

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7415841号
(P7415841)

(45)発行日 令和6年1月17日(2024.1.17)

(24)登録日 令和6年1月9日(2024.1.9)

(51)国際特許分類	F I		
B 2 3 K 20/12 (2006.01)	B 2 3 K	20/12	3 4 0
	B 2 3 K	20/12	3 4 4
	B 2 3 K	20/12	3 6 0
	B 2 3 K	20/12	3 1 0
請求項の数 4 (全55頁)			

(21)出願番号	特願2020-134885(P2020-134885)	(73)特許権者	000004743
(22)出願日	令和2年8月7日(2020.8.7)		日本軽金属株式会社
(65)公開番号	特開2022-30706(P2022-30706A)		東京都港区新橋一丁目1番13号
(43)公開日	令和4年2月18日(2022.2.18)	(74)代理人	110001807
審査請求日	令和5年3月30日(2023.3.30)		弁理士法人磯野国際特許商標事務所
		(72)発明者	堀 久司
			静岡県静岡市清水区蒲原一丁目34番1号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内
		(72)発明者	山中 宏介
			静岡県静岡市清水区蒲原一丁目34番1号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内
		(72)発明者	半田 岳士
			静岡県静岡市清水区蒲原一丁目34番1号 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 自動接合システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項1】

架台の上に配置された第一金属部材と第二金属部材とを、前記第一金属部材の表面よりも前記第二金属部材の表面が低くなるように端面同士を突き合わせて段差を備えた突合せ部を摩擦攪拌接合する自動接合システムであって、

摩擦攪拌を行う回転ツールを備え、前記突合せ部を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌装置と、前記第一金属部材の稜線位置を測定する測定部と、

前記摩擦攪拌装置を制御する制御装置と、を備え、

前記回転ツールは、基端側ピン及び前記基端側ピンに連続して形成される先端側ピンを有し、前記基端側ピンのテーパ角度は、前記先端側ピンのテーパ角度よりも大きく、前記基端側ピンの外周面に階段状のピン段差部が形成され、

前記制御装置は、摩擦攪拌接合を行う前の前記稜線位置に基づいて、前記突合せ部の摩擦攪拌接合を行う際に前記回転ツールが移動する目標移動ルートを設定するとともに、前記回転ツールを移動させるための指示位置となる設定移動ルートを設定し、

前記制御装置は、前記回転ツールを挿入した状態で前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させた走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を前記目標移動ルートに対して斜めに変位させた位置に前記回転ツールの指示位置を設定した修正移動ルートを算出し、

前記摩擦攪拌装置は、前記回転ツールを前記修正移動ルートに沿って移動するように制

御することで、前記回転ツールの所定の狙い角度を維持しつつ、前記ピン段差部の段差底面で塑性流動材を押さえながら前記目標移動ルートに沿って摩擦攪拌接合を行うことを特徴とする自動接合システム。

【請求項 2】

前記制御装置は、

前記目標移動ルートから平行に変位させた位置に前記設定移動ルートを設定し、

前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を前記回転ツールの進行方向に向かうにつれて前記第一金属部材側に向けて前記差分だけ斜めに変位させた位置に前記修正移動ルートを算出することを特徴とする請求項 1 に記載の自動接合システム。

10

【請求項 3】

前記制御装置は、前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を斜めに変位させるとともに、前記目標移動ルートに対して略平行に変位させた位置に前記回転ツールの指示位置を設定した前記修正移動ルートを算出することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の自動接合システム。

【請求項 4】

前記制御装置は、

前記目標移動ルートから平行に変位させた位置に前記設定移動ルートを設定し、

前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡を取得し、

20

前記走行軌跡が前記目標移動ルートに対して斜めに変位した角度の分だけ、前記走行軌跡が変位した向きとは反対方向に向けて、前記設定移動ルートの進行方向を斜めに変位させるとともに、前記走行軌跡が前記目標移動ルートに対して略平行に変位した長さの分だけ、前記走行軌跡が変位した向きとは反対方向に向けて、前記設定移動ルートを略平行に変位させた位置に、前記修正移動ルートを設定することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の自動接合システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、自動接合システムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献 1 には、金属部材の端部同士を突き合わせて突合せ部を形成し、当該突合せ部に沿って回転ツールを移動させて摩擦攪拌接合を行う技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2018-20345 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

例えば、表面の高さ位置が異なる金属部材同士の突合せ部を摩擦攪拌接合する場合、突合せ部に沿って回転ツールを進行させると、回転ツールの進行方向に対する左右位置が、金属部材の表面の高さ位置が高い方から低い方へシフトしてしまい、ルートフローが発生するおそれがある。

【0005】

このような観点から、本発明は、表面の高さ位置が異なる金属部材同士を摩擦攪拌接合する際に、ルートフローの発生を防止することができる自動接合システムを提供すること

50

を課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するために、本発明は、架台の上に配置された第一金属部材と第二金属部材とを、前記第一金属部材の表面よりも前記第二金属部材の表面が低くなるように端面同士を突き合わせて段差を備えた突合せ部を摩擦攪拌接合する自動接合システムであって、摩擦攪拌を行う回転ツールを備え、前記突合せ部を摩擦攪拌接合する摩擦攪拌装置と、前記第一金属部材の稜線位置を測定する測定部と、前記摩擦攪拌装置を制御する制御装置と、を備え、前記回転ツールは、基端側ピン及び前記基端側ピンに連続して形成される先端側ピンを有し、前記基端側ピンのテーパ角度は、前記先端側ピンのテーパ角度よりも大きく、前記基端側ピンの外周面に階段状のピン段差部が形成され、前記制御装置は、摩擦攪拌接合を行う前の前記稜線位置に基づいて、前記突合せ部の摩擦攪拌接合を行う際に前記回転ツールが移動する目標移動ルートを設定するとともに、前記回転ツールを移動させるための指示位置となる設定移動ルートを設定し、前記制御装置は、前記回転ツールを挿入した状態で前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させた走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を前記目標移動ルートに対して斜めに変位させた位置に前記回転ツールの指示位置を設定した修正移動ルートを算出し、前記摩擦攪拌装置は、前記回転ツールを前記修正移動ルートに沿って移動するように制御することで、前記回転ツールの所定の狙い角度を維持しつつ、前記ピン段差部の段差底面で塑性流動材を押さえながら前記目標移動ルートに沿って摩擦攪拌接合を行うことを特徴とする。

【0007】

かかる自動接合システムによれば、目標移動ルートに基づいて修正移動ルートを設定し、当該修正移動ルートに沿って移動するように回転ツールを制御することで、回転ツールが実際に移動するルートを的確に設定することができる。特に、進行方向を斜めに変位させて修正移動ルートを設定することで、回転ツールの進行方向に対する左右位置がシフトするのを防ぐことができる。また、基端側ピンのピン段差部の段差底面で塑性流動材を押さえながら摩擦攪拌接合を行うことで、バリの発生やアンダーカットの発生を防ぐとともに、接合表面をきれいにすることができる。

【0008】

また、前記制御装置は、前記目標移動ルートから平行に変位させた位置に前記設定移動ルートを設定し、前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を前記回転ツールの進行方向に向かうにつれて前記第一金属部材側に向けて前記差分だけ斜めに変位させた位置に前記修正移動ルートを算出することが好ましい。

また、前記制御装置は、前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡と、前記目標移動ルートとの差分に基づいて、前記設定移動ルートの進行方向を斜めに変位させるとともに、前記目標移動ルートに対して略平行に変位させた位置に前記回転ツールの指示位置を設定した前記修正移動ルートを算出することが好ましい。

【0009】

かかる自動接合システムによれば、予め算出された差分に基づいて修正移動ルートを設定することにより、回転ツールが実際に移動するルートをよりの確に設定することができる。

【0010】

また、前記制御装置は、前記目標移動ルートから平行に変位させた位置に前記設定移動ルートを設定し、前記回転ツールを前記設定移動ルートに沿って移動するように制御した走行軌跡を取得し、前記走行軌跡が前記目標移動ルートに対して斜めに変位した角度の分だけ、前記走行軌跡が変位した向きとは反対方向に向けて、前記設定移動ルートの進行方向を斜めに変位させるとともに、前記走行軌跡が前記目標移動ルートに対して略平行に変位した長さの分だけ、前記走行軌跡が変位した向きとは反対方向に向けて、前記設定移動

ルートを略平行に変位させた位置に前記修正移動ルートを設定することが好ましい。

【００１１】

かかる自動接合システムによれば、回転ツールが実際に移動するルートをよりの確に設定することができる。

【発明の効果】

【００１２】

本発明に係る自動接合システムによれば、表面の高さ位置が異なる金属部材同士を摩擦攪拌接合する際に、ルートフローの発生を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明の実施形態に係る回転ツールを示す側面図である。

【図２】回転ツールの拡大断面図である。

【図３】回転ツールの第一変形例を示す断面図である。

【図４】回転ツールの第二変形例を示す断面図である。

【図５】回転ツールの第三変形例を示す断面図である。

【図６】本発明の第一実施形態に係る自動接合システムの全体斜視図である。

【図７】第一実施形態に係る自動接合システムの要部斜視図である。

【図８】第一実施形態に係る自動接合システムのブロック図である。

【図９】第一実施形態に係る許容範囲を説明するための模式平面図である。

【図１０】第一実施形態に係る差分を説明するための模式平面図である。

【図１１】第一実施形態に係る摩擦攪拌接合中の回転ツールの位置を説明するための模式平面図である。

【図１２】第一実施形態に係る回転ツールの挿入状態を示す断面図である。

【図１３】第一実施形態に係る自動接合システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図１４】第一実施形態の第一変形例に係る修正移動ルートを説明するための模式平面図である。

