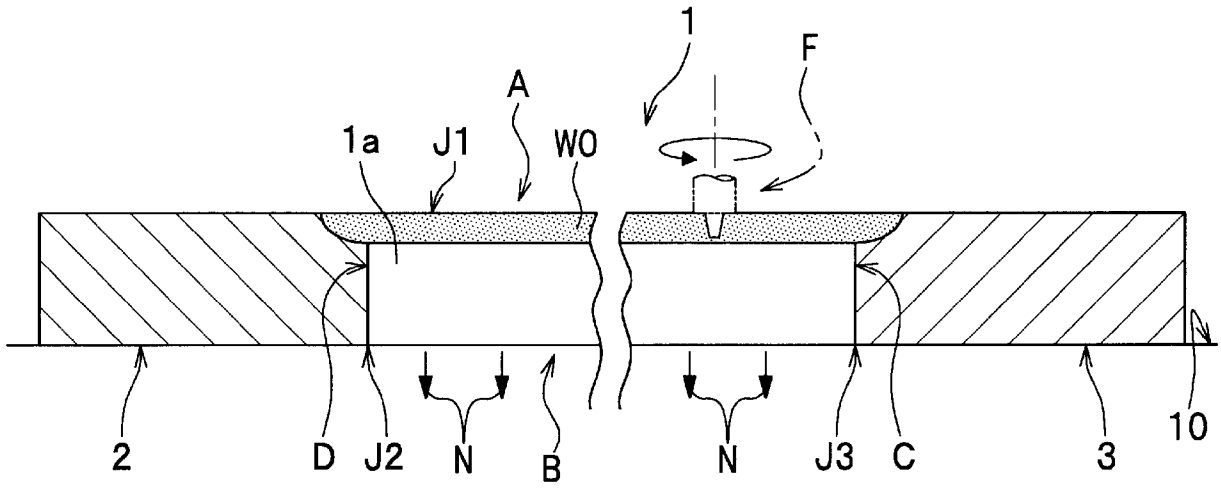
[図3]


1
15
15
15a
1a
A
15a
J2
2
J1
J3
3
1b
15a
15a
15b
15
15c
10
15c
15b
15
Upper
Front
Left
Right
Back
Lower

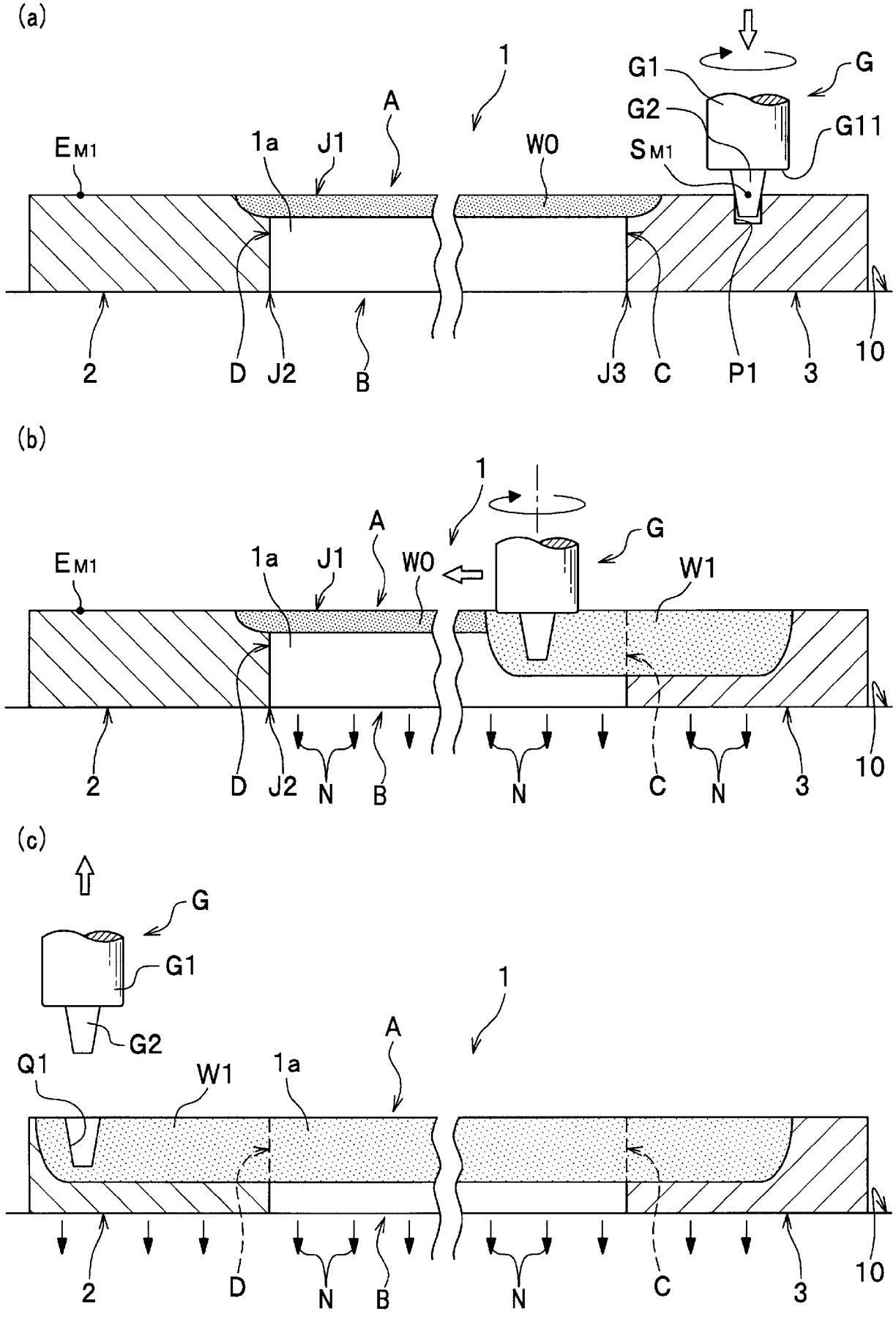
[図4]


