

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 2 部門第 2 区分

【発行日】平成28年11月10日(2016.11.10)

【公開番号】特開2015-66574(P2015-66574A)

【公開日】平成27年4月13日(2015.4.13)

【年通号数】公開・登録公報2015-024

【出願番号】特願2013-202757(P2013-202757)

【国際特許分類】

B 2 3 K 20/12 (2006.01)

【F I】

B 2 3 K 20/12 3 4 4

B 2 3 K 20/12 3 4 2

B 2 3 K 20/12 3 6 4

【手続補正書】

【提出日】平成28年9月23日(2016.9.23)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方の金属材と他方の金属材とを積層することで界面が形成される一対の金属材に対し、積層方向の一方側に配置される第 1 回転ツールと、

一対の前記金属材を挟んで前記第 1 回転ツールの反対側となる他方側に配置され、前記第 1 回転ツールに対向して設けられる第 2 回転ツールと、を備え、

前記第 1 回転ツールは、

一対の前記金属材の一方側の面と接する第 1 ショルダ部を有する第 1 ツール本体を、有し、

前記第 2 回転ツールは、

一対の前記金属材の他方側の面と接する第 2 ショルダ部を有する第 2 ツール本体と、

前記第 2 ツール本体から前記第 1 回転ツールに向かって突出し、前記第 2 ツール本体と前記第 1 ツール本体との間に設けられ、前記第 1 ショルダ部と前記第 2 ショルダ部との間に挟まれた一対の前記金属材を攪拌するプローブとを有し、

前記プローブは、

前記積層方向の一方側の前記金属材と接する接触面に形成され、攪拌した前記金属材を前記界面に向かって流動させる第 1 攪拌溝と、

前記積層方向の他方側の前記接触面に形成され、攪拌した前記金属材を前記界面に向かって流動させる第 2 攪拌溝と、を含み、

前記プローブは、前記第 1 攪拌溝と前記第 2 攪拌溝との境界が、前記界面に位置するように形成されることを特徴とする摩擦攪拌工具。

【請求項 2】

前記第 1 攪拌溝は、1 本以上の第 1 ねじ溝で構成され、

前記第 2 攪拌溝は、前記第 1 ねじ溝の回転方向と逆方向となる 1 本以上の第 2 ねじ溝で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 3】

前記第 1 ねじ溝によって形成される第 1 ねじ山の高さは、前記第 1 ショルダ部から前記境界に向かうにつれて高くなり、

前記第 2 ねじ溝によって形成される第 2 ねじ山の高さは、前記第 2 ショルダ部から前記境界に向かうにつれて高くなることを特徴とする請求項 2 に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 4】

前記第 1 ねじ溝は、前記第 1 ショルダ部と前記境界との間の所定の部位から、前記境界まで設けられ、

前記第 2 ねじ溝は、前記第 2 ショルダ部と前記境界との間の所定の部位から、前記境界まで設けられていることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 5】

前記第 1 ねじ溝及び前記第 2 ねじ溝には、平坦面が形成されていることを特徴とする請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 6】

前記第 1 ねじ溝と前記第 2 ねじ溝とは、前記第 2 回転ツールの回転軸の周方向において、異なる位相となるように形成されていることを特徴とする請求項 2 から 5 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 7】

前記第 1 ねじ溝の一部は、前記境界を超えて前記第 2 ねじ溝側に形成され、

前記第 2 ねじ溝の一部は、前記境界を超えて前記第 1 ねじ溝側に形成されていることを特徴とする請求項 2 または 6 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 8】

前記第 1 回転ツールの回転方向は、前記第 2 回転ツールの回転方向と逆方向となっていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 9】

一对の前記金属材のうち、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、

前記第 2 回転ツールの回転軸に直交する前記第 2 ショルダ部の直径は、前記第 1 回転ツールの回転軸に直交する前記第 1 ショルダ部の直径に比して大径となり、

一对の前記金属材のうち、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、

前記第 1 回転ツールの回転軸に直交する前記第 1 ショルダ部の直径は、前記第 2 回転ツールの回転軸に直交する前記第 2 ショルダ部の直径に比して大径となることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具と、

前記摩擦攪拌工具の前記第 1 回転ツールの前記第 1 ショルダ部を一方の前記金属材の一方側の面に押し当てた状態で、前記第 1 回転ツールを回転させる第 1 押圧回転機構と、

前記摩擦攪拌工具の前記第 2 回転ツールの前記第 2 ショルダ部を他方の前記金属材の他方側の面に押し当てた状態で、前記第 2 回転ツールを回転させる第 2 押圧回転機構と、

前記第 1 押圧回転機構及び前記第 2 押圧回転機構を制御する制御部と、を備えることを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

【請求項 11】

前記制御部は、

一对の前記金属材のうち、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第 2 回転ツールの回転速度が、前記第 1 回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御し、

一对の前記金属材のうち、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第 1 回転ツールの回転速度が、前記第 2 回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御することを特徴とする請求項 10 に記載の摩擦攪拌接合装置。

【請求項 12】

一方の金属材と他方の金属材とを積層することで界面が形成される一对の金属材に対し

、積層方向の一方側に配置される第 1 回転ツールと、一对の前記金属材料を挟んで前記第 1 回転ツールの反対側となる他方側に配置され、前記第 1 回転ツールに対向して設けられる第 2 回転ツールと、を有する摩擦攪拌工具と、

前記第 1 回転ツールを一方の前記金属材料の一方側の面に押し当てた状態で、前記第 1 回転ツールを回転させる第 1 押圧回転機構と、

前記第 2 回転ツールを他方の前記金属材料の他方側の面に押し当てた状態で、前記第 2 回転ツールを回転させる第 2 押圧回転機構と、

前記第 1 押圧回転機構及び前記第 2 押圧回転機構を制御する制御部と、を備え、

前記第 1 回転ツールは、

一方の前記金属材料の一方側の面と接する第 1 ショルダ部を有する第 1 ツール本体を、有し、

前記第 2 回転ツールは、

他方の前記金属材料の他方側の面と接する第 2 ショルダ部を有する第 2 ツール本体と、

前記第 2 ツール本体から前記第 1 回転ツールに向かって突出し、前記第 2 ツール本体と前記第 1 ツール本体との間に設けられ、前記第 1 ショルダ部と前記第 2 ショルダ部との間に挟まれた一对の前記金属材料を攪拌するプローブとを有し、

前記プローブは、

前記金属材料と接する接触面に形成され、攪拌した前記金属材料を前記界面を跨いで流動させる攪拌溝を含み、

前記制御部は、

一对の前記金属材料のうち、他方の前記金属材料の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材料の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第 2 回転ツールの回転速度が、前記第 1 回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御し、

一对の前記金属材料のうち、一方の前記金属材料の前記積層方向における厚さが、他方の前記金属材料の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第 1 回転ツールの回転速度が、前記第 2 回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御することを特徴とする摩擦攪拌接合装置。

【請求項 13】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の摩擦攪拌工具を用いて、一对の前記金属材料を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法であって、

積層された一对の前記金属材料に対し、前記第 1 回転ツール及び前記第 2 回転ツールを回転させることで、回転する前記第 1 ショルダ部により一方の前記金属材料の一方側の面から摩擦による入熱を行うと共に、回転する前記第 2 ショルダ部により他方の前記金属材料の他方側の面から摩擦による入熱を行い、回転する前記プローブの前記第 1 攪拌溝により攪拌した前記金属材料を、前記第 1 ショルダ部側から前記界面に向かって流動させ、回転する前記プローブの前記第 2 攪拌溝により攪拌した前記金属材料を、前記第 2 ショルダ部側から前記界面に向かって流動させることを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】摩擦攪拌工具、摩擦攪拌接合装置及び摩擦攪拌接合方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、摩擦攪拌接合に用いられる摩擦攪拌工具、摩擦攪拌接合装置及び摩擦攪拌接合方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、ボビンツール式の摩擦攪拌接合用工具が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。この摩擦攪拌接合用工具は、上部回転体と、下部回転体と、上部回転体と下部回転体との間で回転する攪拌軸とを有しており、攪拌軸の外周面には、攪拌溝が形成されている。摩擦攪拌接合用工具は、重ね合わせた一对のプレートを上部回転体と下部回転体とで挟み込み、上部回転体、下部回転体及び攪拌軸を回転させることで、攪拌溝により軸方向にプレートの材料を流動させ、一对のプレートを接合する。

