(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-167781
(P2024-167781A)

(43)公開日　令和6年12月4日(2024.12.4)

(51)国際特許分類	FI			テーマコード（参考）
Ｂ２３Ｋ　20/12　(2006.01)	Ｂ２３Ｋ	20/12	３４４	４Ｅ１６７

審査請求　未請求　請求項の数　6　　ＯＬ　（全15頁）

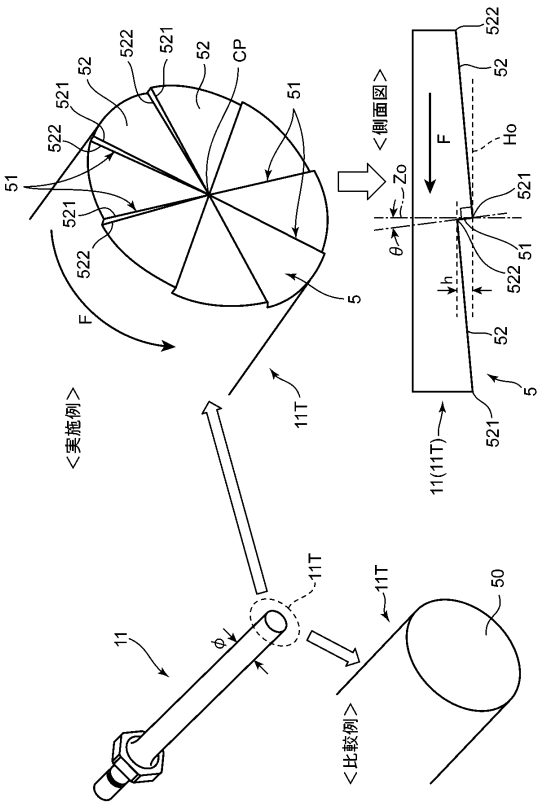
(21)出願番号　特願2023-84103(P2023-84103)
(22)出願日　令和5年5月22日(2023.5.22)

(71)出願人　000000974
川崎重工業株式会社
兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号
(74)代理人　100115381
弁理士　小谷 昌崇
(74)代理人　100127797
弁理士　平田 晴洋
(72)発明者　波多野 遼一
兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号 川崎重工業株式会社内
(72)発明者　上向 賢一
兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号 川崎重工業株式会社内
(72)発明者　秋野 一輝

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　摩擦攪拌点接合用ツール

(57)【要約】
【課題】接合対象部材の重ね合わせ部の接合加圧力を低減可能な、ピン先行プロセスを採用する摩擦攪拌点接合用ツールを提供する。
【解決手段】摩擦攪拌点接合用ツールは、軸線回りに回転する円柱型のピン１１と、ピン１１が内部に挿通される中空部を有するショルダ１２と、ピン１１を回転させながら接合対象物へ圧入させる一方で、ショルダ１２を前記接合対象物に対して退避させるよう駆動する駆動部２と、を備える。ピン１１の円形の先端面５の少なくとも一部には、ピン１１の回転方向において段差を形成する段差形状部５１が備えられている、
【選択図】図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
軸線回りに回転する円柱型のピンと、
前記ピンが内部に挿通される中空部を有するショルダと、
前記ピンを回転させながら接合対象物へ圧入させる駆動と、前記ショルダを前記接合対象物に対して退避させ駆動とを行う駆動部と、を備え、
前記ピンの先端面の少なくとも一部には、前記ピンの回転方向において段差を形成する段差形状部が備えられている、摩擦攪拌点接合用ツール。
【請求項２】
請求項１に記載の摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、
前記段差形状部の前記段差は、前記先端面の中心点から外周縁へ半径方向に延びる径方向段差である、摩擦攪拌点接合用ツール。
【請求項３】
請求項２に記載の摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、
前記径方向段差は、前記ピンの前記先端面の円周方向に複数個が配置されている、摩擦攪拌点接合用ツール。
【請求項４】
請求項３に記載の摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、
前記複数個の径方向段差は、前記先端面の円周方向に均等間隔で配置されている、摩擦攪拌点接合用ツール。
【請求項５】
請求項１～４のいずれか１項に記載の摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、
前記段差形状部の前記段差の最大高低差が、前記ピンの直径の１％～１０％の範囲に設定されている、摩擦攪拌点接合用ツール。
【請求項６】
請求項１に記載の摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、
前記段差形状部の前記段差は、前記先端面の外周縁の一部を切り欠いて形成された段差である、摩擦攪拌点接合用ツール。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、ピンおよびショルダを備えた摩擦攪拌点接合用ツールに関する。
【背景技術】
【０００２】
金属部材や繊維強化熱可塑性樹脂部材等からなる二以上の部材を重ね合わせて接合する手法として、摩擦攪拌を用いた接合が知られている。摩擦攪拌接合には、ピンと当該ピンを収容する中空部を有するショルダとを備えた摩擦攪拌点接合用のツールが用いられることがある。例えばショルダ先行プロセスでは、ショルダを突出させて接合対象部材の重ね合わせ部に圧入させる一方、ピンを退行させて前記圧入により溢れる材料を収容する（例えば特許文献１参照）。一方、ピン先行プロセスでは、ピンを前記重ね合わせ部に圧入させる一方、ショルダを退行させる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０１５－１８６８６９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
上掲のピン先行プロセスにおいて、前記重ね合わせ部の摩擦攪拌点接合に高い接合加圧力を要する場合に、接合用ツールを含む設備の大型化や高コスト化が問題となる。例えば

、繊維強化熱可塑性樹脂部材の重ね合わせ部の接合の場合、内包されている連続繊維の切断に大きな加圧力を要する。この場合、前記加圧力の反力による撓み量を低減させるため、接合用ツールが取り付けられるアーム類として、大型で高い剛性を有するものを採用せねばならない。

【０００５】

本開示は、ピン先行プロセスを採用する摩擦攪拌点接合用ツールにおいて、接合対象部材の重ね合わせ部の接合加圧力を低減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本開示の一の局面に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、軸線回りに回転する円柱型のピンと、前記ピンが内部に挿通される中空部を有するショルダと、前記ピンを回転させながら接合対象物へ圧入させる駆動と、前記ショルダを前記接合対象物に対して退避させる駆動とを行う駆動部と、を備え、前記ピンの先端面の少なくとも一部には、前記ピンの回転方向において段差を形成する段差形状部が備えられている。

【発明の効果】

【０００７】

本開示によれば、接合対象部材の重ね合わせ部の接合加圧力を低減可能な、ピン先行プロセスを採用する摩擦攪拌点接合用ツールを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】図１は、本開示の実施形態に係る摩擦攪拌点接合ツールを含む、摩擦攪拌点接合装置の構成を示す模式図である。