III
3
32
$E_P(S_{M1})$
F
1
1a
1b
3a
s3
e1
F
e3
J3
15
15
A
F
12
12
WO
J1
15
15
e2
F
s1
s2
J2
2a
22
S_P
E_{M1}
2
III

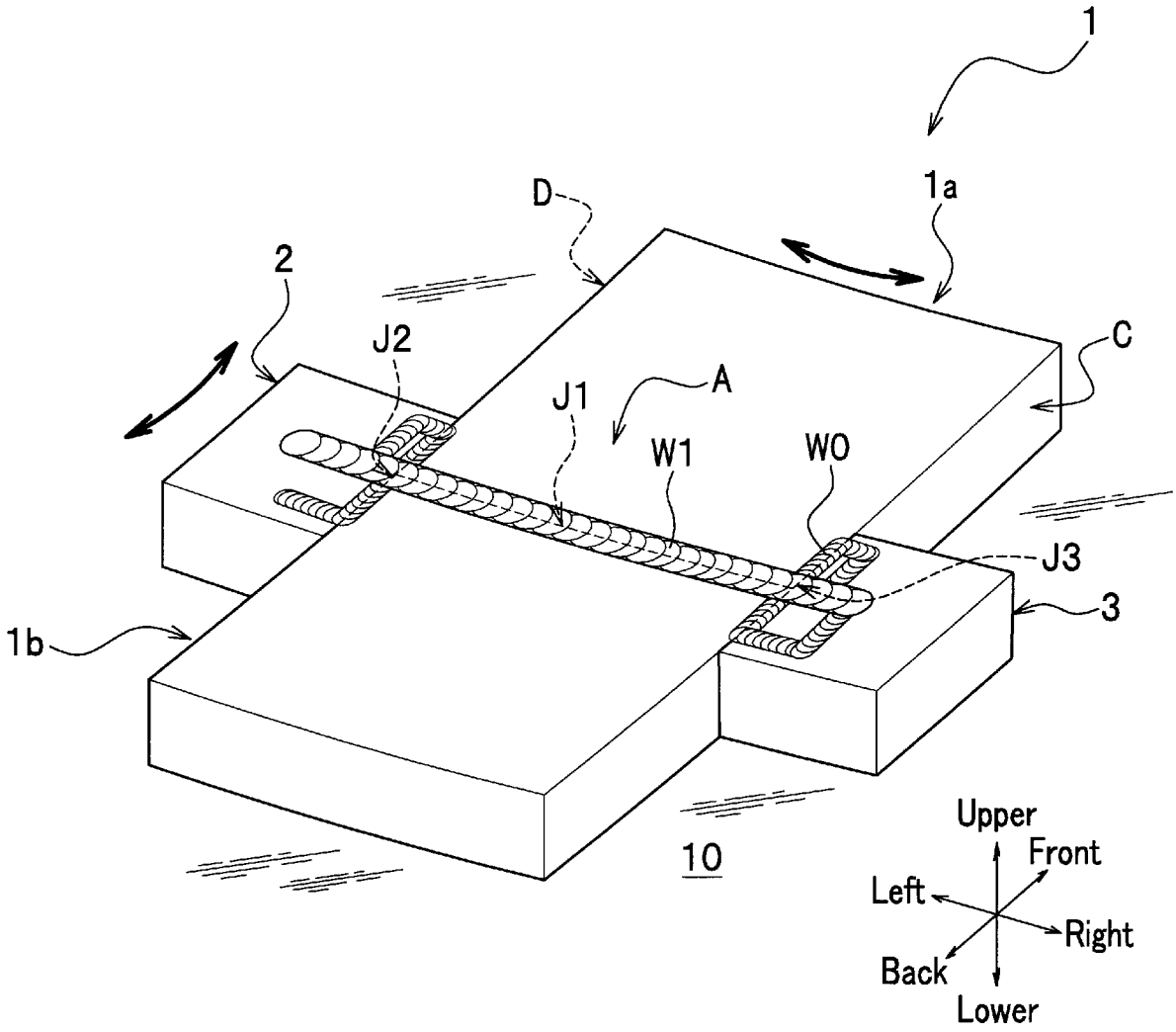
[図5]



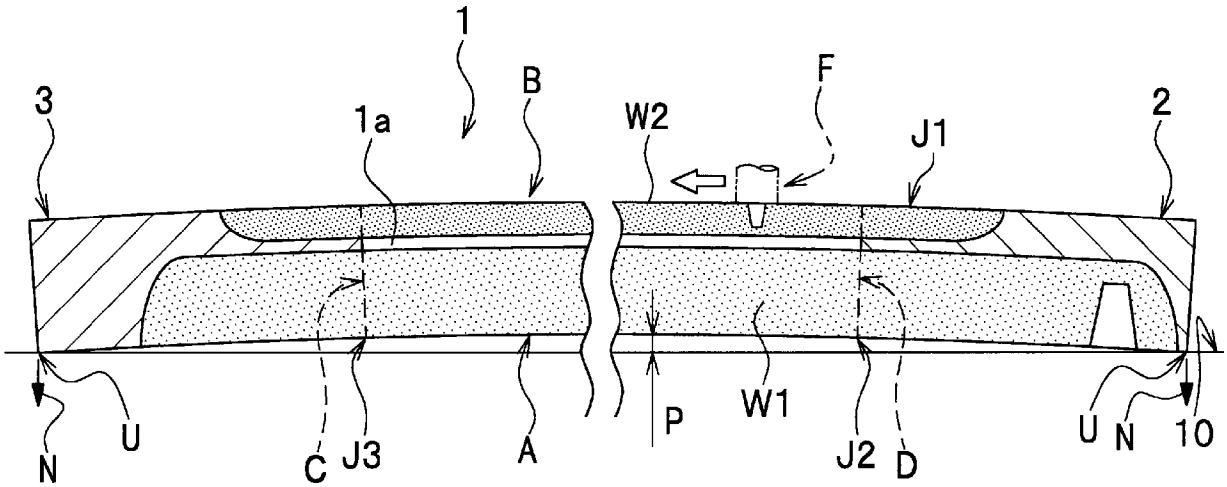
[図6]