【図１５】第一実施形態の第一変形例に係る差分を説明するための模式平面図である。

【図１６】第一実施形態の第二変形例に係る測定方向を示す模式平面図である。

【図１７】第一実施形態の第二変形例に係る測定方法を示す模式断面図である。

【図１８】本発明の第二実施形態に係る修正移動ルートの算出方法を説明するための模式平面図である。

【図１９】その他の形態に係る修正移動ルートを説明するための模式平面図である。

【図２０】その他の形態に係る差分を説明するための模式平面図である。

【図２１Ａ】実施例の試験１において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法を示す模式図である。

【図２１Ｂ】実施例の試験１において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が大きい状態を示す模式側面図である。

【図２１Ｃ】実施例の試験１において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が小さい状態を示す模式側面図である。

【図２１Ｄ】実施例の試験１において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が小さい他の状態を示す模式側面図である。

【図２２】実施例の試験１の段差寸法とバリ高さとの関係を示すグラフである。

【図２３】実施例の試験２の走行距離と接合前の隙間量との関係を示すグラフである。

【図２４】実施例の試験２の開始位置側の隙間量と、開始位置側のバリ高さとの関係を示すグラフである。

【図２５】実施例の試験２の終了位置側の隙間量と、終了位置側のバリ高さとの関係を示すグラフである。

【図２６】実施例の試験３の概要を示す模式平面図である。

【図２７】実施例の試験３の接合距離とＹ方向位置との関係を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 2 8 A】実施例の試験 3 の接合距離が 1 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 2 8 B】実施例の試験 3 の接合距離が 6 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 2 8 C】実施例の試験 3 の接合距離が 8 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 2 9 A】実施例の試験 3 の接合距離が 1 0 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 2 9 B】実施例の試験 3 の接合距離が 1 2 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 2 9 C】実施例の試験 3 の接合距離が 1 8 0 0 mm の位置の断面図である。
【図 3 0 A】実施例の試験 3 の接合距離が 1 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

【図 3 0 B】実施例の試験 3 の接合距離が 6 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

10

【図 3 0 C】実施例の試験 3 の接合距離が 8 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

【図 3 1 A】実施例の試験 3 の接合距離が 1 0 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

【図 3 1 B】実施例の試験 3 の接合距離が 1 2 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

【図 3 2】実施例の試験 3 の接合距離が 1 8 0 0 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。

【図 3 3】実施例の試験 3 の回転ツールの位置とバリ高さ及び酸化被膜高さとの関係を示すグラフである。

20

【図 3 4】実施例の試験 3 の摩擦攪拌接合中の回転ツールの位置を示す模式平面図である。

【図 3 5】実施例の試験 3 の接合速度と空洞欠陥サイズとの関係を示すグラフである。

【図 3 6】試験 5 における回転ツールの走行軌跡を示したグラフである。

【図 3 7】試験 5 における各位置のマクロ組織図及びミクロ組織図である。

【図 3 8】試験 6 に係る修正移動ルートの算出方法を説明するための模式平面図である。

【図 3 9】試験 6 における回転ツールの走行軌跡を示したグラフである。

【図 4 0】試験 6 における各位置のマクロ組織図である。

【図 4 1】試験 6 における各位置のミクロ組織図である。

【図 4 2】試験 5 及び試験 6 の回転ツールの走行軌跡の差分を示すグラフである。

【図 4 3】試験 7 の接合部を示す断面図である。

30

【図 4 4】試験 7 (1) における回転ツールの Y 位置及び荷重の関係を示すグラフである。

【図 4 5】試験 7 (1) における各位置のマクロ組織図である。

【図 4 6】試験 7 (1) において回転ツールの Y n 値と荷重 F z の関係を示すグラフである。

【図 4 7】試験 7 (1) においてケース K A, K B, K C, K D のマクロ組織図及びミクロ組織図を示している。

【図 4 8】試験 7 (2) において回転ツールの Y n 値と荷重 F z の関係を示すグラフである。

【図 4 9】試験 7 (3) において回転ツールの Y n 値と荷重 F z の関係を示すグラフである。

40

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 4】

本発明の実施形態について、適宜図面を参照しながら説明する。本発明は以下の実施形態のみに限定されるものではない。また、実施形態における構成要素は、一部又は全部を適宜組み合わせることができる。まずは、本実施形態に係る自動接合システムで用いる回転ツールについて説明する。

【0 0 1 5】

〔A. 回転ツール〕

回転ツールは、摩擦攪拌接合に用いられるツールである。図 1 に示すように、回転ツール F は、例えば工具鋼で形成されており、基軸部 F 1 と、基端側ピン F 2 と、先端側ピン

50

F 3とで主に構成されている。基軸部 F 1は、円柱状を呈し、摩擦攪拌装置の主軸に接続される部位である。

【0016】

基端側ピン F 2は、基軸部 F 1に連続し、先端に向けて先細りになっている。基端側ピン F 2は、円錐台形状を呈する。基端側ピン F 2のテーパ角度 Aは適宜設定すればよいが、例えば、 $135^{\circ} \sim 160^{\circ}$ になっている。テーパ角度 Aが 135° 未満であるか、又は、 160° を超えると摩擦攪拌後の接合表面粗さが大きくなる。テーパ角度 Aは、後記する先端側ピン F 3のテーパ角度 Bよりも大きくなっている。図 2に示すように、基端側ピン F 2の外周面には、階段状のピン段差部 F 2 1が高さ方向の全体に亘って形成されている。ピン段差部 F 2 1は、右回り又は左回りで螺旋状に形成されている。つまり、ピン段差部 F 2 1は、平面視して螺旋状であり、側面視すると階段状になっている。本実施形態では、回転ツール Fを右回転させるため、ピン段差部 F 2 1は基端側から先端側に向けて左回りに設定している。

10

【0017】

なお、回転ツール Fを左回転させる場合は、ピン段差部 F 2 1を基端側から先端側に向けて右回りに設定することが好ましい。これにより、ピン段差部 F 2 1によって塑性流動材が先端側に導かれるため、被接合金属部材の外部に溢れ出る金属を低減することができる。ピン段差部 F 2 1は、段差底面 F 2 1 aと、段差側面 F 2 1 bとで構成されている。隣り合うピン段差部 F 2 1の各頂点 F 2 1 c、F 2 1 cの距離 X 1（水平方向距離）は、後記する段差角度 C及び段差側面 F 2 1 bの高さ Y 1に応じて適宜設定される。

20

【0018】

段差側面 F 2 1 bの高さ Y 1は適宜設定すればよいが、例えば、 $0.1 \sim 0.4 \text{ mm}$ で設定されている。高さ Y 1が 0.1 mm 未満であると接合表面粗さが大きくなる。一方、高さ Y 1が 0.4 mm を超えると接合表面粗さが大きくなる傾向があるとともに、有効段差部数（被接合金属部材と接触しているピン段差部 F 2 1の数）も減少する。

【0019】

段差底面 F 2 1 aと段差側面 F 2 1 bとでなす段差角度 Cは適宜設定すればよいが、例えば、 $85^{\circ} \sim 120^{\circ}$ で設定されている。段差底面 F 2 1 aは、本実施形態では水平面と平行になっている。段差底面 F 2 1 aは、ツールの回転軸から外周方向に向かって水平面に対して $-5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 内の範囲で傾斜していてもよい（マイナスは水平面に対して下方、プラスは水平面に対して上方）。距離 X 1、段差側面 F 2 1 bの高さ Y 1、段差角度 C及び水平面に対する段差底面 F 2 1 aの角度は、摩擦攪拌を行う際に、塑性流動材がピン段差部 F 2 1の内部に滞留して付着することなく外部に抜けるとともに、段差底面 F 2 1 aで塑性流動材を押えて接合表面粗さを小さくすることができるよう適宜設定する。

30

【0020】

図 1に示すように、先端側ピン F 3は、基端側ピン F 2に連続して形成されている。先端側ピン F 3は円錐台形状を呈する。先端側ピン F 3の先端は回転軸に対して垂直な平坦面 F 4になっている。先端側ピン F 3のテーパ角度 Bは、基端側ピン F 2のテーパ角度 Aよりも小さくなっている。図 2に示すように、先端側ピン F 3の外周面には、螺旋溝 F 3 1が刻設されている。螺旋溝 F 3 1は、右回り、左回りのどちらでもよいが、本実施形態では回転ツール Fを右回転させるため、基端側から先端側に向けて左回りに刻設されている。

40

【0021】

なお、回転ツール Fを左回転させる場合は、螺旋溝 F 3 1を基端側から先端側に向けて右回りに設定することが好ましい。これにより、螺旋溝 F 3 1によって塑性流動材が先端側に導かれるため、被接合金属部材の外部に溢れ出る金属を低減することができる。螺旋溝 F 3 1は、螺旋底面 F 3 1 aと、螺旋側面 F 3 1 bとで構成されている。隣り合う螺旋溝 F 3 1の頂点 F 3 1 c、F 3 1 cの距離（水平方向距離）を長さ X 2とする。螺旋側面 F 3 1 bの高さを高さ Y 2とする。螺旋底面 F 3 1 aと、螺旋側面 F 3 1 bとで構成される螺旋角度 D Aは例えば、 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ で形成されている。螺旋溝 F 3 1は、被接合金属