【図２】図２は、摩擦攪拌点接合される第１部材及び第２部材の構成を示す図である。

【図３】図３は、摩擦攪拌点接合ツールを用いた、ピン先行プロセスによる接合手順を示す図である。

【図４】図４は、本開示の実施例に係る摩擦攪拌点接合ツールのピンおよびその先端面の形状を、比較例と共に示す斜視図および側面図である。

【図５】図５は、試験片へのピンの圧入量と接合時間との関係を、実施例および比較例について示すグラフである。

【図６】図６は、実施例のピンに与える加圧力を変更して試験片へ圧入させたときの、圧入量と接合時間との関係を示すグラフである。

【図７】図７（Ａ）は、ショルダ先行プロセスにおける攪拌材料の挙動を、図７（Ｂ）は、ピン先行プロセスにおける攪拌材料の挙動を各々示す図である。

【図８】図８（Ａ）～（Ｃ）は、摩擦攪拌点接合ツールのピン先端形状の他の例を示す斜視図である。

【図９】図９（Ａ）～（Ｆ）は、図４に示したピン先端面の形状の変形例を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

以下、図面に基づいて、本開示の実施形態を詳細に説明する。本開示に係る摩擦攪拌点接合ツールを備えた摩擦攪拌点接合装置は、金属や樹脂製、あるいは繊維材が混合された熱可塑性の樹脂成形体のプレート、フレーム、外装材或いは柱状材等の構造材を、二つ以上重ね合わせて点接合してなる各種接合体の製造に適用することができる。製造される接合体は、例えば、航空機、鉄道車両または自動車などの構造物の構成部材となる。

【００１０】

［摩擦攪拌点接合装置の構成］

図１は、本開示の一実施形態に係る摩擦攪拌点接合装置Ｍの構成を示す模式図である。摩擦攪拌点接合装置Ｍは、複動式の摩擦攪拌点接合用のツール１と、ツール１を回転および昇降駆動するツール駆動部２と、摩擦攪拌点接合装置Ｍの各部の動作を制御するコントローラ２０とを含む。なお、図１には「上」「下」の方向表示を付しているが、これは説

明の便宜のためであり、実際のツール１の使用方向を限定する意図ではない。
【００１１】
ツール１は、各種のツール固定部によって支持される。例えば前記ツール固定部は、多関節ロボットの先端部である。ツール１の下端面に対向して、バックアップ１５が配置されている。ツール１とバックアップ１５との間には、接合対象物３が配置される。接合対象物３は、少なくとも二つの部材が重ね合わされてなる。図１では、平板プレートからなる第１部材３１の一部と、同じく平板プレートからなる第２部材３２の一部とが上下方向に重なり合った重なり部３０が、接合対象物３としてツール１とバックアップ１５との間に配置されている例を示している。
【００１２】
ツール１は、ピン１１、ショルダ１２、クランプ１３およびスプリング１４を含む。ピン１１は円柱型の部材であり、その軸線が上下方向に延びるように配置されている。ピン１１は、前記軸線を回転軸Ｒとして回転が可能であり、且つ、回転軸Ｒに沿って上下方向に進退が可能である。なお、ツール１の使用時には、回転軸Ｒと重なり部３０における点接合位置Ｗとが位置合わせされる。
【００１３】
ショルダ１２は、ピン１１が内部に挿通される中空部を有する、円筒状に形成された部材である。ショルダ１２の軸線は、ピン１１の軸線、つまり回転軸Ｒと同軸上にある。ショルダ１２は、回転軸Ｒ回りに回転が可能であり、且つ、回転軸Ｒに沿って上下方向に進退可能である。本実施形態のツール１は、ピン１１およびショルダ１２が独立して軸方向に移動する複動式のツールである。すなわち、ショルダ１２と、前記中空部に内挿されたピン１１とは、共に回転軸Ｒの軸回りに回転しつつ、回転軸Ｒ方向に相対移動が可能である。具体的には、ピン１１およびショルダ１２は、回転軸Ｒに沿って同時に昇降するだけでなく、一方が下降し他方が上昇するという独立移動が可能である。
【００１４】
クランプ１３は、ショルダ１２が内挿される中空部を備え、円筒状に形成された部材である。クランプ１３の軸線も、回転軸Ｒと同軸上にある。クランプ１３は、軸回りに回転はしないが、回転軸Ｒに沿って上下方向に昇降、つまり進退する。クランプ１３は、ピン１１またはショルダ１２が摩擦攪拌を行う際に、これらの外周を囲う役目を果たす。クランプ１３の囲いによって、摩擦攪拌材料を四散させず、摩擦攪拌点接合部分を平滑に仕上げることができる。
【００１５】
スプリング１４は、クランプ１３の上端側に取り付けられ、クランプ１３を重なり部３０に向かうよう下方に付勢している。クランプ１３は、スプリング１４を介して、前記ツール固定部に取り付けられている。バックアップ１５は、接合対象の重なり部３０の下面側に当接する平面を備える。バックアップ１５は、ピン１１またはショルダ１２が重なり部３０に圧入される際に、当該重なり部３０を支持する裏当て部材である。スプリング１４で付勢されたクランプ１３は、重なり部３０をバックアップ１５に押し当てる。
【００１６】
ツール駆動部２は、回転駆動部２１、ピン駆動部２２、ショルダ駆動部２３およびクランプ駆動部２４を含む。回転駆動部２１は、モーターおよび駆動ギア等を含み、ピン１１およびショルダ１２を回転軸Ｒ回りに回転駆動する。ピン駆動部２２は、回転軸Ｒに沿ってピン１１を進退移動させる機構である。ピン駆動部２２は、ピン１１の重なり部３０への圧入並びに重なり部３０からの退避を行うように、ピン１１を駆動する。ショルダ駆動部２３は、回転軸Ｒに沿ってショルダ１２を進退移動させる機構であって、ショルダ１２の重なり部３０への圧入並びに退避を行わせる。クランプ駆動部２４は、回転軸Ｒに沿ってクランプ１３を進退移動させる機構である。クランプ駆動部２４は、クランプ１３を重なり部３０に向けて移動させ、重なり部３０をバックアップ１５に押圧させる。この際、スプリング１４の付勢力が作用する。
【００１７】

コントローラ２０は、マイクロコンピュータ等からなり、所定の制御プログラムを実行することで、ツール駆動部２の動作を制御する。具体的にはコントローラ２０は、回転駆動部２１を制御して、ピン１１およびショルダ１２に所要の回転動作を行わせる。また、コントローラ２０は、ピン駆動部２２、ショルダ駆動部２３およびクランプ駆動部２４を制御して、ピン１１、ショルダ１２およびクランプ１３に、所要の進退移動動作を行わせる。

【００１８】

図２は、摩擦攪拌点接合される第１部材３１および第２部材３２の構成を示す図である。ここでは、プレート状の第１部材３１の一部とプレート状の第２部材３２の一部とが上下に重ね合わされた重なり部３０を例示している。重なり部３０は、プレートとフレーム（又は柱状材）との重なり部、或いはフレーム同士の重なり部等であっても良い。重なり部３０には、第１部材３１の下面の接合面３１Ａと、第２部材３２の上面の接合面３２Ａとが直接接触した合わせ面ＢＤが形成されている。第１部材３１と第２部材３２との間に、他のプレートが１枚以上介在されても良い。