(a)
1
G1
G
G2
G11
A
EM1
1a
J1
W0
SM1
2
D
J2
B
J3
C
P1
3
10
(b)
1
A
G
EM1
1a
J1
W0
W1
2
D
J2
N
B
N
C
N
3
10
(c)
G
G1
G2
1
A
Q1
W1
1a
2
D
N
B
N
C
3
10

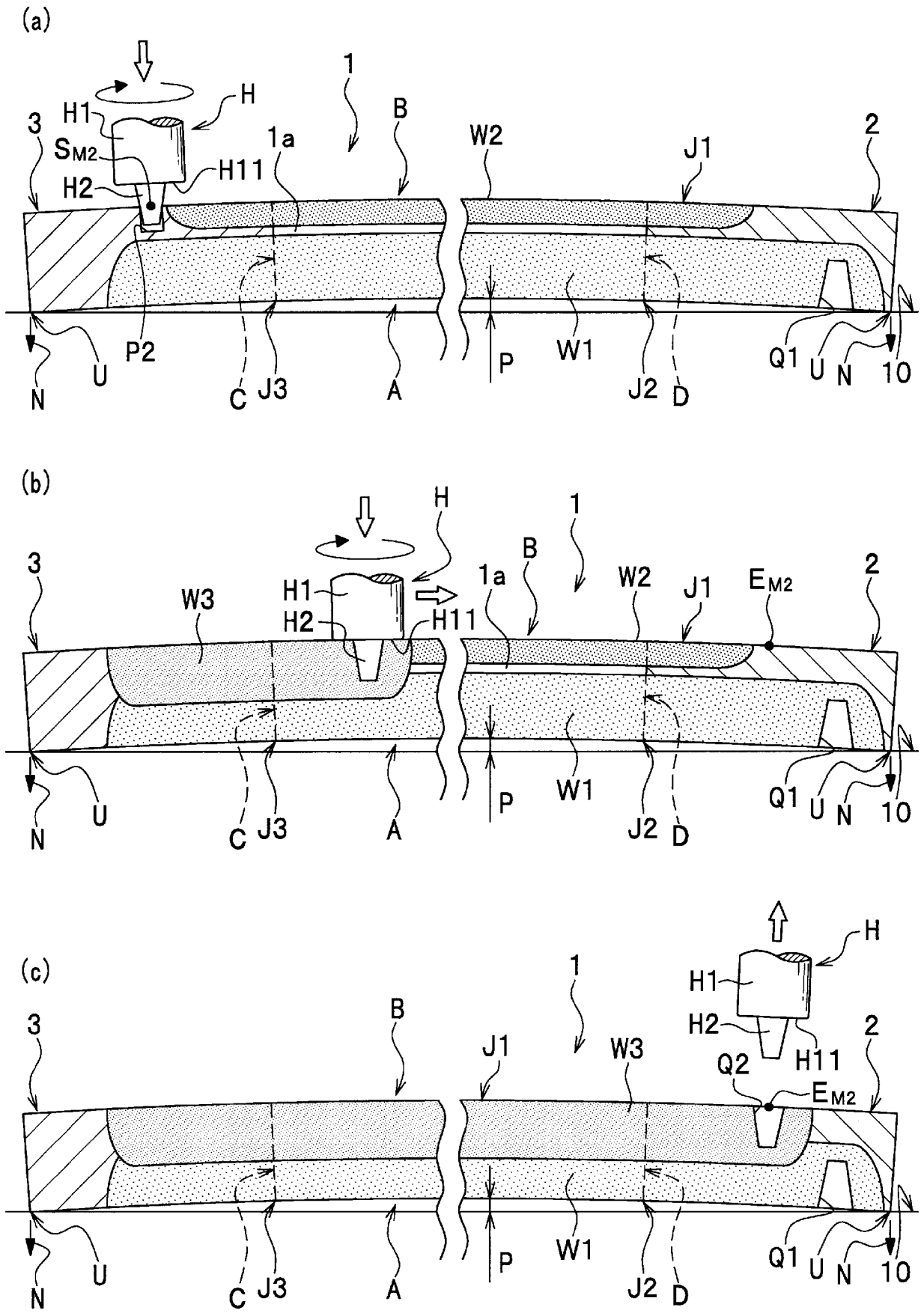
[図7]