【0003】

また、ボビンツール式の摩擦攪拌接合用工具ではないが、表側のワークに接する円筒体と、表側のワーク及び裏側のワークに挿入されるプローブとを有する摩擦攪拌接合用工具が知られている（例えば、特許文献 2 参照）。この摩擦攪拌接合用工具において、プローブには、先端部の右ねじである第 1 ねじ部と、後端部の左ねじである第 2 ねじ部とが設けられている。第 1 ねじ部は、裏側のワークに配置され、第 2 ねじ部は、表側のワークに配置される。摩擦攪拌接合用工具は、プローブを回転させることで、第 1 ねじ部により裏側のワークを表側に巻き上げ、第 2 ねじ部により表側のワークを裏側へ押し下げる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2007-307579 号公報

【特許文献 2】特開 2005-205423 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 に記載の摩擦攪拌接合用工具では、摩擦攪拌時において、攪拌溝により軸方向にプレートの材料を流動させることができる。しかしながら、重ね合わせた一对のプレートの界面における攪拌が考慮されていないことから、界面における攪拌を好適に行うことができず、界面における接合の強度が低下する可能性がある。

【0006】

また、特許文献 2 に記載の摩擦攪拌接合用工具では、円筒体が回転することにより表側のワークに入熱が行われるが、裏側のワークに入熱が行われず、入熱が不均一となる。その結果として、表側の温度が高く、裏側の温度が低くなる。このため、第 1 ねじ部により裏側のワークを表側に巻き上げ、第 2 ねじ部により表側のワークを裏側へ押し下げるものの、温度分布が不均一であることから、ワークの流動が均一とならず、つまり、温度の低い先端側（裏側）のワークよりも、温度の高い後端側（表側）のワークが流動し易いため、界面における攪拌を好適に行うことができず、界面の巻き上がり等が発生することもあり、界面における接合の強度が低下する可能性がある。

【0007】

そこで、本発明は、積層した一对の金属材の界面における接合を強固なものとすることができる摩擦攪拌工具、摩擦攪拌接合装置及び摩擦攪拌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】

【0008】

本発明の摩擦攪拌工具は、一方の金属材と他方の金属材とを積層することで界面が形成される一对の金属材に対し、積層方向の一方側に配置される第 1 回転ツールと、一对の前記金属材を挟んで前記第 1 回転ツールの反対側となる他方側に配置され、前記第 1 回転ツールに対向して設けられる第 2 回転ツールと、を備え、前記第 1 回転ツールは、一对の前記金属材の一方側の面と接する第 1 ショルダ部を有する第 1 ツール本体を、有し、前記第 2 回転ツールは、一对の前記金属材の他方側の面と接する第 2 ショルダ部を有する第 2 ツール本体と、前記第 2 ツール本体から前記第 1 回転ツールに向かって突出し、前記第 2 ツール本体と前記第 1 ツール本体との間に設けられ、前記第 1 ショルダ部と前記第 2 ショルダ部との間に挟まれた一对の前記金属材を攪拌するプローブとを有し、前記プローブは、

前記積層方向の一方側の前記金属材と接する接触面に形成され、攪拌した前記金属材を前記界面に向かって流動させる第1攪拌溝と、前記積層方向の他方側の前記接触面に形成され、攪拌した前記金属材を前記界面に向かって流動させる第2攪拌溝と、を含み、前記プローブは、前記第1攪拌溝と前記第2攪拌溝との境界が、前記界面に位置するように形成されることを特徴とする。

【0009】

この構成によれば、第1回転ツール及び第2回転ツールを回転させることで、第1ショルダ部及び第2ショルダ部によって一对の金属材の両側に入熱を行いながら、入熱（摩擦熱）により軟化した金属材をプローブにより攪拌することができる。このため、一对の金属材の両側から入熱を加えることで、第1回転ツール側の金属材と第2回転ツール側の金属材との温度をほぼ同じにすることができる。このとき、回転するプローブの第1攪拌溝により攪拌した金属材を、第1ショルダ部側から界面に向かって流動させることができ、また、回転するプローブの第2攪拌溝により攪拌した金属材を、第2ショルダ部側から界面に向かって流動させることができる。これにより、第1攪拌溝及び第2攪拌溝によって流動する金属材は、ほぼ同じような流動性を有し、界面を跨いでバランスよく流動するため、界面における巻き上げを防止しつつ、接合強度を強固にすることができ、界面破断等の接合不良を抑制することができる。

【0010】

また、前記第1攪拌溝は、1本以上の第1ねじ溝で構成され、前記第2攪拌溝は、前記第1ねじ溝の回転方向と逆方向となる1本以上の第2ねじ溝で構成されていることが好ましい。

【0011】

この構成によれば、プローブに第1ねじ溝を形成することで、簡易に第1攪拌溝を構成することができ、また、プローブに第2ねじ溝を形成することで、簡易に第2攪拌溝を構成することができる。このとき、第1ねじ溝及び第2ねじ溝を、複数本とすることで、攪拌による金属材の流動を促進することができる。

【0012】

また、前記第1ねじ溝によって形成される第1ねじ山の高さは、前記第1ショルダ部から前記境界に向かうにつれて高くなり、前記第2ねじ溝によって形成される第2ねじ山の高さは、前記第2ショルダ部から前記境界に向かうにつれて高くなることが好ましい。

【0013】

この構成によれば、第1ショルダ部側から界面へ向かう金属材の流動量を減少させることができ、また、第2ショルダ部側から界面へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。ここで、攪拌域中央部（界面付近）での金属材の流動量が多すぎると、攪拌域がその部分で幅方向に過度に広がってしまう。この場合、攪拌域が広がった部分には、第1及び第2ショルダ部からの圧力が十分に付与されず、接合不良部が形成されることがある。このため、金属材の流動量を減少させることにより、界面への金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、攪拌域の中央部に接合不良部を形成することなく、界面において金属材を好適に攪拌することができる。

【0014】

また、前記第1ねじ溝は、前記第1ショルダ部と前記境界との間の所定の部位から、前記境界まで設けられ、前記第2ねじ溝は、前記第2ショルダ部と前記境界との間の所定の部位から、前記境界まで設けられていることが好ましい。

【0015】

この構成によれば、第1ショルダ部から第1ショルダ部と境界との間の所定の部位までの間に、第1ねじ溝が形成されないため、第1ショルダ部側から界面へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。また、第2ショルダ部から第2ショルダ部と境界との間の所定の部位までの間に、第2ねじ溝が形成されないため、第2ショルダ部側から界面へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。このため、界面への金属材の過剰な流

動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、攪拌域の中央部に接合不良部を形成することなく、界面において金属材を好適に攪拌することができる。

【0016】

また、前記第1ねじ溝及び前記第2ねじ溝には、平坦面が形成されていることが好ましい。より好ましくは、複数の平坦面が形成されていることが好ましい。複数の平坦面はプローブの回転軸に対し対称性を有するように配置されていることが好ましい。

【0017】

この構成によれば、第1ねじ溝及び第2ねじ溝に平坦面を形成することで、第1及び第2ショルダ部側から界面へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。このため、界面への金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、攪拌域の中央部に接合不良部を形成することなく、界面において金属材を好適に攪拌することができる。

【0018】

また、前記第1ねじ溝と前記第2ねじ溝とは、前記第2回転ツールの回転軸の周方向において、異なる位相となるように形成されることが好ましい。より好ましくは、前記第1ねじ溝と前記第2ねじ溝とは、二つのねじ溝の対称性を維持した状態で異なる位相となるように形成されることが好ましい。

【0019】

この構成によれば、例えば、第1ねじ溝と第2ねじ溝とが1本のねじ溝で構成される場合、180°位相を異ならせることで、180°位相が異なる位置において、金属材の流動を発生させることができ、界面における金属材の攪拌性を向上させることができる。なお、第1ねじ溝と第2ねじ溝とが2本のねじ溝で構成される場合、90°位相を異ならせればよい。なお、第1ねじ溝と第2ねじ溝とを、プローブの回転軸に対し対称性を維持した状態で異なる位相となるように形成することで、プローブの回転バランスをとることができる。

【0020】

また、前記第1ねじ溝の一部は、前記境界を超えて前記第2ねじ溝側に形成され、前記第2ねじ溝の一部は、前記境界を超えて前記第1ねじ溝側に形成されていることが好ましい。