【００１９】

図２では、第１部材３１および第２部材３２として、連続繊維の配列体に熱可塑性樹脂を含浸したプリプレグを多層に積層してなる成形体を用いる例が示されている。図２には、第１部材３１を構成しているシート積重体３３の一部が示されている。シート積重体３３は、それぞれ連続繊維の配列体に熱可塑性樹脂を含浸したシートからなる第１シート層３３Ａ、第２シート層３３Ｂおよび第３シート層３３Ｃを含む。第１シート層３３Ａは、連続繊維３４の多数本が所定の配列方向に配列され、その配列体に熱可塑性樹脂を含浸して一体化した、厚さ０．１ｍｍ～０．５ｍｍ程度のシートである。第２シート層３３Ｂ及び第３シート層３３Ｃも上記と同様なシートであるが、連続繊維３４の配列方向が相互に異なる方向とされている。第２部材３２も、第１部材３１と同様なシートの多層積層体からなるプレートである。

【００２０】

ツール１による重なり部３０の摩擦攪拌点接合の際には、ツール１の圧入により連続繊維３４を切断しながら、含浸材の熱可塑性樹脂を摩擦攪拌することになる。なお、プリプレグ成形体は第１部材３１および第２部材３２の構成材の一例である。例えば、アルミニウム材や鋼材などの金属プレートを２枚以上用いて重なり部３０が構成されても良い。一例として、ツール１が最初に圧入される側の第１部材３１がアルミニウム合金、第２部材３２が高張力鋼である例を挙げることができる。

【００２１】

［ツールの使用方法］

続いて、本実施形態で例示しているツール１の使用方法について説明する。摩擦攪拌点接合装置Ｍの使用方法としては、大略的に、ツール１のピン１１を先行して接合対象物３の重なり部３０へ圧入させるピン先行プロセスと、ショルダ１２を先行して重なり部３０へ圧入させるショルダ先行プロセスとがある。本実施形態では、コントローラ２０がツール１を、ピン先行プロセスで動作するように駆動する。

【００２２】

図３は、前記ピン先行プロセスによる摩擦攪拌点接合方法のプロセスＰ１１～Ｐ１４を示す図である。ここでは、第１部材３１と第２部材３２との重なり部３０を、摩擦攪拌点接合する場合のプロセスを簡略的に示している。プロセスＰ１１は、重なり部３０の予熱工程を示している。第１部材３１の表面にツール１の下端を当接させた状態で、ピン１１およびショルダ１２を軸回りに所定の回転数で高速回転させる。

【００２３】

プロセスＰ１２は、ピン１１の圧入工程を示している。図中に白抜き矢印にて示すように、ピン１１を軸回りに回転させながら下降させて重なり部３０へ圧入させる一方、ショルダ１２を上方へ退避させる。この動作により、ピン１１の圧入領域の材料が攪拌される。また、前記圧入によって重なり部３０から溢れ出した溢れ出し材料ＯＦが、ショルダ１

２の退避によって生じた、ピン１１とクランプ１３との間の環状領域に逃がされる（矢印ａ１参照）。

【００２４】

プロセスＰ１３は、溢れ出し材料ＯＦの埋め戻し工程を示している。埋め戻し工程では、ピン１１を上昇させて退避させる一方で、ショルダ１２を下降させる。ショルダ１２の下降により、矢印ａ２で示すように、前記環状領域に逃がされた溢れ出し材料ＯＦが、ピン１１の圧入領域に埋め戻される。

【００２５】

プロセスＰ１４は、ならし工程を示している。ピン１１およびショルダ１２の下端面を第１部材３１の表面の高さ位置に復帰させた状態で両者を回転させ、点接合部分を平滑化する。なお、第１部材３１が熱可塑性樹脂である場合、プロセスＰ１４においてピン１１およびショルダ１２を回転させず、単に点接合部分を押圧させる場合もある。以上のプロセスにより、攪拌接合部４ａが形成され、第１部材３１及び第２部材３２が重なり部３０において点接合される。

【００２６】

［ツールのピンの実施形態］

図４は、本開示の実施例に係る摩擦攪拌点接合ツール１のピン１１およびその先端部１１Ｔの形状を、比較例と共に示す斜視図および側面図である。従来、ピン１１の先端部１１Ｔは、＜比較例＞の箇所に示す通り、平面からなる円形の先端面５０を有する形状とされている。つまり、先端面５０は、段差などが存在しない平坦な面である。このような先端面５０を有するピン１１を具備するツール１を用いてピン先行プロセスを実行させた場合、高い接合加圧力を要することがある。

【００２７】

高い接合加圧力を要する一例が、接合対象物３が図２に例示したような、連続繊維３４で強化された熱可塑性樹脂のプリプレグ（例えば熱可塑性ＣＦＲＰ）からなるシート積重体３３で、少なくとも第１部材３１が構成されている場合である。このような第１部材３１である場合、摩擦攪拌の際に連続繊維３４を切断しながらピン１１を圧入させることになる。この連続繊維３４の切断のためには、大きな加圧力をツール１に与える必要がある。本開示者らの実験によれば、熱可塑性ＣＦＲＰの連続繊維の切断のために、ツール１に加えられる全加圧力のうちの６０％程度が使用されていることが判明した。なお、全加圧力の残りの４０％程度は、専ら溢れ出し材料ＯＦをピン１１の外周の前記環状領域に押し出すために使用されている。

【００２８】

高い接合加圧力を要する場合、その反力対策が必要となる。例えば、ロボットアームの先端にツール１を搭載する場合、反力によって撓み変形等が生じないように、ロボットアームの剛性を高く設定する必要がある。剛性の強化には、ロボットアームの大型化もしくは高強度のアーム材の採用が必要となり、結果としてツール１を含む摩擦攪拌点接合装置Ｍの設備の大型化や高コスト化を招来する。

【００２９】

本開示に係るピン１１の先端部１１Ｔは、接合加圧力を抑制できる先端面５の形状を有している。図４の＜実施例＞の箇所に示す通り、軸方向視で円形の先端面５であることは従来と同じであるが、先端面５には、ピン１１の回転方向Ｆにおいて段差を形成する段差形状部５１が備えられている。段差形状部５１の前記段差は、円形の先端面５の中心点ＣＰから円の外周縁へ半径方向に延びる径方向段差である。段差形状部５１は、先端面５の円周方向に複数個が配置されている。図４では、８個の径方向段差が、先端面５の円周方向に均等間隔で配置されている例が示されている。

【００３０】

段差形状部５１は、先端面５の中心点Ｃで最も浅く、先端面５の外周縁で最も深い形状を有する。つまり、段差形状部５１は、中心点Ｃから先端面５の径方向外側に向かうに連れて、徐々に段差高さｈが大きくなる形状を有している。このような段差形状部５１が均

等間隔で８個形成された結果として、先端面５には同サイズの８面の扇面５２が円周方向に並んでいる。これらの扇面５２は、段差形状部５１の段差高さｈに応じた傾きを持つ面である。