1
1a
D
2
J2
C
J1
A
W1
WO
J3
3
1b
10
Upper
Front
Left
Right
Back
Lower

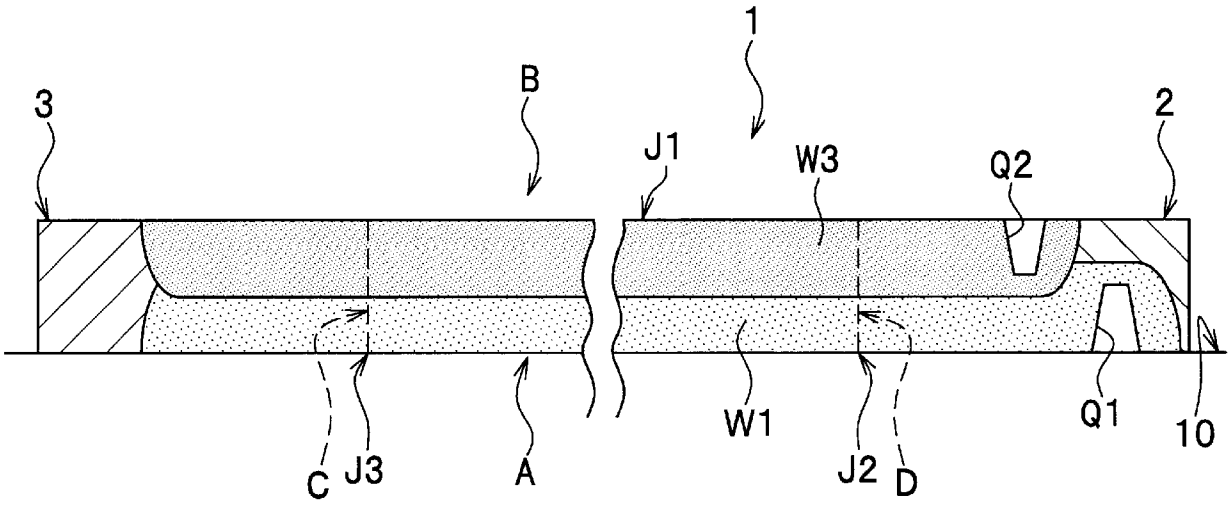
[図8]


1
B
F
3
1a
W2
J1
2
N
U
C
J3
A
P
W1
J2
D
U
N
10

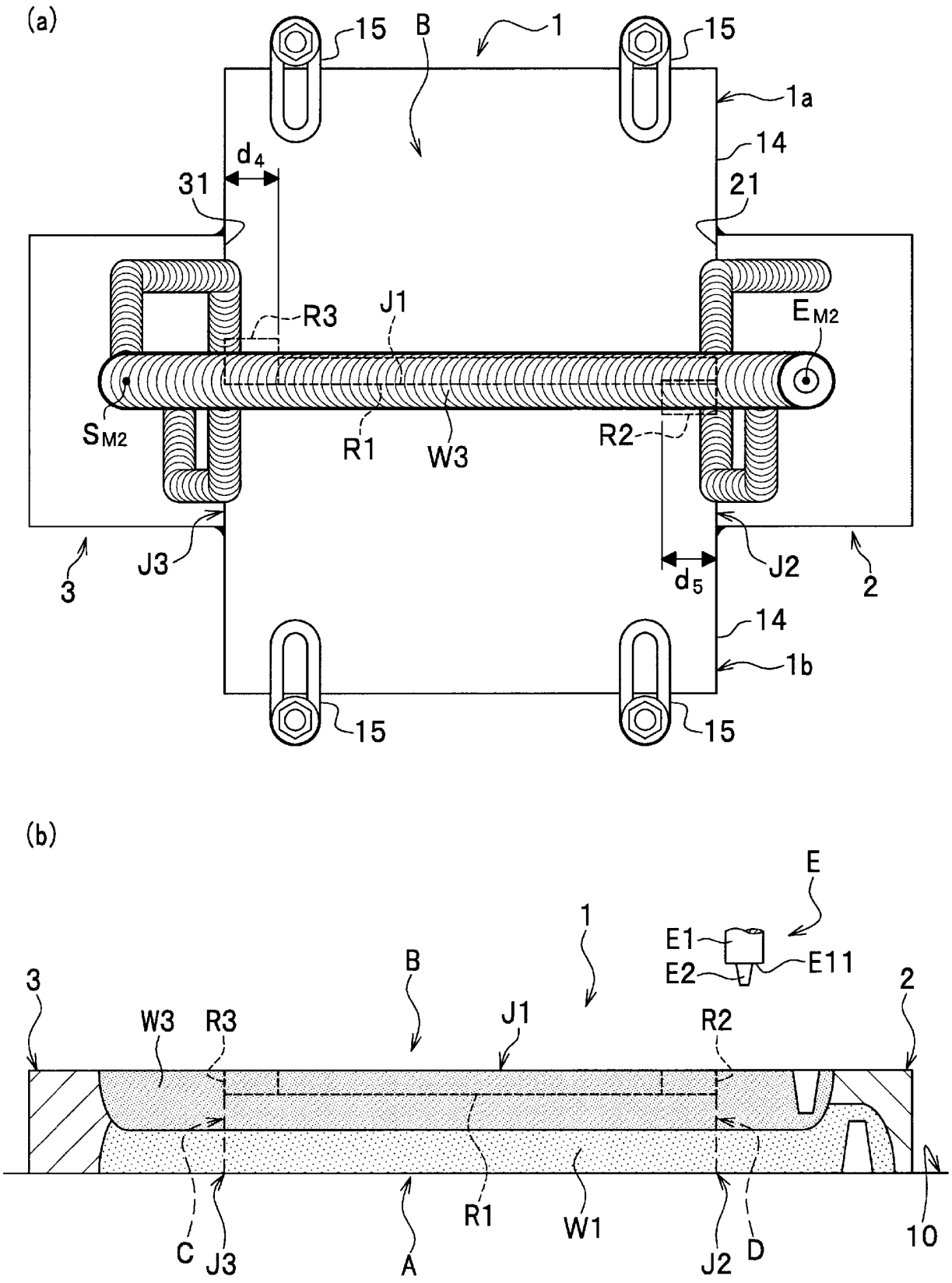
[図9]


(a)
H
1
H1
3
S_{M2}
H2
H11
1a
B
W2
J1
2
P2
U
N
C
J3
A
P
W1
J2
D
Q1
U
N
10
(b)
H
1
3
W3
H1
H2
H11
1a
B
W2
J1
E_{M2}
2
N
U
C
J3
A
P
W1
J2
D
Q1
U
N
10
(c)
H
1
H1
3
B
H2
J1
W3
2
Q2
H11
E_{M2}
N
U
C
J3
A
P
W1
J2
D
Q1
U
N
10