50

部材と接触することにより摩擦熱を上昇させるとともに、塑性流動材を先端側に導く役割を備えている。

【0022】

回転ツールFは、適宜設計変更が可能である。図3は、本発明の回転ツールの第一変形例を示す側面図である。図3に示すように、第一変形例に係る回転ツールFAでは、ピン段差部F21の段差底面F21aと段差側面F21bとのなす段差角度Cが85°になっている。段差底面F21aは、水平面と平行である。このように、段差底面F21aは水平面と平行であるとともに、段差角度Cは、摩擦攪拌中にピン段差部F21内に塑性流動材が滞留して付着することなく外部に抜ける範囲で鋭角としてもよい。

【0023】

図4は、本発明の回転ツールの第二変形例を示す側面図である。図4に示すように、第二変形例に係る回転ツールFBでは、ピン段差部F21の段差角度Cが115°になっている。段差底面F21aは水平面と平行になっている。このように、段差底面F21aは水平面と平行であるとともに、ピン段差部F21として機能する範囲で段差角度Cが鈍角となってもよい。

【0024】

図5は、本発明の回転ツールの第三変形例を示す側面図である。図5に示すように、第三変形例に係る回転ツールFCでは、段差底面F21aがツールの回転軸から外周方向に向かって水平面に対して10°上方に傾斜している。段差側面F21bは、鉛直面と平行になっている。このように、摩擦攪拌中に塑性流動材を押さえることができる範囲で、段差底面F21aがツールの回転軸から外周方向に向かって水平面よりも上方に傾斜するように形成されていてもよい。

【0025】

〔B．第一実施形態〕

〔B-1．自動接合システム〕

次に、図6に示すように、本発明の第一実施形態に係る自動接合システム1について説明する。なお、以下の説明では「裏面」の反対側の面を「表面」とする。

【0026】

図6及び図7に示すように、自動接合システム1は、搬送装置2と、固定装置3と、摩擦攪拌装置4と、制御装置5とを含んで構成されている。自動接合システム1は、第一金属部材101と第二金属部材102の端部同士を自動で摩擦攪拌接合するシステムである。

【0027】

図7に示すように、第一金属部材101及び第二金属部材102は、アルミニウム、アルミニウム合金、チタン、チタン合金、マグネシウム、マグネシウム合金、銅、銅合金等の摩擦攪拌可能な金属で形成された板状部材である。第二金属部材102の板厚寸法は、第一金属部材101の板厚寸法よりも小さくなっている。第一金属部材101及び第二金属部材102は、本実施形態では、例えば、アルミニウム合金で形成されている。

【0028】

図7に示すように、第一金属部材101の端面101aと、第二金属部材102の端面102aとが突き合わされて突合せ部J1が形成されている。第一金属部材101の裏面101c及び第二金属部材102の裏面102c同士は面一となっているため、表面101b、102bには段差が形成されている。すなわち、第一金属部材101の表面101bよりも第二金属部材102の表面102bの高さ位置が低くなるように、端面101a、102a同士が突き合わされている。

【0029】

なお、第一金属部材101及び第二金属部材102は、摩擦攪拌接合工程ごとに順次搬送され、接合後に固定装置3の外部へ取り出されるが、各第一金属部材101及び第二金属部材102を識別するために、接合の順番で通し番号（以下、「ワーク番号」という。）を付すものとする。また、本実施形態では、第一金属部材101及び第二金属部材102の板厚寸法が異なっているが、第一金属部材101及び第二金属部材102の板厚寸法

10

20

30

40

50

を同一にして表面 101b, 102b の高さ位置に差を設けて突き合わせてもよい。

【0030】

[B-1-1. 搬送装置]

搬送装置 2 は、図 6 及び図 8 に示すように、アームロボット 11 と、基部フレーム 12 と、4 つの吸着部 13 とを含んで構成されている。アームロボット 11 は、制御装置 5 と電氣的に接続されている。制御装置 5 の搬送制御部 51 (図 8 参照) は、アームロボット 11 の搬送動作を制御する装置である。アームロボット 11 は、多関節のアーム 11a 及びアーム駆動部 (図示省略) を備えており、搬送制御部 51 から送信される制御信号に基づいて立体的な動作が可能となっている。

【0031】

基部フレーム 12 は、アームロボット 11 のアームの先端に取り付けられた枠状部材である。基部フレーム 12 は、アーム 11a の軸方向に対して垂直に取り付けられている。吸着部 13 は、基部フレーム 12 の四隅に、基部フレーム 12 の平面に対して垂直に設けられている。吸着部 13 は、搬送制御部 51 の制御信号に基づいて、先端に設けられた吸着パッド 13a に負圧又は正圧を作用させることができる。つまり、吸着パッド 13a に負圧を作用させることで、第一金属部材 101 又は第二金属部材 102 の四隅を吸着することでき、正圧を作用させることにより第一金属部材 101 又は第二金属部材 102 を離脱させることができる。これにより、アームロボット 11 は、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を固定装置 3 の予め設定された位置にそれぞれ搬送することができる。例えば、接合前の第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 は、搬送装置 2 による第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の吸着が可能な範囲内の位置にある材料配置エリア (図示省略) にそれぞれ積層して配置しておくことができる。搬送装置 2 は、材料配置エリアに配置された第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を、それぞれ一部材ずつ架台 21 の所定位置まで搬送することができる。

【0032】

また、アームロボット 11 は、摩擦攪拌接合後に、接合された第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 (以下、「被接合金属部材 103」とも言う。) を固定装置 3 から取り出して、所定の位置に搬送することができる。アームロボット 11 は、例えば、制御装置 5 に合格品と判定された場合は被接合金属部材 103 を合格品配置エリア 15 (図 6 参照) に搬送し、数値範囲外品と判定された場合は被接合金属部材 103 を数値範囲外品配置エリア 16 に搬送することができる。なお、数値範囲外品とは、制御装置 5 で所定の数値範囲内ではない (数値範囲外) と判定された被接合金属部材 103 を言う。

【0033】

[B-1-2. 固定装置]

固定装置 3 は、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を固定するとともに、摩擦攪拌接合の台座となる装置である。図 6 及び図 8 に示すように、固定装置 3 は、架台 21 と、吸引部 22 と、温度調整部 23 と、クランプ部 24 とを含んで構成されている。

【0034】

<架台>

架台 21 は、上部の表面に第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 が配置される台であって、外形が直方体を呈する。架台 21 の上部表面における中央位置には、架台 21 の長手方向の稜線 21a に対して垂直な基準位置 Y0 が設定されている。基準位置 Y0 は、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の位置決めの基準となる位置である。第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 は、基準位置 Y0 の位置において突合せ部 J1 を形成するように配置される。ここで、以下の説明における X 方向、Y 方向、Z 方向は図 6, 図 7 に示す矢印に基づく。図 6, 図 7 に示すように、X 方向、Y 方向、Z 方向は互いに直交している。X 方向は、架台 21 の上部平面において、基準位置 Y0 に対して平行となっている。Y 方向は、架台 21 の上部平面において、基準位置 Y0 に対して垂直となっている。Z 方向は、架台 21 の上部平面に対して垂直となっている。

【0035】

架台 2 1 の表面側の中央部には、基準位置 Y 0 に沿って凹溝 2 5 a が形成されている。凹溝 2 5 a 内には、基準位置 Y 0 に沿って、突合せ部 J 1 に対応する位置に載置部 2 5 が設けられている。載置部 2 5 は、本実施形態では架台 2 1 の X 方向の長さと同様長さからなり、第一金属部材 1 0 1 と第二金属部材 1 0 2 との摩擦攪拌接合によって形成される塑性流動領域の幅と同程度かこれよりも大きい幅に形成されている。また、載置部 2 5 は、アルミニウム又はアルミニウム合金板で形成されている。載置部 2 5 の表面側には陽極酸化被膜が施されている。載置部 2 5 は、架台 2 1 の表面に配置されて、その上に載置された第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を支持するとともに、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の温度調整を行うためのバックアッププレートとして機能する。

【 0 0 3 6 】

< 吸引部 >

吸引部 2 2 は、第二金属部材 1 0 2 の端部を裏面 1 0 2 c 側から吸引する装置である。吸引部 2 2 は、吸引管 2 6 と、ホース 2 8 と、吸引機 2 9 とを含んで構成されている。吸引管 2 6 は、断面矩形の中空管である。図 7 に示すように、吸引管 2 6 は、架台 2 1 の表面側において X 方向と平行に設けられた凹溝 2 5 a 内に設置されている。凹溝 2 5 a 内において、第一金属部材 1 0 1 側に配置される載置部 2 5 と、第二金属部材 1 0 2 側に配置される吸引管 2 6 とが、長手方向で隣接して設置されている。吸引管 2 6 の表面と、載置部 2 5 の表面は面一になっている。本実施形態では、例えば、吸引管 2 6 の表面長手方向の第一金属部材 1 0 1 側の稜線 2 6 a は、基準位置 Y 0 に対して第二金属部材 1 0 2 の側に位置するように設定されている。

【 0 0 3 7 】

吸引管 2 6 の表面には、所定の間隔で複数の孔部 2 7 が開口している。吸引管 2 6 は、ホース 2 8 を介して吸引機 2 9 に連結されている。吸引機 2 9 は、吸引して負圧を発生させる機械であり、制御装置 5 の吸引制御部 5 2 (図 8 参照)と電気的に接続されている。制御装置 5 の吸引制御部 5 2 は、吸引機 2 9 の吸引動作を制御する。つまり、吸引機 2 9 は、吸引制御部 5 2 から送信される制御信号に基づいて吸引 ON 又は吸引 OFF とすることができる。吸引部 2 2 は、孔部 2 7 周りに負圧を発生させることにより、第二金属部材 1 0 2 の端部を吸引して、当該端部の浮き上がりを防ぐことができる。

【 0 0 3 8 】

なお、本実施形態では、第二金属部材 1 0 2 を吸引するようにしたが、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の両方を吸引するようにしてもよい。吸引管 2 6 は複数本設けてもよい。