【００３１】

図４の＜側面図＞も参照して、扇面５２は、ピン１１の回転方向Ｆの前端５２１が高く、後端５２２が低くなる傾きを有している。前端５２１が「高い」とは、先端面５がピン１１の下端面であるとすると、前端５２１の方が後端５２２よりも下方へ突出していることを意味する。＜側面図＞に付記されているラインＨｏは、ピン１１の軸線と直交する水平ラインである。扇面５２は、このラインＨｏに対して、段差高さｈによって定まる傾きを持っている。段差高さｈが最大となるのは、先端面５の外周縁の位置である。前端５２１の高さと中心点ＣＰの高さとは、同じ高さである。一方、後端５２２の高さは、中心点ＣＰの位置においては当該中心点ＣＰと同じ高さであるが、先端面５の外周縁の位置では最大の段差高さｈの分だけ低い高さにある。

【００３２】

上記のような形状的特徴から判る通り、先端面５の中心点ＣＰは下方に突出していない。つまり、段差形状部５１の加工が施されているとはいえ、マクロ的に見て先端面５には平坦性を担保させている。これは、上述したように図３のプロセスＰ１４において、ピン１１の先端面５を攪拌接合部４の表面に押し当てて仕上げる工程があり、当該工程で先端面５の形状が攪拌接合部４の表面に転写されることを考慮しているからである。すなわち、先端面５に顕著な凸部が存在すると、攪拌接合部４の表面に前記凸部に対応した凹部が形成されるため、接合対象物３の平坦性が担保できない。これを回避するため、先端面５には顕著な突出部が存在しないことが望ましい。

【００３３】

段差形状部５１は、円周方向に隣接する一対の扇面５２の前端５２１と後端５２２との高低差に基づく段差面を有している。この段差面は、回転方向Ｆに対して直交する方向に延びる面である。当該段差面と、前端５２１の直角のエッジとがあたかも刃の形状を為し、接合対象物を削る役目を果たす。このような刃は、接合対象物の攪拌性や攪拌材料の径方向外側への押し出し性を向上させると共に、上述の連続繊維３４の切断にも寄与する。

【００３４】

段差形状部５１の段差高さｈは、適宜設定して良いが、高すぎると圧入抵抗を大きくしてしまい、低すぎると「刃」としての効果が低減する。段差高さｈは、ピン１１の直径φを基準に定めることができる。例えば段差高さｈは、前端５２１と後端５２２との段差の最大高低差が、ピン１１の直径φの１％～１０％の範囲、好ましくは１．５％～７％の範囲に設定することができる。

【００３５】

段差形状部５１の段差面は、ピン１１の軸線Ｚｏに平行な鉛直面としても良いが、図４に示すように軸線Ｚｏに対して傾き角θを持つ面としても良い。図例の段差形状部５１の段差面は、ラインＨｏに対して傾きを持つ扇面５２に対して直角に交差する面である。傾き角θは、例えば２度～７度の範囲から選択することができる。

【００３６】

［圧入試験例］

＜試験１＞

ピン１１の先端部１１Ｔに、図４の＜実施例＞に係る先端面５を有するツール１と、＜比較例＞に係る先端面５０を有するツール１とを用い、同一の試験片に同一のピン圧入量を達成するのに要する加圧力を調査した。接合対象物３の試験片として、厚さ２．５ｍｍの熱可塑性ＣＦＲＰ樹脂シートを２枚重ね合わせた重なり部３０を準備した。実施例および比較例とも、ピン１１の直径φ＝９ｍｍのものを使用した。実施例の先端面５が有する段差形状部５１の段差高さｈの最大高低差＝０．２８ｍｍ、段差面の傾き角θ＝５度とした。比較例の先端面５０は、平坦な水平面である。

【００３７】

ピン１１の圧入目標値＝３．８７ｍｍとして、実施例および比較例のツール１で各々重なり部３０にピン１１を圧入させた。実施例および比較例とも、圧入目標値を達成するピン１１の圧入を行うことができた。但し、圧入目標値を達成するのに要した加圧力は、

実施例＝４［ｋＮ］、比較例＝９［ｋＮ］

であり実施例のツール１の方が比較例よりも大幅に低い加圧力で重なり部３０の摩擦攪拌点接合を行い得ることが確認された。

【００３８】

＜試験２＞

試験１と同じ実施例の先端面５を有するツール１および比較例の先端面５０を有するツール１を用い、同じ加圧力で同じ金属試料へのピン１１の圧入させる試験を行った。金属試料として、ＪＩＳ－Ｈ－４０４０に規定されたＡ７０７５アルミニウム合金にＴ６処理を施した、厚さ１ｍｍの試料を用いた。ピン１１の試料への圧入目標値＝０．５ｍｍ、加圧力＝５．５ｋＮに設定して、実施例および比較例のツール１のピン１１を前記金属試料にそれぞれ圧入させた。

【００３９】

図５は、金属試料へのピン１１の圧入量（ｍｍ）と接合時間（秒）との関係を、実施例および比較例について示すグラフである。特性Ａ１は、実施例のツール１によるピン１１の圧入挙動を示す。金属試料へのピン１１の圧入開始から２．５秒程度で、圧入目標値の圧入が完了していることが判る。一方、特性Ｂ１は、比較例のツール１によるピン１１の圧入挙動を示す。結果として、設定された加圧力＝５．５ｋＮでは、圧入目標値を達成するピン１１の圧入を行うことができなかった。特性Ｂ２は、試験２の実行に用いた試験装置で設定可能な加圧力＝８．７ｋＮを比較例のツール１に与えて、前記金属試料へピン１１の圧入を行わせたときの圧入挙動を示す。比較例のツール１では、特性Ｂ２に示すように、設定加圧力の約６０％増しの加圧力を与えても０．２ｍｍ程度の圧入しか行えず、圧入目標値は未達であった。

【００４０】

＜試験３＞

試験１で用いた熱可塑性ＣＦＲＰ樹脂シートで形成された重なり部３０と、実施例の先端面５を有するツール１とを用いて、ピン圧入量と接合時間との関係を調べた。試験１では、ツール１の加圧力＝４ｋＮで圧入目標値＝３．８７ｍｍを達成できることが確認できたが、さらに加圧力を下げての圧入が可能か否かを調査した。

【００４１】

図６は、実施例のツール１に与える加圧力を変更して重なり部３０へ圧入させたときの、ピン圧入量（ｍｍ）と接合時間（秒）との関係を示すグラフである。グラフに示されている特性Ａ１１、Ａ１２、Ａ１３、Ａ１４は、それぞれ加圧力＝４ｋＮ、３．５ｋＮ、３ｋＮ、２ｋＮとしたときの圧入挙動を示す。このグラフから判るように、ピン１１の圧入速度を小さくし、結果として接合時間を長く取れば、加圧力＝２ｋＮまで低下させても圧入目標値が達成できることが確認された。因みに、比較例のツール１では、ピン１１の圧入速度をいくら低下させても、４ｋＮレベルの加圧力では圧入目標値を達成することはできなかった。