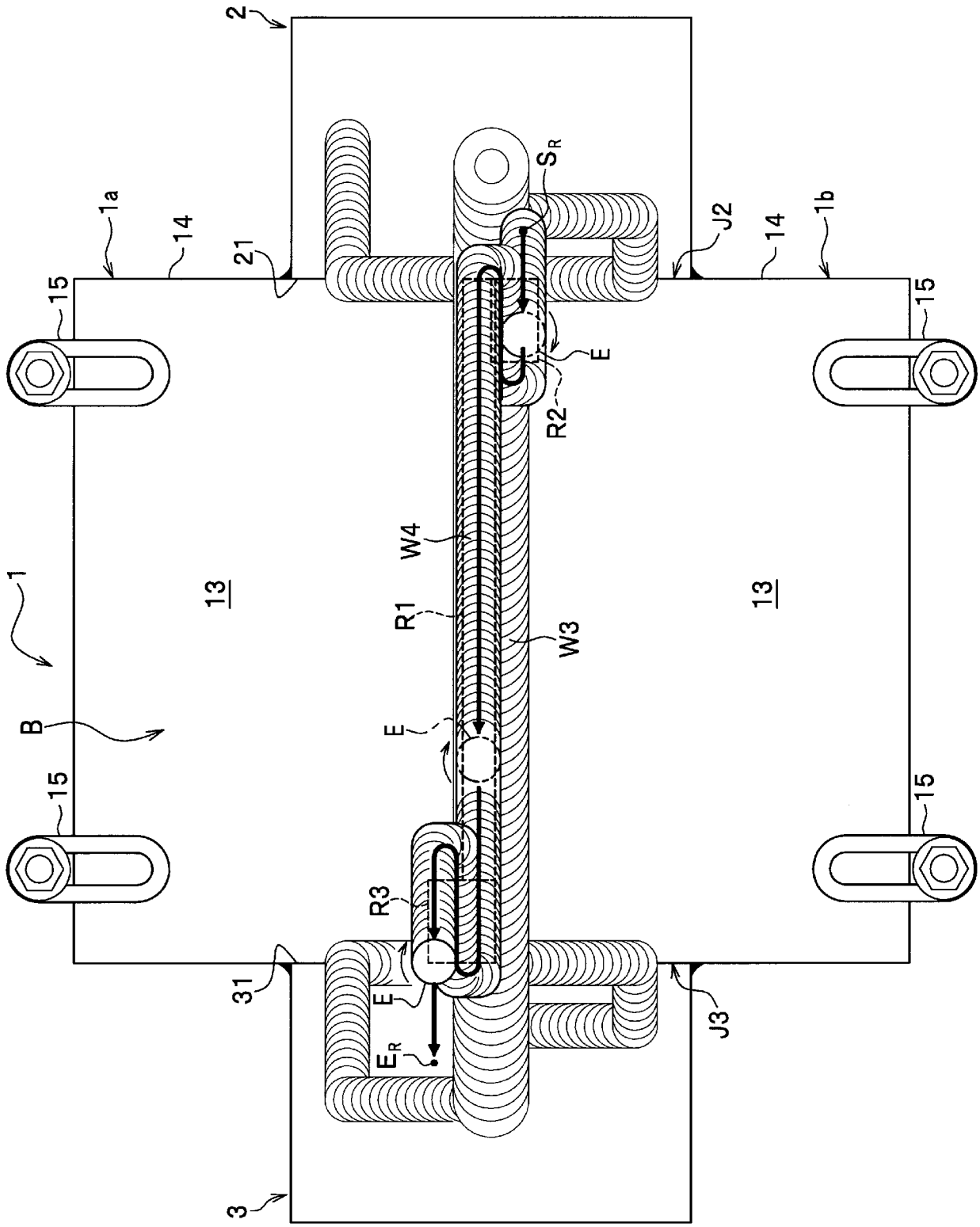
[図10]



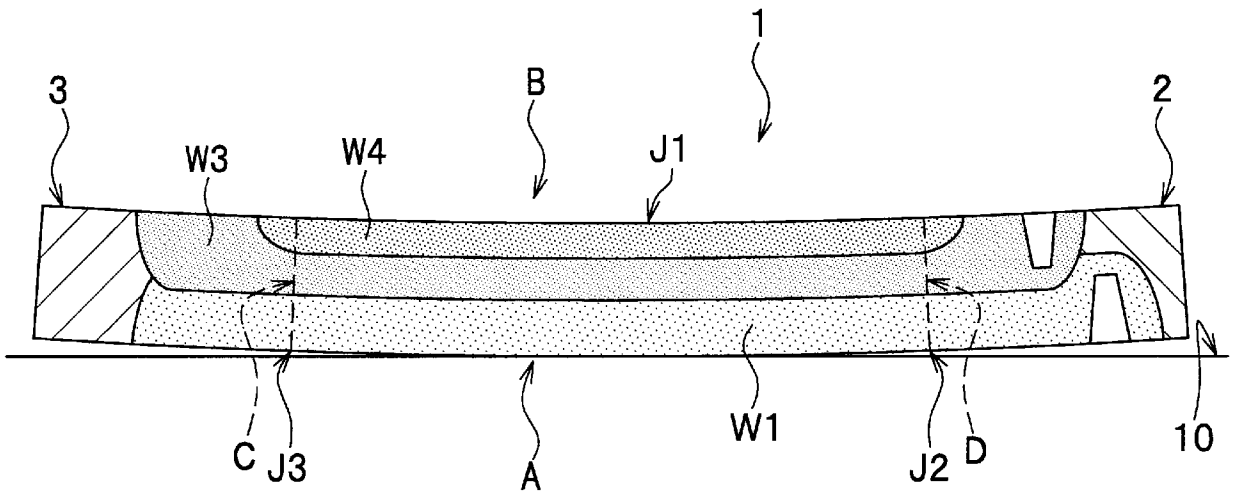
[図11]