【0021】

この構成によれば、界面を跨いで金属材を流動させやすくすることができるため、界面における金属材の攪拌性を向上させることができる。

【0022】

また、前記第1回転ツールの回転方向は、前記第2回転ツールの回転方向と逆方向となっていることが好ましい。

【0023】

この構成によれば、第1ショルダ部の回転によって形成される金属材の流動と、第2ショルダ部の回転によって形成される金属材の流動とによって、界面において流動する金属材に対しせん断力を発生させることができる。このため、界面における金属材の攪拌性を向上させることができる。さらには、接合を阻害する酸化被膜等の界面の被膜を破壊することができる。

【0024】

また、一方の前記金属材のうち、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第2回転ツールの回転軸に直交する前記第2ショルダ部の直径は、前記第1回転ツールの回転軸に直交する前記第1ショルダ部の直径に比して大径となり、一方の前記金属材のうち、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第1回転ツールの回転軸に直交する前記第1ショルダ部の直径は、前記第2回転ツールの回転軸に直交する前記第2ショルダ部の直径に比して大径とな

ることが好ましい。

【0025】

この構成によれば、厚さが厚い金属材に接するショルダ部の直径を大きくすることができ、厚さが厚い金属材に対する入熱量を多くすることができ、二つの金属材の界面付近の温度分布をそろえることができる。このため、界面近傍における二つのショルダ部から中央に集まる金属材の流動性を同じ状態にすることが可能であり、界面を跨いで金属材を、バランスを取りながら流動させることができる。

【0026】

本発明の摩擦攪拌接合装置は、上記の摩擦攪拌工具と、前記摩擦攪拌工具の前記第1回転ツールの前記第1ショルダ部を一方の前記金属材の一方側の面に押し当てた状態で、前記第1回転ツールを回転させる第1押圧回転機構と、前記摩擦攪拌工具の前記第2回転ツールの前記第2ショルダ部を他方の前記金属材の他方側の面に押し当てた状態で、前記第2回転ツールを回転させる第2押圧回転機構と、前記第1押圧回転機構及び前記第2押圧回転機構を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。

【0027】

この構成によれば、上記の摩擦攪拌工具を用いることで、積層した一对の金属材の界面における接合を強固なものとすることができる。

【0028】

また、前記制御部は、一对の前記金属材のうち、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第2回転ツールの回転速度が、前記第1回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御し、一对の前記金属材のうち、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第1回転ツールの回転速度が、前記第2回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御することが好ましい。

【0029】

この構成によれば、制御部は、厚さが厚い金属材に接するショルダ部の回転速度を速くすることができるため、厚さが厚い金属材に対する入熱量を多くすることができ、二つの金属材の界面付近の温度分布をそろえることができる。このため、界面近傍における二つのショルダ部から中央に集まる金属材の流動性を同じ状態にすることが可能であり、界面を跨いで金属材を、バランスを取りながら流動させることができる。

【0030】

本発明の他の摩擦攪拌接合装置は、一方の金属材と他方の金属材とを積層することで界面が形成される一对の金属材に対し、積層方向の一方側に配置される第1回転ツールと、一对の前記金属材を挟んで前記第1回転ツールの反対側となる他方側に配置され、前記第1回転ツールに対向して設けられる第2回転ツールと、を有する摩擦攪拌工具と、前記第1回転ツールを一方の前記金属材の一方側の面に押し当てた状態で、前記第1回転ツールを回転させる第1押圧回転機構と、前記第2回転ツールを他方の前記金属材の他方側の面に押し当てた状態で、前記第2回転ツールを回転させる第2押圧回転機構と、前記第1押圧回転機構及び前記第2押圧回転機構を制御する制御部と、を備え、前記第1回転ツールは、一方の前記金属材の一方側の面と接する第1ショルダ部を有する第1ツール本体を、有し、前記第2回転ツールは、他方の前記金属材の他方側の面と接する第2ショルダ部を有する第2ツール本体と、前記第2ツール本体から前記第1回転ツールに向かって突出し、前記第2ツール本体と前記第1ツール本体との間に設けられ、前記第1ショルダ部と前記第2ショルダ部との間に挟まれた一对の前記金属材を攪拌するプローブとを有し、前記プローブは、前記金属材と接する接触面に形成され、攪拌した前記金属材を前記界面を跨いで流動させる攪拌溝を含み、前記制御部は、一对の前記金属材のうち、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さが、一方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第2回転ツールの回転速度が、前記第1回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御し、一对の前記金属材のうち、一方の前記金属材の前記積層方向

における厚さが、他方の前記金属材の前記積層方向における厚さに比して厚くなる場合、前記第 1 回転ツールの回転速度が、前記第 2 回転ツールの回転速度に比して速くなるように制御することを特徴とする。

【0031】

この構成によれば、制御部は、厚さが厚い金属材に接するショルダ部の回転速度を速くすることができるため、厚さが厚い金属材に対する入熱量を多くすることができ、二つの金属材の界面付近の温度分布をそろえることができる。このため、界面近傍における二つのショルダ部から中央に集まる金属材の流動性を同じ状態にすることが可能であり、界面を跨いで金属材を、バランスを取りながら流動させることができる。

【0032】

本発明の摩擦攪拌接合方法は、上記の摩擦攪拌工具を用いて、一对の前記金属材を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌接合方法であって、積層された一对の前記金属材に対し、前記第 1 回転ツール及び前記第 2 回転ツールを回転させることで、回転する前記第 1 ショルダ部により一方の前記金属材の一方側の面から摩擦による入熱を行うと共に、回転する前記第 2 ショルダ部により他方の前記金属材の他方側の面から摩擦による入熱を行い、回転する前記プローブの前記第 1 攪拌溝により攪拌した前記金属材を、前記第 1 ショルダ部側から前記界面に向かって流動させ、回転する前記プローブの前記第 2 攪拌溝により攪拌した前記金属材を、前記第 2 ショルダ部側から前記界面に向かって流動させることを特徴とする。

【0033】

この構成によれば、第 1 回転ツール及び第 2 回転ツールを回転させることで、第 1 ショルダ部及び第 2 ショルダ部によって一对の金属材の両側に入熱を行いながら、入熱により軟化した金属材をプローブにより攪拌することができる。このとき、回転するプローブの第 1 攪拌溝により攪拌した金属材を、第 1 ショルダ部側から界面に向かって流動させることができ、また、回転するプローブの第 2 攪拌溝により攪拌した金属材を、第 2 ショルダ部側から界面に向かって流動させることができる。これにより、第 1 攪拌溝及び第 2 攪拌溝によって流動する金属材は、界面を跨いで流動するため、界面における接合強度を強固にすることができ、界面破断等の接合不良を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図 1】図 1 は、実施例 1 に係る摩擦攪拌接合装置を模式的に表した概略構成図である。

【図 2】図 2 は、第 1 ショルダ部の形状の一例を示す平面図である。

【図 3】図 3 は、第 1 ショルダ部の形状の一例を示す平面図である。

【図 4】図 4 は、第 1 ショルダ部の形状の一例を示す平面図である。

【図 5 A】図 5 A は、実施例 2 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 5 B】図 5 B は、実施例 2 の変形例 1 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 5 C】図 5 C は、実施例 2 の変形例 2 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 6 A】図 6 A は、実施例 3 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 6 B】図 6 B は、摩擦攪拌工具のプローブを軸方向に直交する面で切った一例の断面図である。

【図 6 C】図 6 C は、摩擦攪拌工具のプローブを軸方向に直交する面で切った一例の断面図である。

【図 7】図 7 は、実施例 4 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 8】図 8 は、実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 9】図 9 は、比較例 1 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略

構成図である。

【図 10】図 10 は、比較例 2 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 11】図 11 は、接合材の界面における強度を比較した表である。

【図 12】図 12 は、実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 13】図 13 は、実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 14】図 14 は、実施例 8 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【図 15】図 15 は、実施例 9 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下に、本発明に係る実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施例における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。

【実施例 1】

【0036】

図 1 は、実施例 1 に係る摩擦攪拌接合装置を模式的に表した概略構成図である。図 2 から図 4 は、第 1 ショルダ部の形状の一例を示す平面図である。

【0037】

実施例 1 の摩擦攪拌接合装置 1 は、重ね合わせた一对の金属板 5 の表裏に配置される一对の回転ツール 21, 22 を用いて摩擦攪拌することにより、重ね合わせた一对の金属板 5 を接合する、いわゆる摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) を行う装置である。まず、図 1 及び図 4 を参照し、接合対象となる一对の金属板 5 について説明する。