【００４２】

以上の試験１～３により、ピン先行プロセスによるピン１１の圧入による接合対象物の接合に際し、段差形状部５１が接合加圧力の低減に寄与することが確認された。ピン１１を圧入する一方でショルダ１２を退避させるピン先行プロセスでは、図３のプロセスＰ１２で説明した通り、ピン１１の直下の材料を攪拌して流動化し、当該ピン１１の外周に存在するショルダ退避で生じた環状空間へ押し出すこととなる。ピン１１の先端面５の段差形状部５１は、ピン１１の回転方向Ｆにおいて段差を形成している。このため、ピン１１を軸線回りに回転させながら接合対象物３へ圧入させると、段差形状部５１が積極的にピン１１直下の材料を削る。接合対象物３が図２に例示したようなシート積重体３３であっても、段差形状部５１が刃の役目を果たして連続繊維３４を切断するので、接合加圧力を

低減できる。

【００４３】

さらに段差形状部５１は、ピン１１直下で削られた材料の、積極的なショルダ退避空間への押し出しにも貢献する。すなわち、段差形状部５１はピン１１の回転方向Ｆを直交する方向、つまり径方向に延びる段差面を有する。ピン１１の回転に伴って、前記段差面が攪拌材料を径方向外側へ押し出す機能を果たす。この機能は、平坦な先端面５０しか持たない比較例のピン１１では奏することができない。上掲の段差形状部５１による積極的な材料の削り、攪拌材料の押し出しの機能を有する実施例のピン１１に用いれば、ピン１１直下の材料の攪拌、ならびにピン１１の径方向外側へ向けた攪拌材料の流動がスムースとなる。従って、摩擦攪拌点接合時における接合対象物３に対するピン１１の加圧力、つまりツール１に加えねばならない接合加圧力を低減することができる。

【００４４】

上記の確認結果を踏まえて、ピン先行プロセスに代えてショルダ先行プロセスを採用すると共に、ショルダ１２の先端面に、本実施形態の段差形状部５１に準じた段差形状部を設けることも考えられる。しかし、ピン先行プロセスを採用し、且つピン１１の先端面５に段差形状部５１を設ける方が、ショルダ先行プロセスよりも利点が多い。この点について、図７を用いて説明する。

【００４５】

図７（Ａ）は、ショルダ先行プロセスにおける攪拌材料の挙動を、図７（Ｂ）は、ピン先行プロセスにおける攪拌材料の挙動を各々示す図である。ショルダ先行プロセスを採用するツール１００では、矢印ａ３で示すように、ピン１１０の上昇によって生じたショルダ１２０内の空間に溢れ出し材料ＯＦが逃がすことを想定している。しかし、ショルダ１２０の先端面に段差形状部を設け、これにより攪拌材料の流動が増加した場合、溢れ出し材料ＯＦの逃げ場がなくなり、矢印ａ４で示すように、クランプ１３０の下方でショルダ１２０の径方向外側へ材料が流出する流動が生じ得る。このような材料流出に伴い、摩擦攪拌点接合部にへこみが発生し易くなる。これに対し、ピン先行プロセスでは矢印ａ５で示すように、元々ピン１１の径方向外側に溢れ出し材料ＯＦを逃がす設定である。従って、段差形状部５１の施与によって攪拌材料の流動が増加しても、攪拌範囲内に溢れ出し材料ＯＦが戻り易く、摩擦攪拌点接合部にへこみは発生しない。

【００４６】

また、ショルダ先行プロセスによる接合径Ｗｓとピン先行プロセスによる接合径Ｗｐとが同じである場合、ピン先行プロセスの方が溢れ出し材料ＯＦの体積が大きくなる。例えば、ピン１１の直径φが９ｍｍである場合、ピン先行プロセスを採用した場合の溢れ出し材料ＯＦは、ショルダ先行プロセスの１．８倍となる。このように、攪拌時に押し出すべき材料が多くなるピン先行プロセスにおいて、ピン１１の先端面５に段差形状部５１を形成して押し出し力を高める意義は、ショルダ先行プロセスよりも大きいと言える。

【００４７】

［ピン先端形状の他の例］

図８（Ａ）～（Ｃ）は、摩擦攪拌点接合ツール１のピン１１における先端部１１Ｔの形状の他の例を示す斜視図である。図８（Ａ）～（Ｃ）では、段差形状部の段差が、ピン先端面５Ａ、５Ｂ、５Ｃの外周縁の一部を切り欠いて形成された段差である例が示されている。これらの段差は、溝状の切り欠きによって形成されている。

【００４８】

図８（Ａ）に示す先端部１１Ｔの先端面５Ａには、複数の斜行溝５３が形成されている。斜行溝５３は、先端面５Ａに形成される凹溝であって、先端面５Ａの外周縁から、先端面５Ａの径方向内側に直線状に延びている。斜行溝５３は、円形の先端面５Ａの直径に相当する仮想線に対して外周縁へ近づく方向の傾きを持つ溝である。前記傾きは、ピン１１の回転方向Ｆに倣う方向に斜行溝５３を指向させる傾きである。このような斜行溝５３の形成によって、先端面５Ａの外周縁付近には、段差形状が存在している。図８（Ａ）では、短尺の８個の斜行溝５３が、先端面５Ａの外周縁に沿って均等間隔で配置されている例

を示している。斜行溝５３の長さや半径、深さ、配置ピッチ、傾きなどは適宜変更できる。

【００４９】

図８（Ｂ）に示す先端部１１Ｔには、先端面５Ｂを起点として、ピン１１の軸方向に延びる複数の螺旋溝５４が形成されている。螺旋溝５４は、先端部１１Ｔの側周面に形成される凹溝であって、先端面５Ｂの外周縁から、回転方向Ｆの上流側へ螺旋状に延びている。先端面５Ｂの外周縁付近には、螺旋溝５４の形成に伴う径方向内側への切り欠きによって、段差形状が形成されている。図８（Ｂ）の螺旋溝５４は一例であり、螺旋溝５４の長さや半径、深さ、配置ピッチ、螺旋角度などは適宜変更できる。

【００５０】

図８（Ｃ）に示す先端部１１Ｔには、先端面５Ｃを起点として、ピン１１の軸方向に直線状に延びる軸方向溝５５が形成されている。軸方向溝５５は、先端部１１Ｔの側周面に形成される凹溝であって、先端面５Ｂの外周縁からピン１１の軸方向に所定長延びている。軸方向溝５５を有する先端部１１Ｔを備えたピン１１では、時計方向および半時計方向の双方を回転方向ＦＡに設定できる。先端面５Ｃの外周縁付近には、軸方向溝５５の形成に伴う径方向内側への切り欠きによって、段差形状が形成されている。図８（Ｃ）の軸方向溝５５は一例であり、軸方向溝５５の長さや半径、深さ、配置ピッチなどは適宜変更できる。