(a)
15
B
1
15
1a
14
d4
31
21
R3
J1
EM2
SM2
R1
W3
R2
J3
J2
d5
2
3
14
1b
15
15
(b)
E
1
E1
E2
E11
B
3
2
W3
R3
J1
R2
C
J3
A
R1
W1
J2
D
10

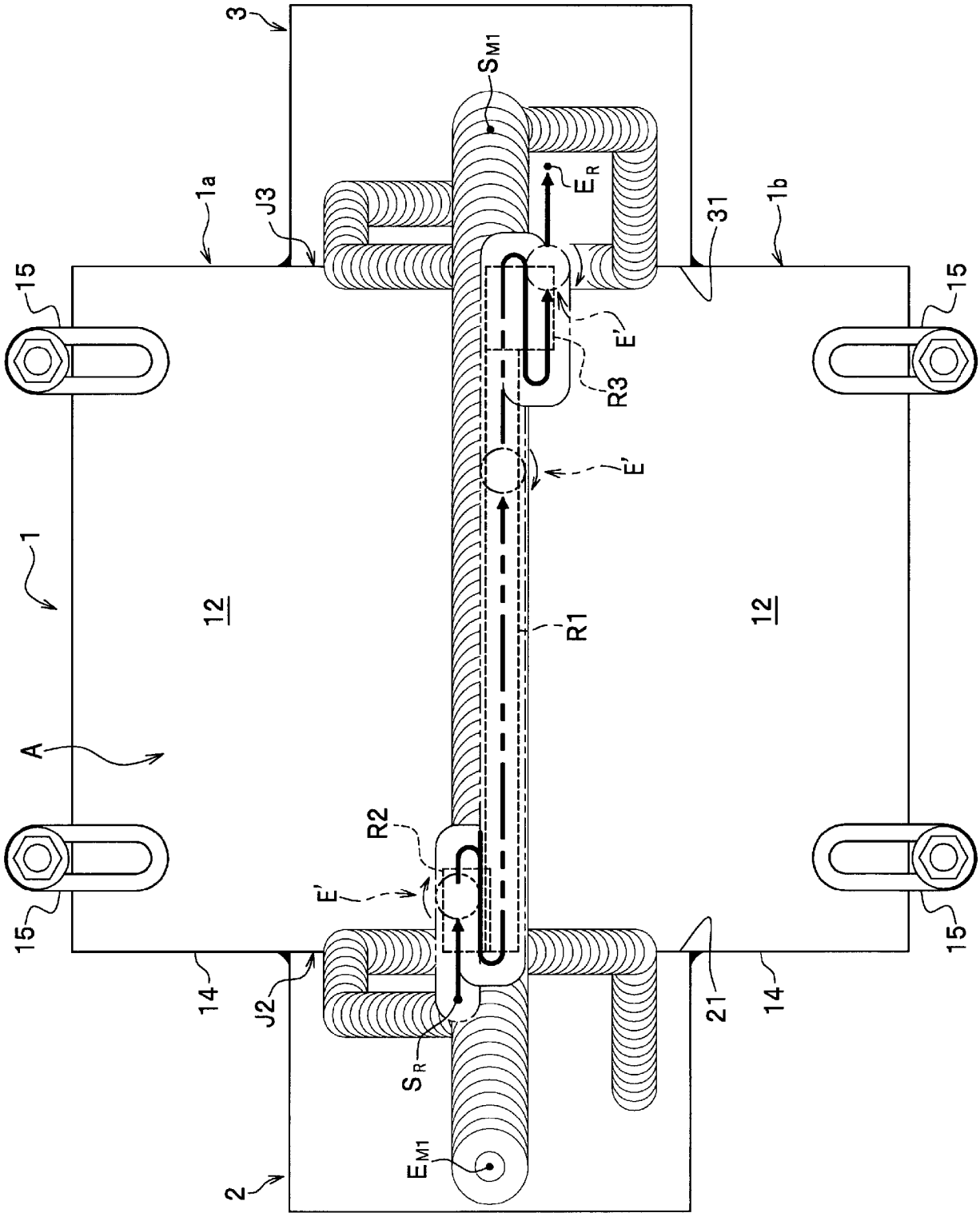
[図12]



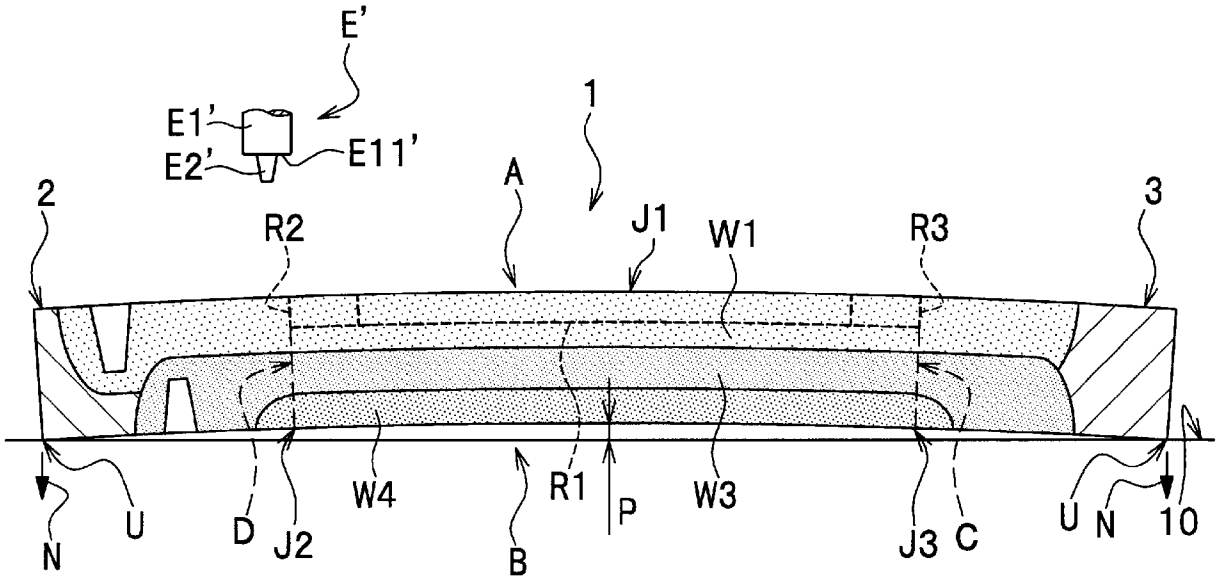
[図13]