【 0 0 3 9 】

< 温度調整部 >

温度調整部 2 3 は、図 6 及び図 8 に示すように、固定装置 3 の架台 2 1 の内部に設けられ、架台 2 1 の温度の測定、及び架台 2 1 表面の温度調整を行う装置である。温度調整部 2 3 は、ヒーター (図示省略)、及び温度センサ 2 3 a (図 8 参照)を含んで構成されている。架台 2 1 の表面側から、載置部 2 5 と、温度センサ 2 3 a と、ヒーターとが、この順で設けられている。ヒーターは、基準位置 Y 0 に沿って、載置部 2 5 と概ね同じ位置に対応するように配置されている。温度センサ 2 3 a は載置部 2 5 の温度を測定し、ヒーターは載置部 2 5 の温度を調整する。温度調整部 2 3 は、制御装置 5 の温度制御部 5 3 と電気的に接続されている。温度調整部 2 3 は、温度制御部 5 3 から送信される制御信号に基づいて、ヒーターの動作を制御可能に構成されている。例えば、ヒーターを作動させることで載置部 2 5 を加温し、又はヒーターを停止させることで載置部 2 5 を室温付近まで冷却することができるように構成されている。このようにして、温度調整部 2 3 は、温度センサ 2 3 a によって架台 2 1 表面の載置部 2 5 の温度を測定し、ヒーターによって架台 2 1 表面の載置部 2 5 の温度を調整することができる。そして、載置部 2 5 の温度を調整することで、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の温度を上昇又は下降させることができる。なお、温度調整部 2 3 は、さらに冷却装置を備え、この冷却装置を作動させることで載置部 2 5 を冷却するようにしてもよい。

【0040】

各摩擦攪拌接合を行う前において、温度調整部23の温度センサ23aで計測された結果は、ワーク番号と関連付けられて制御装置5の温度制御部53に送信されるとともに、記憶部44に格納される。温度センサ23aで計測された結果は、ワーク番号とともに制御装置5の表示部43に表示されるようにしてもよい。

【0041】

<クランプ部>

クランプ部24は、図7及び図8に示すように、架台21の周囲に移動可能に配置され、架台21に対して第一金属部材101及び第二金属部材102を固定又は解除する装置である。クランプ部24は、制御装置5のクランプ制御部54（図8参照）から送信される制御信号に基づいて、第一金属部材101及び第二金属部材102の固定又は解除を行う。つまり、クランプ部24は、架台21に第一金属部材101及び第二金属部材102が配置された後、第一金属部材101及び第二金属部材102に近接しつつ、第一金属部材101及び第二金属部材102を架台21に移動不能に拘束する。一方、クランプ部24は、摩擦攪拌接合が終了したら拘束を解除して、被接合金属部材103を取り出す際に干渉しない位置まで退避する。

【0042】

[B-1-3. 摩擦攪拌装置]

摩擦攪拌装置4は、図6及び図8に示すように、アームロボット31と、回転駆動部32と、荷重付与部33と、測定部34と、荷重測定部35とを含んで構成されている。摩擦攪拌装置4は、回転ツールFを回転させつつ移動させて第一金属部材101と第二金属部材102とを摩擦攪拌接合する装置である。

【0043】

アームロボット31は、制御装置5と電氣的に接続されている。制御装置5の摩擦攪拌制御部55（図8参照）は、アームロボット31の摩擦攪拌接合動作を制御する装置である。アームロボット31は、多関節のアーム31a及びアーム駆動部（図示省略）を備えており、摩擦攪拌制御部55から送信される制御信号に基づいて立体的な動作が可能となっている。

【0044】

回転駆動部32は、回転ツールFを回転させるモータ等の回転駆動手段を含んで構成されている。回転駆動部32、荷重付与部33及び荷重測定部35は、筐体39（図6参照）内に收容されている。回転駆動部32の先端には、回転ツールFを着脱可能なチャック部が設けられている。摩擦攪拌制御部55（図8参照）は、回転ツールFが所定の回転数となるように回転駆動部32を制御する。

【0045】

荷重付与部33（図8参照）は、回転ツールFの軸方向に移動可能なシリンダ機構等を含んで構成されており、摩擦攪拌接合中において、第一金属部材101及び第二金属部材102に対する回転ツールFの押圧力を調整する部位である。

【0046】

荷重測定部35は、回転ツールFとモータ等の回転駆動手段との間に介設されており、摩擦攪拌接合中に回転ツールFが受ける軸方向の反力荷重を測定する装置である。荷重測定部35で計測された結果は、ワーク番号と関連付けられて制御装置5の摩擦攪拌制御部55に送信されるとともに、記憶部44に格納される。

【0047】

荷重測定部35で計測された結果は、ワーク番号とともに制御装置5の表示部43に表示されるようにしてもよい。摩擦攪拌制御部55は、回転ツールFの反力荷重が、予め設定された設定荷重に近づくように荷重付与部33をフィードバック制御する。

【0048】

回転ツールFの押圧力（設定荷重）は、本実施形態では、例えば、2000～8000Nに設定されている。回転ツールFの押圧力は、通常、2000N以上、好ましくは25

10

20

30

40

50

000N以上、より好ましくは3000Nである。また、回転ツールFの押圧力は、通常8000N以下、好ましくは6000N以下、より好ましくは4000N以下、特に好ましくは3500N以下である。

【0049】

＜測定部＞

測定部34は、回転駆動部32の外側に取り付けられた測定装置である。測定部34は、本実施形態ではラインセンサを用いている。測定部34は、照射されたラインレーザの反射光により、突合せ部J1（接合部）周りの凹凸、隙間、形状等を取得可能になっている。測定部34で計測された結果は、ワーク番号と関連付けられて制御装置5の摩擦攪拌制御部55に送信されるとともに、記憶部44に格納される。測定部34で計測された結果は、ワーク番号とともに制御装置5の表示部43に表示されるようにしてもよい。

【0050】

より詳しくは、測定部34は、摩擦攪拌接合を行う前にアームロボット31によって突合せ部J1に沿って移動することにより、突合せ部J1の段差寸法h、隙間量D及び第一金属部材101の稜線位置Ypを測定することができる。段差寸法hは、第一金属部材101の表面101bから第二金属部材102の表面102bまでの高さ寸法である。隙間量Dは、第一金属部材101の端面101aから第二金属部材102の端面102aまでの距離である。稜線位置Ypは、図7に示すように、第一金属部材101の突合せ部J1に面する上面側の稜線101eの形状（XY平面上の位置）である。

【0051】

また、測定部34は、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置Yn（XY平面上の位置：図11参照）を測定することができる。また、測定部34は、摩擦攪拌接合前の回転ツールFの位置Yb（初期位置Yb0：図9参照）を測定することができる。この初期位置Yb0は、摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツールFを第一金属部材101及び第二金属部材102に挿入する直前の回転ツールFの位置である。

【0052】

また、測定部34は、摩擦攪拌接合後に突合せ部J1（接合部）に沿って移動することにより、接合部のバリ高さS（アンダーカット）及び表面粗さRaを測定することができる。つまり、測定部34は、摩擦攪拌接合後に接合部の状態、接合品質を確認するための検査部として機能することもできる。アンダーカットとは、第一金属部材101及び第二金属部材102の各表面101b、102bが接合前よりも凹んでいる（削れている）状態を言う。なお、本実施形態では、測定部34は、接合部のバリ高さS（アンダーカット）及び表面粗さRaの少なくとも一方を測定するようにしてもよい。また、測定部（検査部）34は、回転駆動部32を収容する筐体39の外側に取り付けたが、例えば、他のアームロボットに取り付けてもよい。また、測定部と検査部とは別の装置であってもよい。

【0053】

〔B-1-4．制御装置〕

制御装置5は、図8に示すように、搬送装置2、固定装置3及び摩擦攪拌装置4の全体の動作を制御する制御装置である。制御装置5は、演算部（CPU（Central Processing Unit）：図示省略）と、キーボード、タッチパネル等の入力部42と、モニター、ディスプレイ等の表示部43と、RAM（Random Access Memory）、ROM（Read only memory）等の記憶部44とを含んで構成されている。

【0054】

また、制御装置5は、主制御部41と、搬送制御部51と、吸引制御部52と、温度制御部53と、クランプ制御部54と、摩擦攪拌制御部55とを備えている。主制御部41は、搬送制御部51、吸引制御部52、温度制御部53、クランプ制御部54及び摩擦攪拌制御部55の各制御を統括する部位である。また、主制御部41は、一の摩擦攪拌接合が完了した後、記憶部44からそのワーク番号の判定結果を読み出して、当該第一金属部材101及び第二金属部材102（被接合金属部材103）が数値範囲外品と判定されたか否かを判定する判定部（図示省略）を備えている。

【 0 0 5 5 】

主制御部 4 1、搬送制御部 5 1、吸引制御部 5 2、温度制御部 5 3、クランプ制御部 5 4、及び摩擦攪拌制御部 5 5 は、自動接合プログラムとして R O M に格納されている。演算部が R O M から自動接合プログラムを読み込んで、R A M に展開して実行することで、主制御部 4 1、搬送制御部 5 1、吸引制御部 5 2、温度制御部 5 3、クランプ制御部 5 4、及び摩擦攪拌制御部 5 5 の各部位として機能させる。自動接合プログラムは、C D - R O M (Compact Disc Read only memory)、D V D - R O M (Digital Versatile Disc Read only memory) 等の光ディスク；U S B (Universal Serial Bus) メモリ、S D メモリ等のフラッシュメモリ等の記録媒体に記録されて配布されてもよく、インターネット、イントラネット等の通信ネットワークを通じて配布されてもよい。制御装置 5 は、記録媒体から自動接合プログラムを読みだしたり、通信ネットワークを介して自動接合プログラムを受信したりすることで、自動接合プログラムを取得して実行することができる。