【0038】

金属板 5 は、例えば、アルミニウム合金を用いて構成されている。図 1 に示すように、一对の金属板 5 は、積層方向に重ね合わせられることで、一对の金属板 5 の重ね合わせ面となる界面 6 が形成される。また、一对の金属板 5 は、一方の金属板 5 の厚さと、他方の金属板 5 の厚さとが略同じ厚さとなっている。なお、摩擦攪拌接合により接合された一对の金属板 5 は、接合材として取り扱われる。

【0039】

次に、図 1 を参照して、摩擦攪拌接合装置 1 について説明する。図 1 に示す摩擦攪拌接合装置 1 は、一对の金属板 5 の積層方向の両側から摩擦攪拌接合を行っている。摩擦攪拌接合装置 1 は、摩擦攪拌工具 10 と、第 1 押圧回転機構 11 と、第 2 押圧回転機構 12 と、制御部 20 とを備えている。なお、摩擦攪拌接合装置 1 は、一对の金属板 5 の位置を固定した状態で、摩擦攪拌工具 10 を移動させながら、摩擦攪拌接合を行ってもよいし、摩擦攪拌工具 10 の位置を固定した状態で、一对の金属板 5 を移動させながら、摩擦攪拌接合を行ってもよい。

【0040】

摩擦攪拌工具 10 は、いわゆるポピンツールと呼ばれる工具であり、第 1 回転ツール 21 と第 2 回転ツール 22 とを有している。第 1 回転ツール 21 は、一对の金属板 5 を挟んで、積層方向の一方側（表面側：図 1 の上側）に配置されている。第 1 回転ツール 21 は、第 1 回転軸 I1 を中心に回転すると共に、一方側の金属板 5 の表面に押圧される。第 2 回転ツール 22 は、一对の金属板 5 を挟んで、積層方向の他方側（裏面側：図 1 の下側）に配置されている。第 2 回転ツール 22 は、第 2 回転軸 I2 を中心に回転すると共に、他方側の金属板 5 の裏面に押圧される。そして、第 1 回転ツール 21 と第 2 回転ツール 22 とは、積層方向において対向するように配置され、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 の回転方向は、相互に逆方向となっている。また、第 1 回転ツール 21 の第 1 回転

軸 I 1 と第 2 回転ツール 2 2 の第 2 回転軸 I 2 とは、同軸となっている。このため、第 1 回転軸 I 1 及び第 2 回転軸 I 2 は、一方の金属板 5 の表面及び他方の金属板 5 の裏面に対して、それぞれ直交している。

【0041】

なお、実施例 1 では、第 1 回転ツール 2 1 及び第 2 回転ツール 2 2 の回転方向が、相互に逆方向となるようにしたが、この構成に限定されない。第 1 回転ツール 2 1 及び第 2 回転ツール 2 2 は、摩擦攪拌接合に適していれば、相互に同じ回転方向であってもよく、また、いずれの回転速度であってもよい。

【0042】

第 1 回転ツール 2 1 は、第 1 ツール本体 3 1 を有している。第 1 ツール本体 3 1 は、一方の金属板 5 の表面に接触可能に設けられている。この第 1 ツール本体 3 1 は、第 2 回転ツール 2 2 の後述するシャフト 4 3 が挿通されるシャフト挿通穴 3 3 が形成されている。シャフト挿通穴 3 3 は、第 1 回転軸 I 1 と同軸上に形成され、中空円柱状に形成されている。また、第 1 ツール本体 3 1 は、第 2 回転ツール 2 2 側となる先端側に、第 1 ショルダ部 3 5 が形成されている。第 1 ショルダ部 3 5 は、その先端側の面が、一方側の金属板 5 の表面と接する円環状の第 1 ショルダ面 3 5 a となっている。第 1 回転ツール 2 1 は、第 1 ショルダ部 3 5 の第 1 ショルダ面 3 5 a を一方の金属板 5 の表面に接触させた状態で回転することで、一方の金属板 5 に対して摩擦による熱を与える。

【0043】

ここで、第 1 ショルダ部 3 5 は、図 2 から図 4 に示す形状となっており、実施例 1 では、いずれの形状であってもよい。第 1 ショルダ部 3 5 は、第 1 ショルダ面 3 5 a から第 1 ツール本体 3 1 側に溝形状の凹部 3 6 が形成されている。この凹部 3 6 は、第 1 ショルダ部 3 5 と一方の金属板 5 とを擦ることで軟化した金属材が、第 1 ショルダ部 3 5 の中心側へ向かうような形状となっている。

【0044】

具体的に、図 2 に示す凹部 3 6 は、1 本で構成されており、1 本の凹部 3 6 は、第 1 ショルダ面 3 5 a において、外側から内側に向かう渦巻状（スクロール形状）に配置されている。図 3 に示す凹部 3 6 は、2 本で構成されており、2 本の凹部 3 6 は、第 1 ショルダ面 3 5 a において、180°位相が異なる位置に設けられ、外側から内側に向かう渦巻状に配置されている。図 4 に示す凹部 3 6 は、複数本で構成されており、複数本の凹部 3 6 は、第 1 ショルダ面 3 5 a の周方向に所定の間隔を空けて設けられると共に、外側から内側に向かって直線状に配置されている。

【0045】

再び、図 1 を参照し、第 2 回転ツール 2 2 は、第 2 ツール本体 4 1 と、プローブ 4 2 と、シャフト 4 3 と、を有している。第 2 ツール本体 4 1 は、他方の金属板 5 の裏面に接触可能に設けられている。第 2 ツール本体 4 1 は、第 1 回転ツール 2 1 側となる先端側に、第 2 ショルダ部 4 5 が形成されている。第 2 ショルダ部 4 5 は、第 1 ショルダ部 3 5 と同様に構成されており、その先端側の面が、他方側の金属板 5 の裏面と接する円環状の第 2 ショルダ面 4 5 a となっている。第 2 回転ツール 2 2 は、第 2 ショルダ部 4 5 の第 2 ショルダ面 4 5 a を他方の金属板 5 の裏面に接触させた状態で回転することで、他方の金属板 5 に対して摩擦による熱を与える。

【0046】

なお、第 2 ショルダ部 4 5 は、第 1 ショルダ部 3 5 と同様の凹部 3 6 が設けられており、凹部 3 6 については、第 1 ショルダ部 3 5 と同様であるため、説明を省略する。

【0047】

このため、一对の金属板 5 は、第 1 ショルダ部 3 5 と第 2 ショルダ部 4 5 との間に挟み込まれ、この状態で、第 1 回転ツール 2 1 及び第 2 回転ツール 2 2 が回転することで、一对の金属板 5 の表裏両側から入熱が与えられる。

【0048】

プローブ 4 2 は、第 2 ツール本体 4 1 の第 2 ショルダ面 4 5 a の中心から第 1 回転ツール

ル 2 1 側に突出して設けられている。プロープ 4 2 は、第 2 回転軸 I 2 と同軸上に設けられ、円柱状に形成されている。このプロープ 4 2 は、第 1 ツール本体 3 1 の第 1 ショルダ部 3 5 と第 2 ツール本体 4 1 の第 2 ショルダ部 4 5 との間に設けられることから、第 1 ショルダ部 3 5 と第 2 ショルダ部 4 5 との間に挟み込まれた一对の金属板 5 の内部に位置することとなる。このプロープ 4 2 は、第 2 ツール本体 4 1 と一体となって回転するように、第 2 ツール本体 4 1 に固定されている。また、プロープ 4 2 の外周面には、軟化した金属材を攪拌するための攪拌溝 4 4 が形成されている。

【0049】

シャフト 4 3 は、プロープ 4 2 の第 1 ショルダ部 3 5 側から第 1 回転ツール 2 1 側に延びて設けられている。シャフト 4 3 は、第 1 回転ツール 2 1 のシャフト挿通穴 3 3 に挿通される。このシャフト 4 3 は、第 2 回転軸 I 2 と同軸上に設けられ、円柱状に形成されている。