[図14]

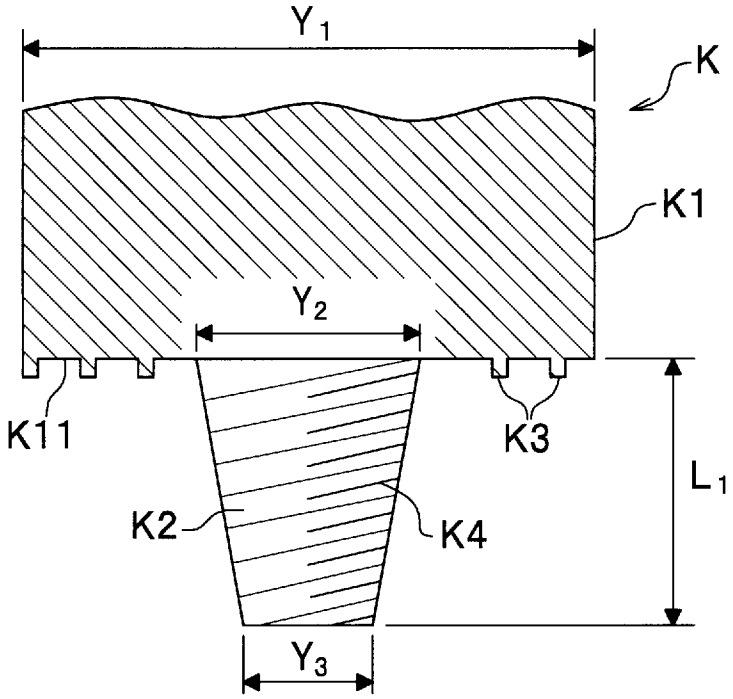

3
S_{M1}
E_R
1a
J3
31
1b
15
15
E'
R3
E'
1
12
R1
12
A
R2
E'
15
15
14
J2
21
14
S_R
E_{M1}
2

[図15]

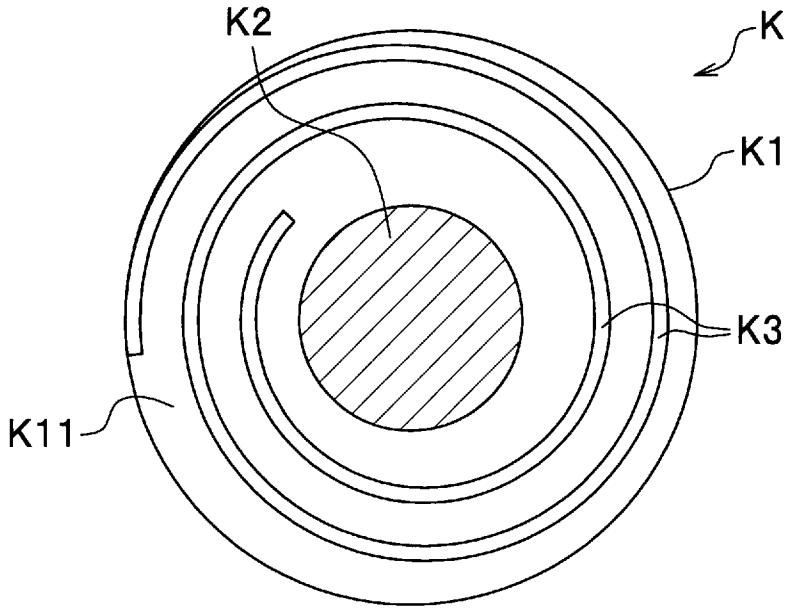


[図16]

(a)