10

【 0 0 5 6 】

なお、本実施形態では、各制御部を制御装置 5 内に一括して設けたが、装置ごとに制御部を設けてもよいし、制御装置 5 と各装置で制御部を共有してもよい。

【 0 0 5 7 】

< 搬送制御部 >

搬送制御部 5 1 は、搬送装置 2 に制御信号を送信して第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を架台 2 1 の所定位置まで搬送する制御を行う。一方、搬送制御部 5 1 は、一の摩擦攪拌接合が終了しクランプ部 2 4 が退避したら、架台 2 1 から被接合金属部材 1 0 3 を取り出す制御を行う。

20

【 0 0 5 8 】

また、搬送制御部 5 1 は、一度でも数値範囲外品との判定を受けたと主制御部 4 1 で判定された場合、架台 2 1 から当該被接合金属部材 1 0 3 を取り出して、数値範囲外品配置エリア 1 6 に搬送する制御を行う。一方、搬送制御部 5 1 は、主制御部 4 1 で数値範囲外品との判定を一度も受けていないと判定された場合、架台 2 1 から当該被接合金属部材 1 0 3 を取り出して、合格品配置エリア 1 5 に搬送する制御を行う。なお、数値範囲外品か否かの判定によらず、摩擦攪拌接合後に被接合金属部材 1 0 3 を同じ位置に搬送するように制御してもよい。

【 0 0 5 9 】

< 吸引制御部 >

吸引制御部 5 2 は、クランプ部 2 4 が第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を架台 2 1 に固定した後、吸引部 2 2 に制御信号を送信して吸引機 2 9 を吸引 O N とし、架台 2 1 に固定された第二金属部材 1 0 2 の端部を吸引する制御を行う。吸引制御部 5 2 は、その摩擦攪拌接合が終了したら、吸引 O F F とする制御を行う。

30

【 0 0 6 0 】

< 温度制御部 >

温度制御部 5 3 は、温度調整部 2 3 に制御信号を送信して設定された温度となるようにヒーターを作動又は停止させる制御を行う。温度調整部 2 3 の所定の数値範囲は、適宜設定すればよいが、例えば、3 0 ~ 1 2 0 ° C に設定し、好ましくは 6 0 ~ 9 0 ° C に設定する。

40

【 0 0 6 1 】

また、温度制御部 5 3 は、判定部 6 6 を備えている。判定部 6 6 は、一の摩擦攪拌接合の直前において、温度制御部 5 3 の温度センサ 2 3 a から送信された結果（温度 T ）が所定の数値範囲内か否かを判定する。なお、温度 T は、架台 2 1 表面の温度、より具体的には載置部 2 5 の温度を表すものである。

【 0 0 6 2 】

判定部 6 6 は、温度 T を所定の数値範囲外と判定した場合、その第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部 6 6 は、当該判定結果を主制御部 4 1 に送信するとともに記憶部 4 4 に格納する。当該判定結果は、表示部 4 3 に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力す

50

る報知手段で報知するようにしてもよい。また、判定部 6 6 は、主制御 4 1 に設けてもよい。

【0063】

なお、温度センサ 2 3 a から送信された結果が所定の数値範囲外と判定された場合、温度制御部 5 3 は、温度調整部 2 3 のヒーターの制御により載置部 2 5 を加温又は冷却させて、温度センサ 2 3 a から送信される結果が所定の数値範囲に含まれるように制御してもよい。

【0064】

<クランプ制御部>

クランプ制御部 5 4 は、クランプ部 2 4 に制御信号を送信して架台 2 1 に載置された第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を固定（セット）する制御を行う。また、摩擦攪拌接合が終了したら、クランプ部 2 4 に制御信号を送信して第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の固定を解除する制御を行う。

【0065】

なお、摩擦攪拌接合前の固定状態（段差寸法 h 、隙間量 D 、温度 T ）が所定の数値範囲外と判定された場合、クランプ部 2 4 は、直ちに第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の固定を解除する制御を行ってもよい。この場合、例えば、搬送装置 2 のアームロボット 1 1 で第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の位置を微修正するようにしてもよいし、当該第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を架台 2 1 から取り出して、新たな第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を配置するようにしてもよい。

【0066】

<摩擦攪拌制御部>

摩擦攪拌制御部 5 5 は、摩擦攪拌装置 4 に制御信号を送信して第一金属部材 1 0 1 と第二金属部材 1 0 2 とを摩擦攪拌接合する制御を行う。摩擦攪拌制御部 5 5 は、目標移動ルート生成部 6 1 と、許容範囲生成部 6 2 と、設定移動ルート生成部 6 5 と、修正移動ルート生成部 6 3 と、判定部 6 4 とを備えている。

【0067】

目標移動ルート生成部 6 1 は、図 9 に示すように、回転ツール F の目標移動ルート R 1 を生成する部位である。ここで、図 9 は、摩擦攪拌接合を行う際に回転ツール F が移動する目標移動ルート R 1 と、無負荷の状態での回転ツール F が移動する修正移動ルート R 2 との関係を示す模式図である。目標移動ルート R 1 は、突合せ部 J 1 の摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツール F が移動する目標となる軌跡を設定するものである。目標移動ルート生成部 6 1 は、摩擦攪拌接合を行う前に測定部 3 4 から送信された稜線位置 Y_p を目標移動ルート R 1 として算出する。第一金属部材 1 0 1 の稜線 1 0 1 e は、公差等により必ずしも直線にはなっていないため、稜線位置 Y_p は概ねギザギザな線となる。目標移動ルート R 1 は、稜線位置 Y_p と同一のルート（ギザギザなルート）としてもよいし、最小二乗法等に基づいて直線としてもよい。

【0068】

許容範囲生成部 6 2 は、摩擦攪拌接合中に回転ツール F の Y 方向の移動を許容する許容範囲 M を設定する。図 9 に示すように、許容範囲 M は、例えば、稜線位置 Y_p を中心として幅方向に距離 m 、 m となる境界線 M_a 、 M_b で囲まれた範囲として算出する。より詳しくは、許容範囲 M は、境界線 M_a 、 M_b 、第一金属部材 1 0 1 の稜線 1 0 1 f、1 0 1 g、第二金属部材 1 0 2 の稜線 1 0 2 f、1 0 2 g で囲まれた範囲となる。許容範囲 M の大きさは、摩擦攪拌接合で要求される精度等に合わせて適宜設定すればよいが、例えば、距離 m を 0.3 ~ 0.6 mm で設定してもよい。特に、第一金属部材 1 0 1 側の許容範囲 M_1 を、第二金属部材 1 0 2 側の許容範囲 M_2 よりも広く設定することが好ましい。なお、許容範囲 M の境界線 M_a 、 M_b は稜線位置 Y_p に応じてギザギザな線としてもよいし、最小二乗法等に基づいて直線としてもよい。また、境界線 M_a 、 M_b は本実施形態では稜線位置 Y_p から等距離としたが、異なる距離に設定してもよい。

【0069】

設定移動ルート生成部 65 は、設定移動ルートを生成する部位である。設定移動ルートは、回転ツール F を移動させるための指示位置（ティーチング位置）となるものである。設定移動ルートは、回転ツール F が通過する軌跡を座標位置によって指定している。設定移動ルートは、例えば、回転ツールが移動する始点と終点の座標位置を指定するとともに、始点と終点の間の線上を回転ツールが移動する軌跡として指定することができる。摩擦攪拌制御部 55 は、設定移動ルートに基づいてアームロボット 31 に制御信号を送信して動作させることで、回転ツール F が設定移動ルートで指定される軌跡に沿って移動するように制御する。設定移動ルートに沿って回転ツール F を移動するように制御すると、接合時の状況に応じて、回転ツール F が設定移動ルートで指定した座標位置を通過せずに軌跡が変位する場合がある。このような回転ツール F の軌跡の変位を利用して修正移動ルート R2 を生成するために、設定移動ルートは用いられる。

10

【0070】

修正移動ルート生成部 63 は、修正移動ルート R2 を生成する部位である。修正移動ルート R2 は、設定移動ルートと同様に、回転ツール F を移動させるための指示位置となるものである。特に、修正移動ルート R2 は、突合せ部 J1 の摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツール F がこのルートに沿って移動するように制御される軌跡を示す。回転ツール F を修正移動ルート R2 に沿って移動するように制御することで、回転ツール F は目標移動ルート R1 に沿って移動するように摩擦攪拌接合が行われる。また、後述するように、修正移動ルートは、設定移動ルートを利用して設定される。

【0071】

20

ここで、図 10 は、テスト軌跡 Q1 と、テスト軌跡 Q2 とを示す模式図である。図 10 に示すように、摩擦攪拌接合を行う前に、一对の金属部材 301, 302 を用いて修正移動ルート R2 を生成するためのテスト試行を行う。金属部材 301, 302 は、実際に摩擦攪拌接合を行う第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 と同じ、若しくは、近い材料、厚さ等であることが好ましい。つまり、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 による突合せ部 J1 と同様に、金属部材 301, 302 同士を突き合わせて突合せ部 J30 を形成する。すなわち、このテスト試行では、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 と比して、同様の材種の金属からなり、同様の板厚寸法を有する板状部材を、同様の高さの段差を形成するようにして突き合わせた、表面の高さ位置が異なる二つの金属部材 301, 302 を用いることが好ましい。