【００５１】

以上例示したように、斜行溝５３、螺旋溝５４および軸方向溝５５の形成により、ピン先端面の外周縁の一部を切り欠いた段差を形成できる。当該段差によっても、ピン１１直下の材料の削り込み、および前記材料のショルダ退避空間への押し出しを促進でき、ツール１の接合加圧力を低減できる。

【００５２】

図９（Ａ）～（Ｆ）は、図４に例示した段差形状部５１を、ピン１１の先端面に形成する場合の各種変形例を示している。図９（Ａ）は、１つの段差形状部５１だけを備える先端面５Ｄを示している。段差形状部５１は、図４の例と同様に、中心点Ｃから先端面５Ｄの外周縁に向けて直線状に延び、径方向外側に向かうに連れて徐々に段差高さが大きくなる形状を有している。

【００５３】

図９（Ｂ）は、２つの段差形状部５１を備える先端面５Ｅを示している。２つの段差形状部５１は、中心点Ｃを挟んで直線状に並んでいる。結果として、先端面５Ｅには２面の半円面が存在する。これらの半円面は、段差形状部５１の段差に応じた傾きを持つ面である。図９（Ｃ）は、４つの段差形状部５１を備える先端面５Ｆを示している。４つの段差形状部５１は、円周方向に９０度の均等間隔で配置されている。先端面５Ｆには、同サイズの４面の扇面が円周方向に並んでいる。図９（Ｄ）は、４つの段差形状部５１が、円周方向にランダムな間隔で配置されている先端面５Ｇを示している。図９（Ｄ）の例のように、段差形状部５１は円周方向に均等間隔で配置されていなくても良い。

【００５４】

図９（Ｅ）は、湾曲部５１Ａを有する４つの段差形状部５１を備える先端面５Ｈを示している。上掲の例では、径方向に直線的に延びる段差形状部５１を例示したが、図９（Ｅ）の例のように湾曲部５１Ａを有していても良い。湾曲部５１Ａは、先端面５Ｈの外周縁付近の段差形状部５１を、回転方向Ｆに倣うように湾曲させた部分である。図９（Ｆ）も、湾曲部５１Ｂを有する４つの段差形状部５１を備える先端面５Ｉを示している。ここでの湾曲部５１Ｂは、先端面５Ｈの外周縁付近の段差形状部５１を、回転方向Ｆとは逆方向に湾曲させた部分である。以上示した先端面５Ｄ～５Ｉをピン１１に具備させることによっても、ツール１の接合加圧力を低減できる。

【００５５】

［本開示のまとめ］

以上説明した具体的実施形態には、以下の構成を有する開示が含まれている。

【００５６】
本開示の第１の態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、軸線回りに回転する円柱型のピンと、前記ピンが内部に挿通される中空部を有するショルダと、前記ピンを回転させながら接合対象物へ圧入させる駆動と、前記ショルダを前記接合対象物に対して退避させる駆動とを行う駆動部と、を備え、前記ピンの円形の先端面の少なくとも一部には、前記ピンの回転方向において段差を形成する段差形状部が備えられている。
【００５７】
第１の態様によれば、ピンの圧入による接合対象物の接合に際し、段差形状部が接合加圧力の低減に寄与する。すなわち、ピンを圧入する一方でショルダを退避させるピン先行プロセスでは、ピンの直下の材料を当該ピンの外周に存在するショルダ退避空間へ押し出すこととなる。段差形状部は、ピンの回転方向において段差を形成している。このため、ピンを軸線回りに回転させながら接合対象物へ圧入させると、段差形状部が積極的にピン直下の材料を削りながら前記ショルダ退避空間へ押し出す挙動を示す。このため、ピン直下の材料の攪拌、ならびにピンの径方向外側へ向けた攪拌材料の流動がスムースとなる。従って、摩擦攪拌点接合時における接合対象物に対するピンの加圧力、つまりツールに加えねばならない接合加圧力を低減することができる。接合加圧力の低減により反力も抑制できるので、小型ロボットや小型の専用装置への摩擦攪拌点接合用ツールの搭載が可能となる。これにより、摩擦攪拌点接合用ツールを含む設備の大型化や高コスト化を回避できる。
【００５８】
第２の態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、第１の態様のツールにおいて、前記段差形状部の前記段差は、前記先端面の中心点から外周縁へ半径方向に延びる径方向段差である。
【００５９】
第２の態様によれば、前記段差が径方向段差とされるので、ピンの圧入による攪拌時における材料のピン外周方向への押し出しを効率的に行わせることができる。
【００６０】
第３の態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、第２の態様のツールにおいて、前記径方向段差は、前記ピンの前記先端面の円周方向に複数個が配置されている。
【００６１】
第３の態様によれば、径方向段差が円周方向に複数個配置されているので、材料のピン外周方向への押し出し力をより高めることができ、ピンの加圧力をより低減することが可能となる。
【００６２】
第４態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、第３の態様のツールにおいて、前記複数個の径方向段差は、前記先端面の円周方向に均等間隔で配置されている。
【００６３】
第４の態様によれば、複数個の径方向段差が均等間隔で配置されているので、ピン直下の材料の削り込みや、当該材料のピン外周方向への押し出しをバランス良く行わせることができる。
【００６４】
第５態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、第１から第４の態様のツールにおいて、前記段差形状部の前記段差の最大高低差が、前記ピンの直径の１％～１０％の範囲に設定されている。
【００６５】
第５の態様によれば、段差形状部の段差高さの適正化を図ることができる。
【００６６】
第６態様に係る摩擦攪拌点接合用ツールは、第１の態様のツールにおいて、前記段差形状部の前記段差は、前記先端面の外周縁の一部を切り欠いて形成された段差である。
【００６７】

第６の態様によれば、外周縁の一部の切り欠きによる段差でも、ピン直下の材料の削り込み、および前記材料のショルダ退避空間への押し出しを促進でき、ツールの接合加圧力を低減できる。