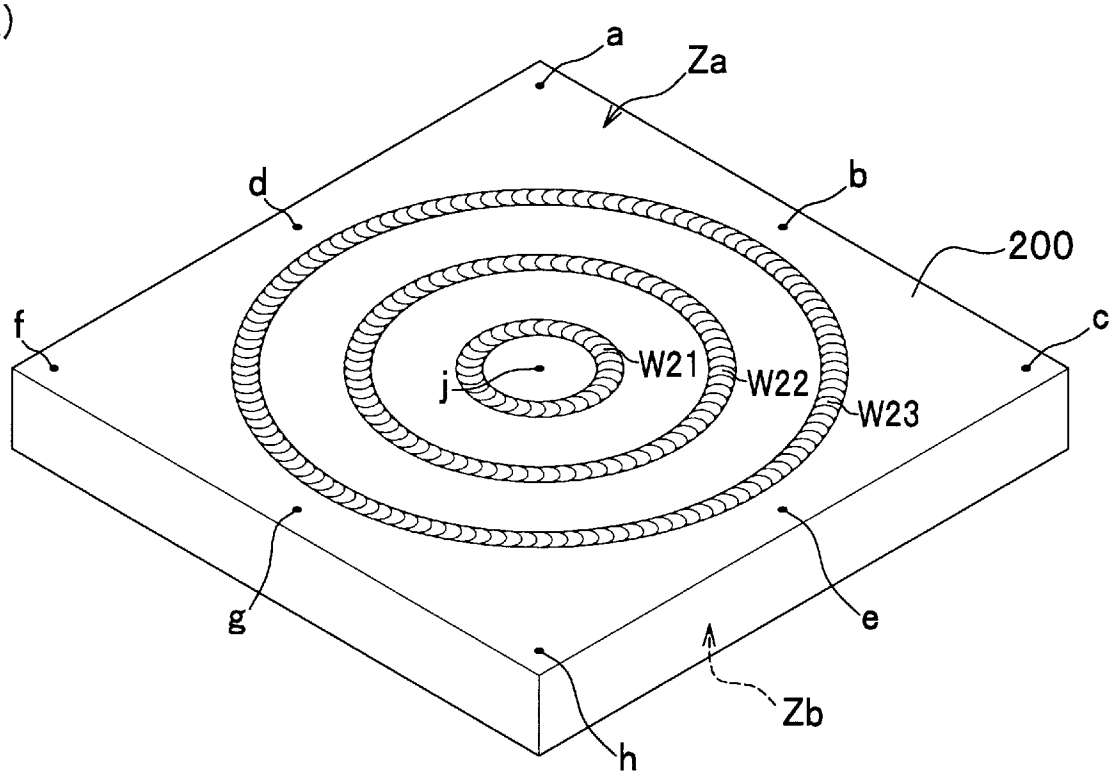


(b)

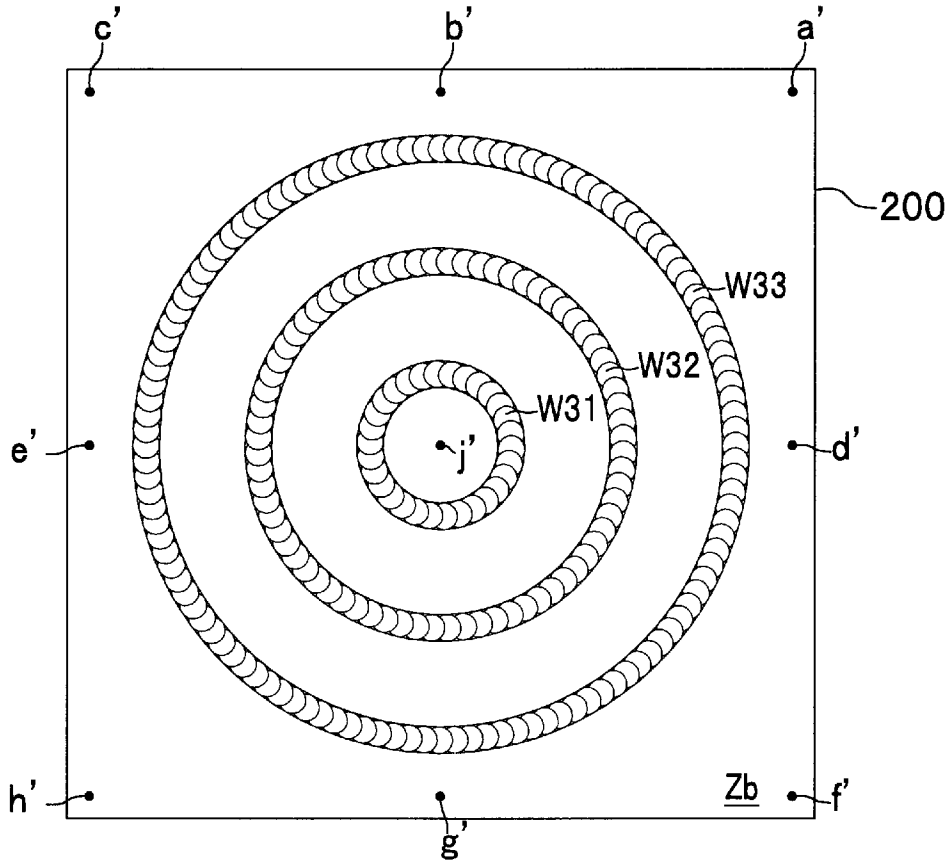


[図17]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/056775

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2000-334577 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 05 December 2000 (05.12.2000), entire text; drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2001-269780 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., The Furukawa Electric Co., Ltd., Nippon Steel Corp.), 02 October 2001 (02.10.2001), entire text; drawings (Family: none)	1-14

☒ 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	Date of mailing of the international search report
06 July, 2010 (06.07.10)	20 July, 2010 (20.07.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/056775

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 2003-181653 A (Nippon Light Metal Co., Ltd.), 02 July 2003 (02.07.2003), entire text; drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2003-211326 A (Hitachi, Ltd.), 29 July 2003 (29.07.2003), entire text; drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2005-177844 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Kawasaki Shipbuilding Corp.), 07 July 2005 (07.07.2005), entire text; drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2009-101401 A (Nippon Light Metal Co., Ltd.), 14 May 2009 (14.05.2009), entire text; drawings (Family: none)	1-14

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０５６７７５

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	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０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 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）	1-14
A	JP 2001-269780 A（石川島播磨重工業株式会社、古河電気工業株式会社、新日本製鐵株式会社）2001.10.02, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-14
A	JP 2003-181653 A（日本軽金属株式会社）2003.07.02, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-14

☑　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 ０６．０７．２０１０	国際調査報告の発送日 ２０．０７．２０１０
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	特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｐ　３５０６ 松本　公一 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６４

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 2003-211326 A (株式会社日立製作所) 2003.07.29, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-14
A	JP 2005-177844 A (川崎重工業株式会社、株式会社川崎造船) 2005.07.07, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-14
A	JP 2009-101401 A (日本軽金属株式会社) 2009.05.14, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-14