30

【0072】

テスト軌跡 Q1 は、回転ツール F を金属部材 301, 302 に挿入しないで、予め設定された設定移動ルートに従って、試験的に摩擦攪拌装置 4 を移動させた走行軌跡を示している。つまり、テスト軌跡 Q1 は、無負荷状態で摩擦攪拌装置 4 のアームロボット 31 を移動させた走行軌跡である。このとき、回転ツールを金属部材 301, 302 に挿入せずに無負荷の状態で移動させたものであれば、回転ツール F を取り付けずに移動させたものであってもよい。なお、本明細書において、「走行軌跡」は、単に「軌跡」と称することがある。

【0073】

一方、テスト軌跡 Q2 は、回転ツール F を金属部材 301, 302 に挿入して、予め設定されたテスト軌跡 Q1 と同じ設定移動ルートに従って、試験的に摩擦攪拌を行った軌跡である。テスト軌跡 Q1 とテスト軌跡 Q2 は、いずれも同じ設定移動ルートにしたがって移動させたにも関わらず、実際に摩擦攪拌を行うことで所定の差分（差分 YL）が発生する。ここでの差分は、テスト軌跡 Q2 がテスト軌跡 Q1 に対して、接合方向と直行する方向に差分 YL だけ略平行に変位している。

40

【0074】

これは、表面の高さ位置が異なるように突き合わされた二つの金属部材に回転ツール F が接触することで、アームロボット 31 に生じるたわみによって回転ツール F の位置がテスト軌跡 Q1 からテスト軌跡 Q2 に変位することに起因すると推察される。また、アームロボット 31 の癖、金属部材の材料抵抗等にも影響を受けていると推察される。したがっ

50

て、摩擦攪拌接合でテスト軌跡 Q 2 を走行させたい場合は、差分 Y L を考慮して設定移動ルートを設定する必要がある。差分 Y L は、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の摩擦攪拌接合前に、金属部材に回転ツール F を挿入した状態で摩擦攪拌接合を行ったテスト試行と、無負荷の状態で行ったテスト試行とを行い、これらに基づいて予め算出することができる。より詳しくは、差分 Y L は、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 による突合せ部 J 1 と同様に突合せ部を形成した金属部材に回転ツール F を挿入した状態で摩擦攪拌接合を行いながら回転ツール F を移動させた場合のテスト軌跡 Q 2 と、回転ツール F を金属部材に挿入せずに無負荷の状態で移動させた場合のテスト軌跡 Q 1 との走行軌跡の差分（差分の平均）から算出することができる。なお、テスト軌跡 Q 1 及びテスト軌跡 Q 2 を得るための設定移動ルートは、突き合わせた金属部材の突合せ部 J 3 0 をテスト軌跡 Q 2 が通過するように設定することが好ましい。特に、テスト軌跡 Q 2 の開始位置付近で突合せ部 J 3 0 を通過して、突合せ部 J 3 0 に沿って、厚板の金属部材側に向けて移動するように設定移動ルートを設定することが好ましい。テスト試行を行う際は、金属部材 3 0 1, 3 0 2 の少なくとも一方に回転ツール F を挿入してテスト軌跡 Q 1, Q 2 を取得すればよい。

【0075】

修正移動ルート生成部 6 3 では、図 9 に示すように、目標移動ルート R 1 及び差分 Y L に基づいて、修正移動ルート R 2 を算出する。本実施形態では、図 1 0 に示すように、回転ツール F を挿入した状態で摩擦攪拌接合を行ったテスト軌跡 Q 2 は、無負荷の状態のテスト軌跡 Q 1 から左側（薄板側）へ差分 Y L だけ略平行に変位する傾向があるため、修正移動ルート R 2 は、目標移動ルート R 1 に対して右側（厚板（第一金属部材 1 0 1）側）へ差分 Y L だけ変位させた位置に設定する。言い換えれば、修正移動ルート生成部 6 3 は、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 2 が無負荷の状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 1 に対して略平行に変位した長さ（差分 Y L）の分だけ、テスト軌跡 Q 2 が変位した向きとは反対方向に向けて、目標移動ルート R 1 を略平行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 を設定する。つまり、摩擦攪拌制御部 5 5 は、修正移動ルート R 2 で回転ツール F が移動するように制御することにより、差分 Y L が吸収されて、目標移動ルート R 1 上を回転ツール F が移動して、摩擦攪拌接合が行われるようになる。

【0076】

なお、テスト軌跡 Q 1 及びテスト軌跡 Q 2 の差分 Y L が小さい又は無い場合は、修正移動ルートは設定せずに、目標移動ルート R 1 に基づいて回転ツール F を移動させてもよい。また、差分 Y L の取得（算出）は摩擦攪拌接合ごとに行う必要はないが、例えば、回転ツール F を交換する場合、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の板厚寸法、材種、表面の高さ位置等を変更する場合に応じて取得し、差分 Y L と修正移動ルート R 2 を算出することが好ましい。

【0077】

修正移動ルート生成部 6 3 は、判定部 6 4 によって摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置が許容範囲 M 外と判定された場合、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置に応じて回転ツール F の位置を再設定した修正移動ルート R 2 を算出することが好ましい。具体的には、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の Y 方向の位置が第一金属部材 1 0 1 側となっていた箇所では、この箇所の回転ツール F の位置が第二金属部材 1 0 2 側となるように修正移動ルート R 2 を再設定する。同様に、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の Y 方向の位置が第二金属部材 1 0 2 側となっていた箇所では、この箇所の回転ツール F の位置が第一金属部材 1 0 1 側となるように修正移動ルート R 2 を再設定する。

【0078】

判定部 6 4 は、図 8 に示すように、測定部 3 4 から送信される結果が所定の数値範囲内か否かを判定する部位である。つまり、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合前の段差寸法 h、隙間量 D、温度 T、回転ツール F の初期位置 Y b 0 がそれぞれ所定の数値範囲内か否かを判定する。また、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y n が所定の数値範囲（許容範囲 M）内か否かを判定する。特に、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合中の回転ツ

ール F の位置 Y n のうち、進行方向に対する左右位置が所定の数値範囲（許容範囲 M）内か否かを判定する。また、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合後の接合部のバリ高さ S 及び表面粗さ R a の両方が所定の数値範囲内か否かを判定する。また、判定部 6 4 は、回転ツール F に作用する軸方向の反力荷重が所定の数値範囲内か否かを判定する。判定部 6 4 は、上述した判定項目のうちいずれか一つについて判定を行うようにしてもよく、上述した判定項目から二つ以上を組み合わせたものについて判定を行うようにしてもよい。例えば、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y n 及び摩擦攪拌接合中の荷重の少なくとも一方に対して、所定の数値範囲内であるか否かを判定するようにしてもよい。本実施形態では、摩擦攪拌接合前のセット状態（段差寸法 h、隙間量 D、温度 T、回転ツール F の初期位置 Y b 0）、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y n、摩擦攪拌接合後の接合部のバリ高さ S 及び表面粗さ R a について判定を行う場合を例示して説明する。

10

【0079】

<段差寸法 h>

判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合を行う前に測定部 3 4 を突合せ部 J 1 に沿って移動させることで、測定部 3 4 から送信された結果（段差寸法 h（mm））が、所定の数値範囲内か否かを判定する。

【0080】

本実施形態では、第一金属部材 1 0 1 の板厚寸法は 2.0 mm であり、第二金属部材 1 0 2 の板厚寸法は 1.2 mm に設定しているため、設定段差寸法は 0.8 mm である。段差寸法 h の所定の数値範囲は適宜設定すればよいが、例えば、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 の設定段差寸法 h が 0.8 mm である場合、 $0.75 \leq h \leq 0.93$ と設定することができる。判定対象となる段差寸法 h は、測定部 3 4 で取得された全数でもよいし、接合長全体に対する段差寸法の平均値であってもよいし、最大値であってもよいし、もしくは所定間隔ごとの複数の段差寸法を抽出してそれぞれ判定してもよい。

20

【0081】

判定部 6 4 は、段差寸法 h を所定の数値範囲外と判定した場合、その第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部 6 4 は、当該判定結果を主制御部 4 1 に送信するとともに記憶部 4 4 に格納する。当該判定結果は、表示部 4 3 に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

30

【0082】

<隙間量 D>

また、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合を行う前に測定部 3 4 を突合せ部 J 1 に沿って移動させることで、測定部 3 4 から送信された隙間量 D（mm）が、所定の数値範囲内か否かを判定する。隙間量 D の所定範囲は適宜設定すればよいが、例えば、 $0 \leq D \leq 0.4$ と設定することができる。判定する隙間量 D は、測定部 3 4 で取得された全数でもよいし、接合長全体に対する隙間量の平均値でもよいし、最大値であってもよいし、もしくは所定間隔ごとの複数の隙間量を抽出してそれぞれ判定してもよい。

【0083】

判定部 6 4 は、隙間量 D を所定の数値範囲外と判定した場合、その第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部 6 4 は、当該判定結果を主制御部 4 1 に送信するとともに記憶部 4 4 に格納する。当該判定結果は、表示部 4 3 に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

40

【0084】

<初期位置>

また、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合を行う前に、測定部 3 4 によって回転ツール F の初期位置 Y b 0 を測定することで、測定部 3 4 から送信された初期位置 Y b 0 が、修正移動ルート R 2 の開始位置に対して所定の数値範囲内か否かを判定する。初期位置 Y b 0 の所定範囲は適宜設定すればよいが、修正移動ルート R 2 の開始位置を中心として、例えば、0

50

mm以上、0.3mm以下の範囲内と設定することができる。特に、修正移動ルートR2の開始位置を中心として、Y方向に0mm以上、0.3mm以下の範囲内と設定することができる。