【0050】

ここで、図 1 を参照して、プロープ 4 2 の外周面に形成される攪拌溝 4 4 について説明する。攪拌溝 4 4 は、積層方向の一方側（表側）に形成される第 1 ねじ溝 5 1 と、積層方向の他方側（裏側）に形成される第 2 ねじ溝 5 2 とを有している。

【0051】

第 1 ねじ溝 5 1 は、攪拌した金属材を第 1 ショルダ部 3 5 側から界面 6 に向かって流動させる溝となっている。第 1 ねじ溝 5 1 は、一本のねじ溝で構成されていてもよいし、複数本のねじ溝で構成されていてもよい。第 1 ねじ溝 5 1 によって形成される第 1 ねじ山 5 4 は、その突出方向（径方向外側）の高さが、第 2 回転軸 I 2 に沿って同じ高さとなっている。

【0052】

第 2 ねじ溝 5 2 は、攪拌した金属材を第 2 ショルダ部 4 5 側から界面 6 に向かって流動させる溝となっており、第 1 ねじ溝 5 1 の回転方向と逆方向となっている。第 2 ねじ溝 5 2 は、第 1 ねじ溝 5 1 と同様に、一本のねじ溝で構成されていてもよいし、複数本のねじ溝で構成されていてもよい。第 2 ねじ溝 5 2 によって形成される第 2 ねじ山 5 5 は、その突出方向（径方向外側）の高さが、第 2 回転軸 I 2 に沿って同じ高さとなっている。

【0053】

ここで、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 1 ねじ溝 5 1 と第 2 ねじ溝 5 2 との境界 5 3 は、一对の金属板 5 の界面 6 とほぼ同じ位置となるように、プロープ 4 2 が形成されている。このため、回転するプロープ 4 2 は、第 1 ねじ溝 5 1 により攪拌された金属材を、一方の金属板 5 側から界面 6 を跨いで他方の金属板 5 側に流動させる。また、回転するプロープ 4 2 は、第 2 ねじ溝 5 2 により攪拌された金属材を、他方の金属板 5 側から界面 6 を跨いで一方の金属板 5 側に流動させる。

【0054】

また、第 1 ねじ溝 5 1 と第 2 ねじ溝 5 2 とは、第 2 回転ツール 2 2 の第 2 回転軸 I 2 の周方向において、同じ位相となるように形成されている。なお、実施例 1 では、第 1 ねじ溝 5 1 と第 2 ねじ溝 5 2 とを、第 2 回転軸 I 2 の周方向において同じ位相としたが、この構成に限定されない。例えば、第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 が 1 本のねじ溝で構成される場合には、 180° 位相が異なる位置に形成してもよい。また、例えば、第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 が 2 本のねじ溝で構成される場合には、 90° 位相が異なる位置に形成してもよい。このとき、第 1 ねじ溝 5 1 と第 2 ねじ溝 5 2 とは、二つのねじ溝の対称性を維持した状態で異なる位相となるように形成されることが好ましい。

【0055】

次に、図 1 を参照して、第 1 押圧回転機構 1 1 及び第 2 押圧回転機構 1 2 について説明する。第 1 押圧回転機構 1 1 は、第 1 回転ツール 2 1 の第 1 ツール本体 3 1 に連結されており、制御部 2 0 によって制御されている。第 1 押圧回転機構 1 1 は、第 1 回転ツール 2 1 の第 1 ツール本体 3 1 を一方の金属板 5 へ向けて移動させると共に、第 1 回転ツール 2 1 を回転させる。このため、第 1 押圧回転機構 1 1 は、第 1 回転ツール 2 1 の第 1 ショル

ダ部 35 の第 1 ショルダ面 35 a を、一方の金属板 5 の表面に押し当てた状態で、第 1 回転ツール 21 を回転させる。

【0056】

第 2 押圧回転機構 12 は、第 2 回転ツール 22 のシャフト 43 に連結されており、制御部 20 によって制御されている。第 2 押圧回転機構 12 は、第 2 回転ツール 22 の第 2 ツール本体 41 を他方の金属板 5 へ向けて移動させると共に、第 2 回転ツール 22 を回転させる。このため、第 2 押圧回転機構 12 は、第 2 回転ツール 22 の第 2 ショルダ部 45 の第 2 ショルダ面 45 a を、他方の金属板 5 の裏面に押し当てた状態で、第 2 回転ツール 22 を回転させる。

【0057】

制御部 20 は、第 1 押圧回転機構 11 及び第 2 押圧回転機構 12 が接続され、これらをそれぞれ制御する。具体的に、制御部 20 は、第 1 押圧回転機構 11 及び第 2 押圧回転機構 12 を制御して、第 1 回転ツール 21 と第 2 回転ツール 22 との間に挟まれる一対の金属板 5 に対する荷重が所定の荷重となるように、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 を一対の金属板 5 へ向けて移動させる。また、制御部 20 は、第 1 押圧回転機構 11 及び第 2 押圧回転機構 12 を制御して、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 の回転方向が相互に逆方向となるように、また、所定の回転速度となるように、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 を回転制御する。

【0058】

次に、図 1 を参照して、上記の摩擦攪拌接合装置 1 を用いた摩擦攪拌接合方法について説明する。摩擦攪拌接合を行う場合、制御部 20 は、第 1 押圧回転機構 11 及び第 2 押圧回転機構 12 を制御して、一対の金属板 5 を、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 により挟み込み、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 を回転させる。この後、制御部 20 は、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 から一対の金属板 5 に対して与えられる荷重が所定の荷重となるように、第 1 押圧回転機構 11 及び第 2 押圧回転機構 12 を制御する。そして、制御部 20 は、接合開始点から接合終了点まで、一対の金属材 5 または第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 を移動させて、摩擦攪拌接合を行う。これにより、上記の摩擦攪拌接合装置 1 を用いて摩擦攪拌接合が行われた一対の金属材 5 は、界面 6 において接合された接合材とすることができる。

【0059】

以上のように、実施例 1 の構成によれば、第 1 回転ツール 21 及び第 2 回転ツール 22 を回転させることで、第 1 ショルダ部 35 及び第 2 ショルダ部 45 によって一対の金属板 5 の表裏両側に入熱を行いながら、入熱（摩擦熱）により軟化した金属材をプローブ 42 により攪拌することができる。このとき、回転するプローブ 42 の第 1 ねじ溝 51 により攪拌した金属材を、第 1 ショルダ部 35 側から界面 6 に向かって流動させることができ、また、回転するプローブ 42 の第 2 ねじ溝 52 により攪拌した金属材を、第 2 ショルダ部 45 側から界面 6 に向かって流動させることができる。これにより、第 1 ねじ溝 51 及び第 2 ねじ溝 52 によって流動する金属材は、界面 6 を跨いで流動するため、界面 6 における接合強度を強固にすることができ、界面破断等の接合不良を抑制することができる。

【0060】

また、実施例 1 の構成によれば、プローブ 42 の一方側に第 1 ねじ溝 51 を形成し、プローブ 42 の他方側に第 2 ねじ溝 52 を形成することで、簡易に攪拌溝 44 を構成することができる。なお、第 1 ねじ溝 51 及び第 2 ねじ溝 52 を、複数本とすることで、攪拌による金属材の流動を促進することができる。

【0061】

なお、上記したように、第 1 ねじ溝 51 と第 2 ねじ溝 52 とが 1 本のねじ溝で構成される場合、180°位相を異ならせることで、180°位相が異なる位置において、金属材の流動を発生させることができるため、界面 6 における金属材の攪拌性を向上させることができる。なお、第 1 ねじ溝 51 と第 2 ねじ溝 52 とが 2 本のねじ溝で構成される場合、90°位相を異ならせれば、上記と同様に、界面 6 における金属材の攪拌性を向上させる

ことができる。このとき、第1ねじ溝51と第2ねじ溝52とを、プローブ42の第2回転軸12に対し対称性を維持した状態で異なる位相となるように形成することで、プローブ42の回転バランスをとることができる。

【0062】

また、実施例1の構成によれば、第1回転ツール21の回転方向を、第2回転ツール22の回転方向と逆方向にすることができる。このため、第1ショルダ部35の回転によって形成される金属材の流動と、第2ショルダ部45の回転によって形成される金属材の流動とによって、界面6において流動する金属材に対しせん断力を発生させることができる。このため、界面6における金属材の攪拌性を向上させることができる。さらには、接合を阻害する酸化被膜等の界面6の被膜を破壊することができる。