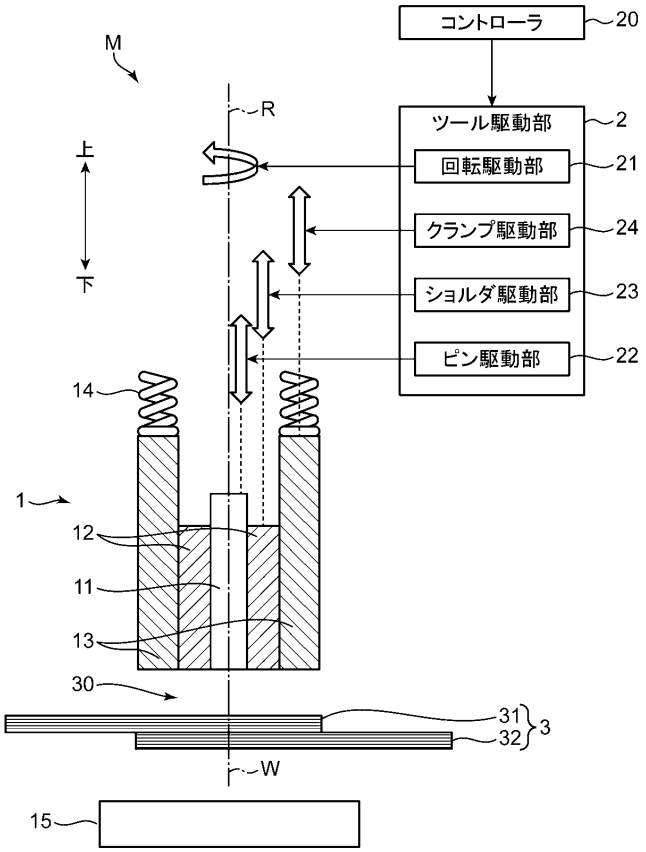
【符号の説明】

【００６８】

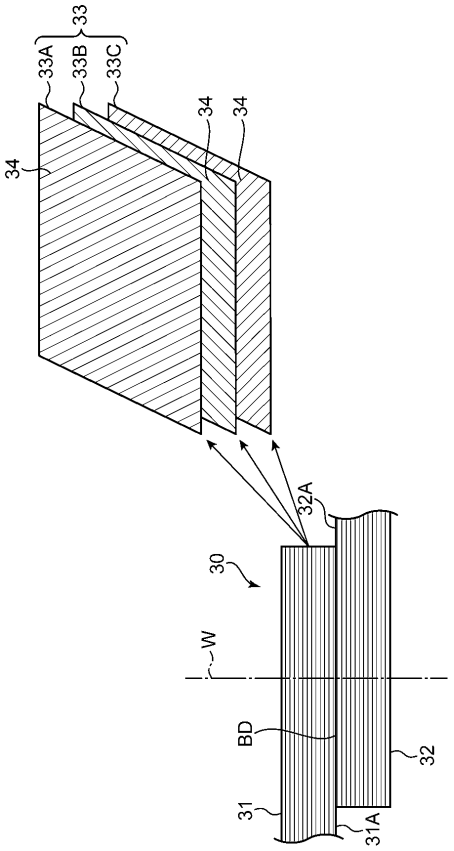
１　ツール（摩擦攪拌点接合ツール）
１１　ピン
１２　ショルダ
１３　クランプ
２　ツール駆動部（駆動部）
３　接合体３
４　攪拌接合部
５、５Ａ～５Ｉ　先端面
５１　段差形状部
５３　斜行溝（段差形状部）
５４　螺旋溝（段差形状部）
５５　軸方向溝（段差形状部）
Ｆ　回転方向
Ｍ　摩擦攪拌点接合装置
Ｒ　回転軸（軸線）