【0085】

判定部64は、初期位置Yb0を所定の数値範囲外と判定した場合、その第一金属部材101及び第二金属部材102をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部64は、当該判定結果を主制御部41に送信するとともに記憶部44に格納する。当該判定結果は、表示部43に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

【0086】

<許容範囲M>

また、判定部64は、摩擦攪拌接合中に測定部34から送信された回転ツールFの位置Ynが、許容範囲（数値範囲）M内か否かを判定する。図11は、摩擦攪拌接合を行った後の回転ツールFの位置Yn（走行軌跡）を示す模式図である。図11では、説明の便宜上、Y方向の移動が理解しやすいようにX方向とY方向の縮尺を変更して描画している。図11では、図中の下側から上側に向けて回転ツールFを移動させており、回転ツールFの位置Ynは許容範囲M内を移動している。

【0087】

許容範囲Mの範囲は適宜設定すればよいが、例えば、稜線位置Ypの全長方向に対して稜線位置Ypを中心としたY方向の第一金属部材101側に0.6mm（ $m=0.6$ ）、第二金属部材102側に0.3mm（ $m=0.3$ ）となる位置で囲まれた領域と設定することができる。

【0088】

判定部64は、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置Ynを許容範囲（数値範囲）M外と判定した場合、その第一金属部材101及び第二金属部材102をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部64は、当該判定結果を主制御部41に送信するとともに記憶部44に格納する。当該判定結果は、表示部43に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

【0089】

<バリ高さS及び表面粗さRa>

また、判定部64は、摩擦攪拌接合後において、摩擦攪拌装置4の測定部（検査部）34を接合部（塑性化領域W）に沿って移動させることによって得られたバリ高さS及び表面粗さRaの両方が所定の数値範囲内か否かを判定する。バリ高さSは適宜設定すればよいが、例えば、 $0 \leq S \leq 0.1$ mmに設定することができる。また、表面粗さRaは適宜設定すればよいが、例えば、 $0 \leq Ra \leq 5.0$ μmに設定することができる。判定するバリ高さS及び表面粗さRaは、測定部34で取得された全数でもよいし、接合長全体に対する平均値でもよいし、最大値であってもよいし、もしくは所定間隔ごとの複数のバリ高さS及び表面粗さRaを抽出してそれぞれ判定してもよい。

【0090】

図12は、本実施形態に係る回転ツールの挿入状態を示す断面図である。図12に示すように、摩擦攪拌接合中においては、回転ツールFを鉛直線に対して第二金属部材102側に所定の狙い角度θで傾けた状態で移動させる。回転ツールFの走行軌跡には塑性化領域Wが形成されている。狙い角度θは、適宜設定すればよい。本実施形態では、例えば、上方から見た場合に先端側ピンF3の平坦面の中心F5が目標移動ルートR1と重なるように設定している。

【0091】

摩擦攪拌接合における挿入深さは、適宜設定すればよいが、本実施形態では基端側ピンF2の外周面を第一金属部材101の表面101b及び第二金属部材102の表面102bにそれぞれ接触させつつ、先端側ピンF3が架台21に接触しない程度に設定している。

【0092】

10

20

30

40

50

本実施形態では、回転ツール F を右回転させて、進行方向右側に第一金属部材 101 が位置するように回転ツール F の回転方向及び進行方向を設定している。回転ツール F の回転方向及び進行方向は適宜設定すればよいが、本実施形態では回転ツール F の走行軌跡に形成される塑性化領域 W のうち、第二金属部材 102 側がシアー側となり、第一金属部材 101 側がフロー側となるように設定している。

【0093】

なお、シアー側 (Advancing side : アドバンス側) とは、被接合部に対する回転ツールの外周の相対速度が、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を意味する。一方、フロー側 (Retreating side : リトリート側) とは、回転ツールの移動方向の反対方向に回転ツールが回転することで、被接合部に対する回転ツールの相対速度が低速になる側を言う。

【0094】

なお、本実施形態の自動接合システム 1 では、例えば、摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツール F の傾斜角度を進行方向に対して所定の角度で前傾又は後傾させてもよい。

【0095】

[B-2. 動作フロー]

次に、本実施形態に係る自動接合システム 1 の動作フローの一例について説明する。図 13 は、本実施形態に係る自動接合システムの動作の一例を示すフローチャートである。本実施形態に係る自動接合システム 1 では、制御装置 5 から各装置に送信される制御信号に基づいて自動で摩擦攪拌接合を行う。

【0096】

図 13 に示すように、ステップ S T 1 において、搬送制御部 51 は、搬送装置 2 を制御して第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を固定装置 3 の所定位置に搬送させる。第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 はクランプ部 24 で固定されるとともに、吸引部 22 によって第二金属部材 102 の端部が吸引される。

【0097】

ステップ S T 2 において、摩擦攪拌制御部 55 は、摩擦攪拌装置 4 の測定部 34 を突合せ部 J 1 に沿って移動させて固定状態 (セット状態) を測定させる。つまり、測定部 34 で、段差寸法 h、隙間量 D 及び第一金属部材 101 の稜線 101e を測定する。また、測定部 34 で、回転ツール F の初期位置 Y b 0 を測定する。測定部 34 は測定結果を摩擦攪拌制御部 55 に送信する。また、温度調整部 23 の温度センサ 23a は、測定結果を温度制御部 53 に送信する。

【0098】

ステップ S T 3 において、温度制御部 53 の判定部 66 及び摩擦攪拌制御部 55 の判定部 64 は、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 のセット状態が所定の数値範囲内か否かをそれぞれ判定する。判定部 64、66 が、段差寸法 h、隙間量 D、温度 T、回転ツール F の初期位置 Y b 0 の全てを数値範囲内と判定した場合 (ステップ S T 3 の YES)、ステップ S T 5 に移行する。段差寸法 h、隙間量 D、温度 T、及び回転ツール F の初期位置 Y b 0 の少なくとも一つが数値範囲外と判定された場合 (ステップ S T 3 の NO)、判定部 64 又は判定部 66 はワーク番号と関連付けてその第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を数値範囲外品と判定し (ステップ S T 4)、ステップ S T 5 に移行する。

【0099】

ステップ S T 5 において、摩擦攪拌制御部 55 (修正移動ルート生成部 63) は、稜線位置 Y p 及び予め取得した差分 Y L に基づいて修正移動ルート R 2 を生成する。具体的には、稜線位置 Y p を目標移動ルート R 1 として算出するとともに、目標移動ルート R 1 に対して厚板側へ略平行に差分 Y L だけ変位させた位置に修正移動ルート R 2 を設定する。

【0100】

ステップ S T 6 において、摩擦攪拌制御部 55 は、摩擦攪拌装置 4 を制御して所定の回転速度で回転する回転ツール F を第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 に挿入して移動させることで摩擦攪拌接合を行わせる。具体的には、摩擦攪拌制御部 55 は、回転ツ

10

20

30

40

50

ールFを修正移動ルートR2に沿って移動するように制御する。このとき、第一金属部材101及び第二金属部材102への回転ツールFの挿入に伴い、回転ツールFの位置は、修正移動ルートR2の開始位置付近となる挿入前の初期位置Yb0から第二金属部材102側に差分YLの変位が生じて、稜線位置Yp付近に移動する。このようにして、回転ツールFが目標移動ルートR1に沿って移動するようにして摩擦攪拌接合が行われる。

【0101】

ステップST7において、摩擦攪拌制御部55の判定部64は、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置Ynが、許容範囲（数値範囲）M内か否かを判定する。判定部64が、回転ツールFの位置Ynを許容範囲M内であると判定した場合（ステップST7のYES）、ステップST9に移行する。摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置Ynが一部でも許容範囲M外であると判定された場合（ステップST7のNO）、判定部64はワーク番号と関連付けてその第一金属部材101及び第二金属部材102を数値範囲外品と判定し（ステップST8）、ステップST9に移行する。

10

【0102】

ステップST9において、摩擦攪拌接合が終了した後、摩擦攪拌制御部55は、摩擦攪拌装置4の測定部34を突合せ部J1に沿って移動させてバリ高さS及び表面粗さRaを測定させる。

【0103】

ステップST10において、摩擦攪拌制御部55の判定部64は、摩擦攪拌接合後のバリ高さS及び表面粗さRaの両方が所定の数値範囲内か否かを判定する。バリ高さS及び表面粗さRaの両方が所定の数値範囲内であると判定された場合（ステップST10のYES）、ステップST12に移行する。バリ高さS及び表面粗さRaの少なくとも一方が所定の数値範囲外と判定された場合（ステップST10のNO）、判定部64はワーク番号と関連付けてその被接合金属部材103を数値範囲外品と判定し（ステップST11）、ステップST12に移行する。

20

【0104】

ステップST12において、主制御部41は、一の摩擦攪拌接合工程中に数値範囲外品との判定を一度も受けていないか判定する。主制御部41が、数値範囲外品との判定を一度も受けていないと判定した場合（ステップST12のYES）、ステップST13に移行する。主制御部41が、数値範囲外品の判定を一度でも受けたと判定した場合（ステップST12のNO）、ステップST14に移行する。

30

【0105】

ステップST13において、搬送制御部51は、搬送装置2を制御して被接合金属部材103を取り出し、被接合金属部材103を合格品配置エリア15（図6参照）に配置して終了する。

【0106】

ステップST14において、搬送制御部51は、搬送装置2を制御して被接合金属部材103を取り出し、被接合金属部材103を数値範囲外品として数値範囲外品配置エリア16に配置して終了する。