【実施例2】

【0063】

次に、図5Aを参照して、実施例2に係る摩擦攪拌接合装置100について説明する。図5Aは、実施例2に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例2では、重複した記載を避けるべく、実施例1と異なる部分について説明すると共に、実施例1と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例2に係る摩擦攪拌接合装置100は、摩擦攪拌工具10のプローブ42に形成される第1ねじ溝51及び第2ねじ溝52の形状が、実施例1の形状と異なっている。以下、実施例2に係る摩擦攪拌接合装置100について説明する。

【0064】

図5Aに示すように、実施例2に係る摩擦攪拌接合装置100において、摩擦攪拌工具10の第2回転ツール22のプローブ42は、第1ねじ溝51の第1ねじ山54及び第2ねじ溝52の第2ねじ山55が、境界53に向かって高くなっている。つまり、第1ねじ山54の突出方向（径方向の外側に突出する方向）における高さは、第2回転軸12の軸方向に沿って、第1ショルダ部35から境界53に向かうにつれて高くなるテーパ形状となっている。また、第2ねじ山55の突出方向における高さは、第2ショルダ部45から境界53に向かうにつれて高くなるテーパ形状となっている。

【0065】

具体的に、テーパ形状となる第1ねじ山54は、実施例1に示す形状、すなわち、第2回転軸12の軸方向に沿って同じ高さとなる第1ねじ山54に対し、テーパ加工を行って第1ねじ山54の頂部を切り欠くことで、実施例2に示す形状とする。第2ねじ山55も、第1ねじ山54と同様に加工する。

【0066】

以上のように、実施例2の構成によれば、第1ショルダ部35側の第1ねじ山54を低くし、境界53側の第1ねじ山54を高くすることができる。このため、回転するプローブ42に形成される第1ねじ溝51は、第1ショルダ部35側から界面6へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。また、第2ショルダ部45側の第2ねじ山55を低くし、境界53側の第2ねじ山55を高くすることができる。このため、回転するプローブ42に形成される第2ねじ溝52は、第2ショルダ部45側から界面6へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。このため、界面6への金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、金属材が接合不良部を形成することなく、界面6において金属材を好適に攪拌することができる。

【0067】

なお、実施例2では、第2回転軸12の軸方向に沿って同じ高さとなる第1ねじ山54に対し、第1ねじ山54の頂部を切り欠くテーパ加工を行うことで、テーパ形状となる第1ねじ山54を形成した。しかしながら、このテーパ加工に限定されず、第1ねじ山54及び第2ねじ山55は、第1ねじ溝51及び第2ねじ溝52の加工時において、境界53に向かって第1ねじ山54及び第2ねじ山55が高くなるように形成してもよく、例えば、図5Bに示す変形例1、または図5Cに示す変形例2の構成としてもよい。変形例1では、第2回転ツール22の加工前のプローブ42の直径が、境界53に向かって大きくな

るテーパ形状となっており、この加工前のテーパ形状のプロープ４２に対し、同じ高さのねじ山５３，５４となるように第１ねじ溝５１及び第２ねじ溝５２を形成することで、第１ねじ山５４及び第２ねじ山５５が境界５３に向かって高くなるように形成している。また、変形例２では、第２回転ツール２２の加工前のプロープ４２の直径が、軸方向において同じ径となる円柱形状となり、この加工前の円柱形状のプロープ４２に対し、境界５３に向かって溝が深くなるように第１ねじ溝５１及び第２ねじ溝５２を形成することで、第１ねじ山５４及び第２ねじ山５５が境界５３に向かって高くなるように形成している。

【実施例３】

【００６８】

次に、図６Ａから図６Ｃを参照して、実施例３に係る摩擦攪拌接合装置１１０について説明する。図６Ａは、実施例３に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。図６Ｂは、摩擦攪拌工具のプロープを軸方向に直交する面で切った一例の断面図である。図６Ｃは、摩擦攪拌工具のプロープを軸方向に直交する面で切った一例の断面図である。なお、実施例３でも、重複した記載を避けるべく、実施例１及び２と異なる部分について説明すると共に、実施例１及び２と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例３に係る摩擦攪拌接合装置１１０は、実施例１の第１ねじ溝５１及び第２ねじ溝５２に対し、平坦面が形成される構成となっている。以下、実施例３に係る摩擦攪拌接合装置１１０について説明する。

【００６９】

図６Ａに示すように、実施例３に係る摩擦攪拌接合装置１１０において、摩擦攪拌工具１１０の第２回転ツール２２のプロープ４２に形成される第１ねじ溝５１及び第２ねじ溝５２には、平坦面１１１が形成されている。この平坦面１１１は、第２回転軸Ｉ２の軸方向に沿って接線方向に切った面となっている。平坦面１１１は、プロープ４２の周方向に１つ形成してもよいし、所定の間隔を空けて複数形成してもよい。

【００７０】

なお、平坦面１１１は、実施例１に示す形状、すなわち、第２回転軸Ｉ２の軸方向に沿って同じ高さとなる第１ねじ山５４及び第２ねじ山５５に対し、フラット加工を行って第１ねじ山５４及び第２ねじ山５５の頂部を切り欠くことで、実施例３に示す形状とする。

【００７１】

ここで、平坦面１１１は、図６Ｂに示すように、周方向に２つ形成してもよい。２つの平坦面１１１は、プロープ４２の第２回転軸Ｉ２に対して対称性を有するように配置されている。つまり、２つの平坦面１１１は、プロープ４２の第２回転軸Ｉ２を中心にして、１８０°位相を異ならせた位置となっている。また、平坦面１１１は、図６Ｃに示すように、周方向に４つ形成してもよい。４つの平坦面１１１は、プロープ４２の第２回転軸Ｉ２に対して対称性を有するように配置されている。つまり、４つの平坦面１１１は、プロープ４２の第２回転軸Ｉ２を中心にして、９０°位相を異ならせた位置となっている。

【００７２】

以上のように、実施例３の構成によれば、第１ねじ溝５１及び第２ねじ溝５２に平坦面１１１を形成することで、界面６において金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、金属材が接合不良部を形成することなく、界面６において金属材を好適に攪拌することができる。

【００７３】

また、実施例３では、複数の平坦面１１１を、プロープ４２の第２回転軸Ｉ２に対して対称性を有するように配置することができるため、プロープ４２の回転バランスをとることができる。

【実施例４】

【００７４】

次に、図７を参照して、実施例４に係る摩擦攪拌接合装置１２０について説明する。図７は、実施例４に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例４でも、重複した記載を避けるべく、実施例１から３と異なる部分につ

いて説明すると共に、実施例 1 から 3 と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例 4 に係る摩擦攪拌接合装置 1 2 0 は、実施例 1 の第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 を境界 5 3 周りにのみ設けた構成となっている。以下、実施例 4 に係る摩擦攪拌接合装置 1 2 0 について説明する。

【0075】

図 7 に示すように、実施例 4 に係る摩擦攪拌接合装置 1 2 0 において、摩擦攪拌工具 1 0 の第 2 回転ツール 2 2 のプローブ 4 2 に形成される第 1 ねじ溝 5 1 は、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 1 ショルダ部 3 5 と境界 5 3 との間の所定の部位から、境界 5 3 まで設けられている。このため、プローブ 4 2 は、第 1 ショルダ部 3 5 から第 1 ショルダ部 3 5 と境界 5 3 との間の所定の部位までの間が、第 1 ねじ溝 5 1 が形成されない滑らかな外周面 1 2 1 となる。また、第 2 ねじ溝 5 2 は、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 2 ショルダ部 4 5 と境界 5 3 との間の所定の部位から、境界 5 3 まで設けられている。このため、プローブ 4 2 は、第 2 ショルダ部 4 5 から第 2 ショルダ部 4 5 と境界 5 3 との間の所定の部位までの間が、第 2 ねじ溝 5 2 が形成されない滑らかな外周面 1 2 2 となる。

【0076】

以上から、プローブ 4 2 には、第 1 ショルダ部 3 5 から所定の部位までの間の外周面 1 2 1 と、所定の部位から境界 5 3 までの間の第 1 ねじ溝 5 1 と、第 2 ショルダ部 4 5 から所定の部位までの間の外周面 1 2 2 と、所定の部位から境界 5 3 までの間の第 2 ねじ溝 5 2 と、が形成される。