【図面】

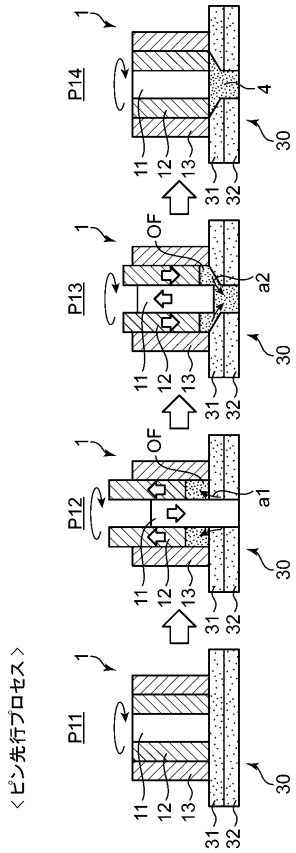
【図１】



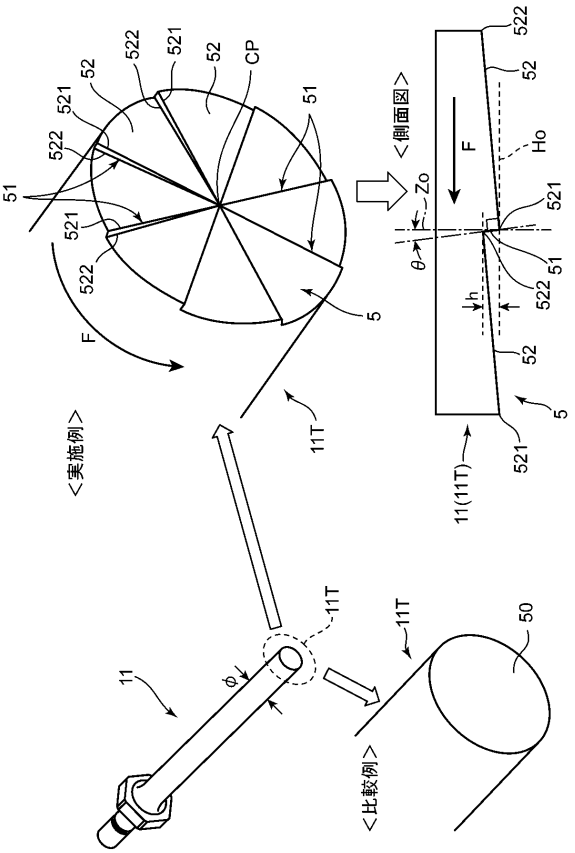
【図２】



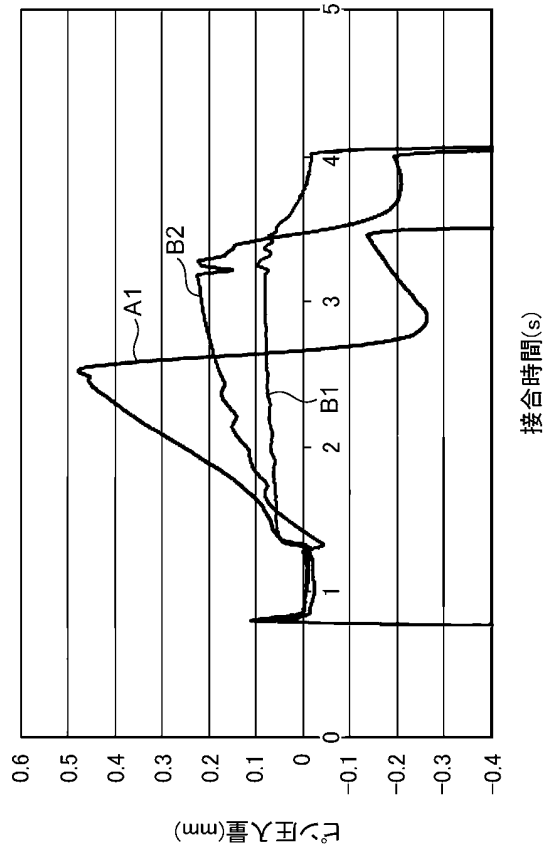
【図３】


＜ピン先行プロセス＞
P11
P12
P13
P14
OF
a1
a2
1
11
12
13
30
31
32
4

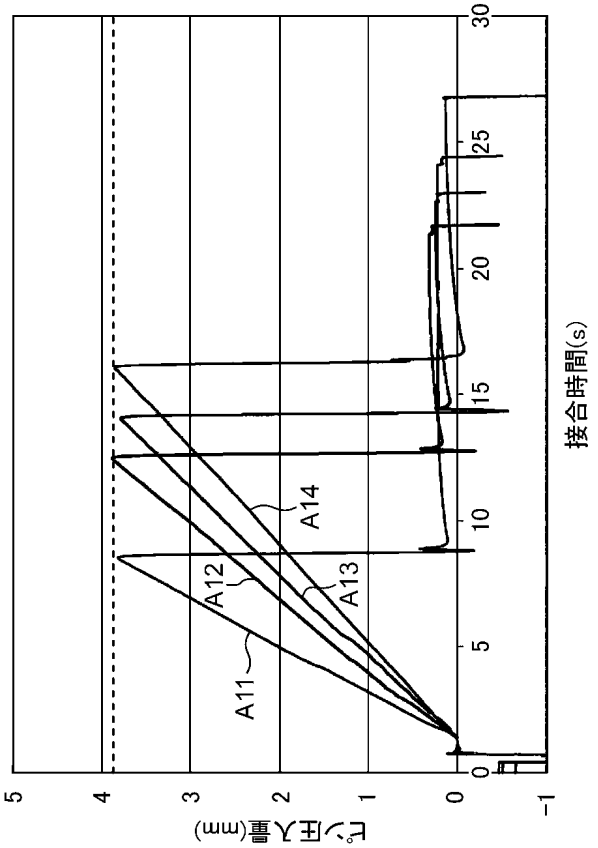
【図４】


＜実施例＞
＜比較例＞
＜側面図＞
51
52
521
522
CP
5
F
11T
11
50
11(11T)
Zo
Ho
θ
h

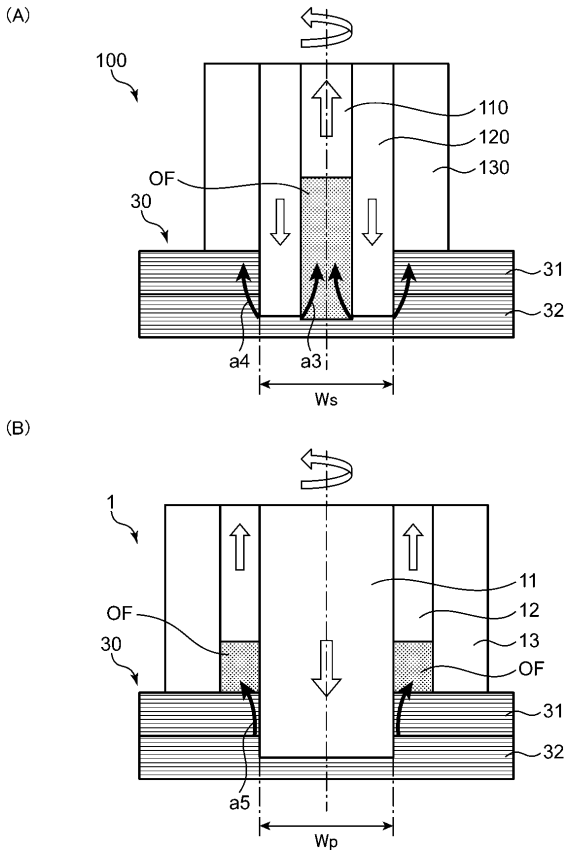
【図５】


A1
B2
B1
ビン圧入量(mm)
接合時間(s)

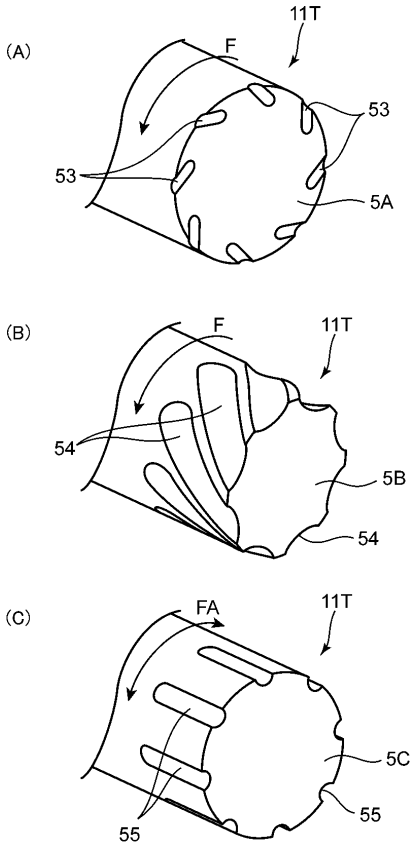
【図６】


A11
A12
A13
A14
ビン圧入量(mm)
接合時間(s)

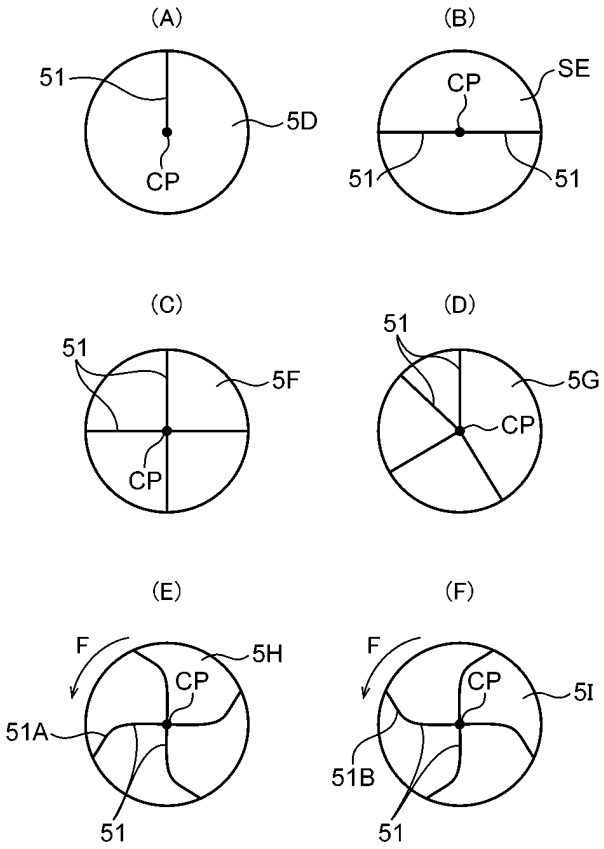
【図７】


(A)
100
110
120
130
OF
30
31
32
a4
a3
Ws
(B)
1
11
12
13
OF
OF
30
31
32
a5
Wp

【図８】


(A)
11T
F
53
53
5A
(B)
F
11T
54
5B
54
(C)
FA
11T
5C
55
55

【図９】


(A)
51
5D
CP
(B)
CP
SE
51
51
(C)
51
5F
CP
(D)
51
5G
CP
(E)
F
5H
CP
51A
51
(F)
F
CP
5I
51B
51

フロントページの続き

兵庫県神戸市中央区東川崎町３丁目１番１号 川崎重工業株式会社内

Ｆターム（参考） 4E167 AA02 AA05 AA06 AA27 BG02 BG06 BG08 BG26