【0077】

以上のように、実施例 4 の構成によれば、第 1 ショルダ部 3 5 から所定の部位までの間に、第 1 ねじ溝 5 1 が形成されないため、第 1 ショルダ部 3 5 側から界面 6 へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。また、第 2 ショルダ部 4 5 から所定の部位までの間に、第 2 ねじ溝 5 2 が形成されないため、第 2 ショルダ部 4 5 側から界面 6 へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。このため、界面 6 への金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、金属材が接合不良部を形成することなく、界面 6 において金属材を好適に攪拌することができる。

【実施例 5】

【0078】

次に、図 8 を参照して、実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置 1 3 0 について説明する。図 8 は、実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例 5 でも、重複した記載を避けるべく、実施例 1 から 4 と異なる部分について説明すると共に、実施例 1 から 4 と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置 1 3 0 は、実施例 1 の第 1 ねじ溝 5 1 の一部及び第 2 ねじ溝 5 2 の一部が境界 5 3 を超えて形成される構成となっている。以下、実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置 1 3 0 について説明する。

【0079】

図 8 に示すように、実施例 5 に係る摩擦攪拌接合装置 1 3 0 において、摩擦攪拌工具 1 0 の第 2 回転ツール 2 2 のプローブ 4 2 に形成される第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 は、境界 5 3 におけるプローブ 4 2 の周方向において、重複（オーバーラップ）した状態となっている。具体的に、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 1 ねじ溝 5 1 の一部は、境界 5 3 を超えて第 2 ねじ溝 5 2 側に形成される一方で、第 1 ねじ溝 5 1 の他の一部は、境界 5 3 を超えて形成される第 2 ねじ溝 5 2 を許容すべく、境界 5 3 よりも第 1 ショルダ部 3 5 側に形成されている。また、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 2 ねじ溝 5 2 の一部は、境界 5 3 を超えて第 1 ねじ溝 5 1 側に形成される一方で、第 2 ねじ溝 5 2 の他の一部は、境界 5 3 を超えて形成される第 1 ねじ溝 5 1 を許容すべく、境界 5 3 よりも第 2 ショルダ部 4 5 側に形成されている。

【0080】

実施例 5 の構成によれば、第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 を、境界 5 3 におけるプローブ 4 2 の周方向において、重複（オーバーラップ）させることができるため、第 1 ね

じ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 によって、界面 6 を跨いで金属材を流動させ易くでき、界面 6 における金属材の攪拌性を向上させることができる。

【比較例】

【0081】

ここで、図 9 から図 11 を参照して、上記した実施例 1 から 3 における界面 6 の強度と、下記する比較例 1 及び比較例 2 における界面の強度との比較について説明する。図 9 は、比較例 1 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。図 10 は、比較例 2 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。図 11 は、接合材の界面における強度を比較した表である。なお、比較例 1 及び比較例 2 でも、重複した記載を避けるべく、実施例 1 から 5 と異なる部分について説明すると共に、実施例 1 から 5 と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。

【0082】

図 9 に示すように、比較例 1 の摩擦攪拌接合装置 140 の摩擦攪拌工具 10 において、第 2 回転ツール 22 のプローブ 42 の外周面には、周方向に沿って形成される円環状のリング溝が、第 2 回転軸 12 の軸方向に所定ピッチで複数形成されている。

【0083】

また、図 10 に示すように、比較例 2 の摩擦攪拌接合装置 150 の摩擦攪拌工具 10 において、第 2 回転ツール 22 のプローブ 42 の外周面には、実施例 1 の第 1 ねじ溝 5 1 及び第 2 ねじ溝 5 2 を、境界 5 3 周り以外に設けた構成となっている。つまり、比較例 2 は、実施例 4 と逆の構成となっており、プローブ 42 には、第 1 ショルダ部 35 から所定の部位までの間の第 1 ねじ溝 5 1 と、第 2 ショルダ部 45 から所定の部位までの間の第 2 ねじ溝 5 2 と、第 1 ショルダ部 35 側の所定の部位から境界 5 3 を挟んで第 2 ショルダ部 45 側の所定の部位までの滑らかな外周面 151 と、が形成される。

【0084】

ここで、図 11 の表に示すように、摩擦攪拌接合された接合材である一对の金属板 5 の界面 6 の強度は、一方の金属板 5 と他方の金属板 5 とを引っ張ったときの引張強度で評価されている。実施例 1 の引張強度を、Ns1 とし、実施例 2 の引張強度を、Ns2 とし、実施例 3 の引張強度を、Ns3 とする。また、比較例 1 の引張強度を、Nw1 とし、比較例 2 の引張強度を、Nw2 とする。

【0085】

このとき、比較例 1 の引張強度 Nw1 が最も弱く、比較例 2 の引張強度 Nw2 が比較例 1 の引張強度 Nw1 よりも大きくなることが確認された。しかしながら、比較例 1 及び比較例 2 において、一方の金属板 5 と他方の金属板 5 とを引っ張ったときの破断は、界面 6 で発生することが確認された。

【0086】

一方で、実施例 1 の引張強度 Ns1 は、比較例 2 の引張強度 Nw2 よりも大きくなることが確認された。また、実施例 2 の引張強度 Ns2 は最も強く、実施例 3 の引張強度 Ns3 よりも大きくなることが確認された。実施例 3 の引張強度 Ns3 は、実施例 1 の引張強度 Ns1 よりも大きくなることが確認された。そして、実施例 1 から実施例 3 において、一方の金属板 5 と他方の金属板 5 とを引っ張ったときの破断は、界面 6 以外で発生することが確認された。

【0087】

以上から、引張強度は、強いほうから順に、引張強度 Ns2、引張強度 Ns3、引張強度 Ns1、引張強度 Nw2、引張強度 Nw1 となっている。

【実施例 6】

【0088】

次に、図 12 を参照して、実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置 200 について説明する。図 12 は、実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例 6 でも、重複した記載を避けるべく、実施例 1 から 5 と異なる部分について説明すると共に、実施例 1 から 5 と同様の構成である部分については、同じ符号

を付す。実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置 200 は、一对の金属板 5 の厚さが異なる厚さとなっている。以下、実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置 200 について説明する。

【0089】

図 12 に示すように、一对の金属板 5 は、一方（図 12 の上方）の金属板 5 が積層方向において薄く、他方（図 12 の下方）の金属板 5 が積層方向において厚くなっている。このとき、実施例 6 に係る摩擦攪拌接合装置 200 において、摩擦攪拌工具 10 の第 2 回転ツール 22 のプローブ 42 に形成される第 1 ねじ溝 51 及び第 2 ねじ溝 52 は、その境界 53 が、一对の金属板 5 の界面 6 とほぼ同じ位置となるように、プローブ 42 が形成されている。このため、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 1 ねじ溝 51 の長さは短く、第 2 ねじ溝 52 の長さは長くなっている。

【0090】

実施例 6 の構成によれば、回転するプローブ 42 の第 1 ねじ溝 51 により攪拌した金属材を、第 1 ショルダ部 35 側から界面 6 に向かって流動させることができ、また、回転するプローブ 42 の第 2 ねじ溝 52 により攪拌した金属材を、第 2 ショルダ部 45 側から界面 6 に向かって流動させることができる。これにより、一对の金属板 5 の厚さが異なる場合であっても、第 1 ねじ溝 51 及び第 2 ねじ溝 52 によって流動する金属材は、界面 6 を跨いで流動するため、界面 6 における接合強度を強固にすることができ、界面破断等の接合不良を抑制することができる。

【実施例 7】

【0091】

次に、図 13 を参照して、実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置 210 について説明する。図 13 は、実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例 7 でも、重複した記載を避けるべく、実施例 1 から 6 と異なる部分について説明すると共に、実施例 1 から 6 と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置 210 は、一对の金属板 5 の厚さが異なる厚さとなっており、摩擦攪拌工具 10 のプローブ 42 に形成される第 1 ねじ溝 51 及び第 2 ねじ溝 52 の形状が、実施例 6 の形状と異なっている。以下、実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置 210 について説明する。なお、実施例 6 と同様に、一对の金属板 5 は、一方（図 13 の上方）の金属板 5 が積層方向において薄く、他方（図 13 の下方）の金属板 5 が積層方向において厚くなっている。

【0092】

図 13 に示すように、実施例 7 に係る摩擦攪拌接合装置 210 において、摩擦攪拌工具 10 の第 2 回転ツール 22 のプローブ 42 に形成される第 1 ねじ溝 51 は、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 1 ショルダ部 35 から境界 53 まで設けられている。また、第 2 ねじ溝 52 は、第 2 回転軸 I 2 の軸方向において、第 2 ショルダ部 45 と境界 53 との間の所定の部位から、境界 53 まで設けられている。このとき、第 1 ねじ溝 51 と第 2 ねじ溝 52 との第 2 回転軸 I 2 の軸方向における長さは同じ長さとなっている。このため、プローブ 42 は、第 2 ショルダ部 45 から第 2 ショルダ部 45 と境界 53 との間の所定の部位までの間が、第 2 ねじ溝 52 が形成されない滑らかな外周面 211 となる。

【0093】

以上から、プローブ 42 には、第 1 ショルダ部 35 から境界 53 までの間の第 1 ねじ溝 51 と、第 2 ショルダ部 45 から所定の部位までの間の外周面 211 と、所定の部位から境界 53 までの間の第 2 ねじ溝 52 と、が形成される。

【0094】

以上のように、実施例 7 の構成によれば、第 2 ショルダ部 45 から所定の部位までの間に、第 2 ねじ溝 52 が形成されないため、第 2 ショルダ部 45 側から界面 53 へ向かう金属材の流動量を減少させることができる。このため、界面 6 への金属材の過剰な流動によって発生する攪拌域の幅方向の過度な広がりを抑制することができることから、金属材が接合不良部を形成することなく、界面 6 において金属材を好適に攪拌することができる。

【実施例 8】

【0095】

次に、図14を参照して、実施例8に係る摩擦攪拌接合装置220について説明する。図14は、実施例8に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例8でも、重複した記載を避けるべく、実施例1から7と異なる部分について説明すると共に、実施例1から7と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例8に係る摩擦攪拌接合装置220は、一对の金属板5の厚さが異なる厚さとなっており、第1回転ツール21の回転速度と第2回転ツール22の回転速度とが異なっている。以下、実施例8に係る摩擦攪拌接合装置220について説明する。なお、実施例6及び7と同様に、一对の金属板5は、一方（図14の上方）の金属板5が積層方向において薄く、他方（図14の下方）の金属板5が積層方向において厚くなっている。

【0096】

図14に示すように、実施例8に係る摩擦攪拌接合装置220において、摩擦攪拌工具10の第2回転ツール22のプロープ42に形成される第1ねじ溝51及び第2ねじ溝52は、実施例6と同様の構成となっている。このため、摩擦攪拌工具10の説明については省略する。

【0097】

制御部20は、厚さが厚い金属板5に接する回転ツールの回転速度を速くし、厚さが薄い金属板5に接する回転ツールの回転速度を遅くする。つまり、図14では、制御部20は、第1回転ツール21の回転速度を遅くし、第2回転ツール22の回転速度を速くする。

【0098】

以上のように、実施例8の構成によれば、制御部20は、厚さが厚い金属板5に接するショルダ部35、45の回転速度を速くすることができるため、厚さが厚い金属板5に対する入熱量を多くすることができる一方で、厚さが薄い金属板5に対する入熱量を少なくすることができる。このため、二つの金属板5の界面6付近の温度分布をそろえることができるため、界面6近傍における二つのショルダ部35、45から中央に集まる金属材の流動性を同じ状態にすることが可能であり、一对の金属板5の厚さが異なる場合であっても、界面6を跨いで金属材を、バランスを取りながら流動させることができる。なお、実施例8の構成は、実施例7の摩擦攪拌工具10に適用してもよい。

【0099】

なお、実施例8のプロープ42の攪拌溝44は、実施例6及び実施例7に限定されず、界面6を跨いで金属材を流動させる攪拌溝44であれば、いずれであってもよい。

【実施例9】

【0100】

次に、図15を参照して、実施例9に係る摩擦攪拌接合装置230について説明する。図15は、実施例9に係る摩擦攪拌接合装置の摩擦攪拌工具を模式的に表した概略構成図である。なお、実施例9でも、重複した記載を避けるべく、実施例1から8と異なる部分について説明すると共に、実施例1から8と同様の構成である部分については、同じ符号を付す。実施例9に係る摩擦攪拌接合装置230は、一对の金属板5の厚さが異なる厚さとなっており、第1ショルダ部35の直径と第2ショルダ部45の直径とが異なっている。以下、実施例9に係る摩擦攪拌接合装置230について説明する。なお、実施例6から8と同様に、一对の金属板5は、一方（図15の上方）の金属板5が積層方向において薄く、他方（図15の下方）の金属板5が積層方向において厚くなっている。

【0101】

図15に示すように、実施例9に係る摩擦攪拌接合装置230において、摩擦攪拌工具10の第2回転ツール22の第2ショルダ部45の直径R2は、第1回転ツール21の第1ショルダ部35の直径R1に比べて大径となっている。つまり、厚さが厚い金属板5に接する回転ツール21、22のショルダ部35、45の直径を大きくし、厚さが薄い金属板5に接する回転ツール21、22のショルダ部35、45の直径を小さくする。

【0102】

以上のように、実施例 9 の構成によれば、厚さが厚い金属板 5 に接するショルダ部 3 5, 4 5 の直径を大きくすることができるため、厚さが厚い金属板 5 に対する入熱量を多くすることができる一方で、厚さが薄い金属板 5 に対する入熱量を少なくすることができる。このため、二つの金属板 5 の界面 6 付近の温度分布をそろえることができるため、界面 6 近傍における二つのショルダ部 3 5, 4 5 から中央に集まる金属材の流動性を同じ状態にすることが可能であり、一対の金属板 5 の厚さが異なる場合であっても、界面 6 を跨いで金属材を、バランスを取りながら流動させることができる。なお、実施例 9 のプローブ 4 2 の攪拌溝 4 4 は、実施例 6 及び実施例 7 のいずれの形状であってもよい。また、実施例 9 のプローブ 4 2 の攪拌溝 4 4 は、実施例 6 及び実施例 7 に限定されず、界面 6 を跨いで金属材を流動させる攪拌溝 4 4 であれば、いずれであってもよい。

【0103】

なお、実施例 9 の構成に、実施例 8 の構成を組み合わせてもよい。すなわち、厚さが厚い金属板 5 に接する回転ツール 2 1, 2 2 のショルダ部 3 5, 4 5 の直径を大きくし、厚さが薄い金属板 5 に接する回転ツール 2 1, 2 2 のショルダ部 3 5, 4 5 の直径を小さくすると共に、厚さが厚い金属板 5 に接する回転ツール 2 1, 2 2 の回転速度を速くし、厚さが薄い金属板 5 に接する回転ツール 2 1, 2 2 の回転速度を遅くする構成であってもよい。

【0104】

また、実施例 1 から 9 の摩擦攪拌接合装置 1, 1 0 0, 1 1 0, 1 2 0, 1 3 0, 2 0 0, 2 1 0, 2 2 0, 2 3 0 は、適宜組み合わせた構成としてもよい。

【符号の説明】

【0105】

- 1 摩擦攪拌接合装置
- 5 金属板
- 6 界面
- 1 0 摩擦攪拌工具
- 1 1 第 1 押圧回転機構
- 1 2 第 2 押圧回転機構
- 2 0 制御部
- 2 1 第 1 回転ツール
- 2 2 第 2 回転ツール
- 3 1 第 1 ツール本体
- 3 3 シャフト挿通穴
- 3 5 第 1 ショルダ部
- 4 1 第 2 ツール本体
- 4 2 プローブ
- 4 3 シャフト
- 4 4 攪拌溝
- 4 5 第 2 ショルダ部
- 5 1 第 1 ねじ溝
- 5 2 第 2 ねじ溝
- 5 3 境界
- 5 4 第 1 ねじ山
- 5 5 第 2 ねじ山
- 1 0 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 2）
- 1 1 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 3）
- 1 2 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 4）
- 1 3 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 5）
- 1 4 0 摩擦攪拌接合装置（比較例 1）
- 1 5 0 摩擦攪拌接合装置（比較例 2）

- 2 0 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 6）
- 2 1 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 7）
- 2 2 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 8）
- 2 3 0 摩擦攪拌接合装置（実施例 9）