【0107】

以上本実施形態の動作フローの一例を説明したが、適宜変更が可能である。例えば、ステップST3においてセット状態に不具合がある場合、つまり、段差寸法h、隙間量Dが所定の数値範囲外である場合、クランプ部24を解除して、例えば、アームロボット11で第一金属部材101及び第二金属部材102の位置の修正を行ってもよいし、第一金属部材101及び第二金属部材102を固定装置3から取り出して、新たな第一金属部材101及び第二金属部材102を配置してもよい。また、ステップST3において、回転ツールFの初期位置Yb0が所定の数値範囲外である場合、回転ツールFの位置の調整を行ってもよい。

40

【0108】

また、ステップST3において、段差寸法h、隙間量D、温度T、及び回転ツールFの

50

初期位置 Y b 0 を判定しているが、これらの少なくとも一つを判定対象としてもよい。また、ステップ S T 3 において、温度 T が所定の数値範囲外であると判定された場合、温度調整部 2 3 によって加熱又は冷却して温度 T が所定の数値範囲内になってからステップ S T 5 に移行するようにしてもよい。なお、温度調整部 2 3 による温度 T の判定、及び加熱又は冷却は、摩擦攪拌接合工程中に行うようにしてもよい。

【0109】

また、ステップ S T 3 及びステップ S T 7 において N O と判定された場合、自動接合システム 1 を停止させたり、当該判定結果を表示部 4 3 に表示させたり、さらには、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

【0110】

また、図 13 のフローチャートを参照した動作フローの説明では省略したが、ステップ S T 5 における、修正移動ルート生成部 6 3 による修正移動ルート R 2 の生成に先立って、差分 Y L を取得しておくことが好ましい。差分 Y L の取得は、まず、目標移動ルート生成部 6 1 が目標移動ルート R 1 を設定し、設定移動ルート生成部 6 5 が設定移動ルートを生成する。次に、生成された設定移動ルートに従って、金属部材 3 0 1, 3 0 2 に回転ツール F を挿入しないで無負荷の状態で移動させたテスト軌跡 Q 1 と、金属部材 3 0 1, 3 0 2 に回転ツール F を挿入して摩擦攪拌接合を行いながら移動させたテスト軌跡 Q 2 とをそれぞれ得る。そして、テスト軌跡 Q 1 とテスト軌跡 Q 2 との差分から、差分 Y L を取得する。差分 Y L の取得は、ステップ S T 5 よりも前のタイミングで行えばよいが、第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 をセットするステップ S T 1 よりも前に予め行っておくことが好ましい。

【0111】

[B-3. 作用効果]

第一金属部材 1 0 1 の稜線 1 0 1 e (図 7 参照) は、本来直線であることが好ましいが、公差等もあり厳密には直線にはなっていない。また、搬送装置 2 で第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 を架台 2 1 に搬送し固定する際に、固定位置 (セット位置) がずれることもある。したがって、架台 2 1 に設定された基準位置 Y 0 (図 6 参照) をなぞるように回転ツール F を直線移動させたとしても、実際にセットされた突合せ部 J 1 から回転ツール F がずれてしまい、接合品質が低下するおそれがある。特に、本実施形態のように第一金属部材 1 0 1 と第二金属部材 1 0 2 との表面 1 0 1 b, 1 0 2 b の高さ位置が異なる場合、接合位置がわずかにずれるだけでも不具合が発生する傾向がある。

【0112】

しかし、本発明者らの検討により、突合せ部 J 1 の摩擦攪拌接合を行う際に回転ツール F が実際に移動する位置の軌跡は、回転ツール F の移動が制御される位置の軌跡に対して、第二金属部材 1 0 2 側 (薄板側) に向けて略平行に変位していることが見いだされた。このような略平行の変位は、主として、表面の高さ位置が異なるように突き合わされた二つの金属部材のセット状態に起因して生じると考えられる。すなわち、第一金属部材 1 0 1, 3 0 1 と第二金属部材 1 0 2, 3 0 2 とは、第一金属部材 1 0 1, 3 0 1 の表面が第二金属部材 1 0 2, 3 0 2 の表面よりも高くなるように端面同士を突き合わせて段差を備えた突合せ部 J 1, J 3 0 が形成されている。このようにセットされた状態において、回転ツール F を挿入した状態で摩擦攪拌接合を行う場合、回転ツール F が厚板側の第一金属部材 1 0 1, 3 0 1 からの反力を受けることで、回転ツール F の位置が、接合長さの全体にわたって薄板側の第二金属部材 1 0 2, 3 0 2 側へと移動する。このようにして、略平行の変位が生じると考えられる。

【0113】

本実施形態に係る自動接合システム 1 によれば、摩擦攪拌接合を行う前に測定した第一金属部材 1 0 1 の稜線位置 Y p に基づいて回転ツール F の目標移動ルート R 1 を設定するとともに、目標移動ルート R 1 に対して第一金属部材 1 0 1 側 (厚板側) に略平行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 を設定する。そして、回転ツール F を修正移動ルート R 2 に沿って移動するように制御することで、回転ツール F を目標移動ルート R 1 に沿って

摩擦攪拌接合を行うことができるようになった。このように、セットされた第一金属部材 101 ごとの稜線位置 Y_p に基づいて、突合せ部 J1 の摩擦攪拌接合を行う際に生じる変位を補償した位置に回転ツール F を移動するように制御することで、回転ツール F の変位を抑えた的確な移動ルートを容易に設定することができる。これにより接合品質を高めることができる。特に、本実施形態では、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q2 と、無負荷の状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q1 との差分 Y_L の長さに基づいて、目標移動ルート R1 を略平行に変位させた位置に修正移動ルート R2 を設定する。これにより、金属部材 101, 102 のセット状態に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の略平行の変位を抑えた移動ルートを設定して、接合品質を高めることができる。

【0114】

また、アームロボット 31 は、機械のたわみ、癖等があるとともに、回転ツール F が第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 から受ける抵抗もあるため、制御装置 5 が設定した修正移動ルート R2 に対して、回転ツール F が実際に移動するルートが目標移動ルート R1 とずれる場合がある。この点、本実施形態では、稜線位置 Y_p に基づいた目標移動ルート R1 と、予め算出された差分 Y_L に基づいて修正移動ルート R2 を設定することにより、回転ツール F が実際に移動するルートをよりの確に設定することができる。このとき、本実施形態の目標移動ルート R1 又は修正移動ルート R2 によれば、その第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 に応じた適切な位置で回転ツール F を移動させることができる。これにより接合品質をいっそう高めることができる。

【0115】

また、本実施形態に係る自動接合システム 1 によれば、制御装置 5 が設定移動ルートを設定する。そして、制御装置 5 は、回転ツール F を挿入した状態で設定移動ルートに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させた走行軌跡と、回転ツール F を設定移動ルートに沿って移動するように制御して無負荷の状態での移動させた走行軌跡との差分に基づいて、目標移動ルート R1 を第一金属部材 101 側に差分 Y_L だけ略平行に変位させた位置に修正移動ルート R2 を算出する。このように、摩擦攪拌接合を行いながら移動させた走行軌跡に対して、摩擦攪拌装置 4 を無負荷の状態での移動させた場合の走行軌跡と比較して差分 Y_L を得るため、実際に摩擦攪拌装置 4 を運転させた場合に生じる影響を補償することができる。

【0116】

また、回転ツール F を薄板側の第二金属部材 102 側に狙い角度 θ で傾けつつ、基端側ピン F2 のピン段差部 F21 の段差底面 F21a で塑性流動材を押さえながら摩擦攪拌接合を行うことで、バリの発生やアンダーカットの発生を防ぐとともに、接合表面をきれいにすることができる。

【0117】

より詳しくは、基端側ピン F2 の外周面を第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の表面 101b, 102b に接触させて塑性流動材を押さえることにより、バリの発生を抑制することができる。また、基端側ピン F2 の外周面で塑性流動材を押えることができるため、接合表面（表面 101b, 102b）に形成される段差凹溝を無くすか若しくは小さくすることができるとともに、段差凹溝の脇に形成される膨出部を無くすか若しくは小さくすることができる。また、基端側ピン F2 の階段状のピン段差部 F21 は浅く、かつ、出口が広いため、塑性流動材を段差底面 F21a で押えつつ塑性流動材がピン段差部 F21 の外部に抜けやすくなっている。そのため、基端側ピン F2 で塑性流動材を押えても基端側ピン F2 の外周面に塑性流動材が付着し難い。よって、表面粗さ R_a を小さくすることができるとともに、接合品質を好適に安定させることができる。

【0118】

また、段差寸法 h が所定の数値範囲外であると、バリ高さ S が減少して、アンダーカットが発生するおそれがある。また、隙間量 D が所定の数値範囲外であると、バリ高さ S が減少して、アンダーカットが発生するおそれがある。この点、本実施形態によれば、測定部 34 で摩擦攪拌接合前に得られた段差寸法 h 、隙間量 D のいずれかが所定の数値範囲外

10

20

30

40

50

である場合、例えば、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を固定装置 3 に再セットすることで、適切にセットした状態で摩擦攪拌接合を好適に行うことができる。また、所定の数値範囲外である場合、例えば、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102（被接合金属部材 103）を数値範囲外品と判定することで品質管理を容易に行うことができる。

【0119】

ここで、回転ツールの移動ルートを設定して移動を制御したとしても、実際に摩擦攪拌接合を行った場合には、回転ツールの走行軌跡が変化して、稜線位置に沿って回転ツールが移動しない場合がある。例えば、摩擦攪拌装置 4、中でもアームロボット 31 によっては、目標移動ルート R1 に向けた回転ツール F の変位量に変化することがある。また、アームロボット 31 によっては、稜線位置 Yp に対する回転ツール F の移動方向の傾きに変化が生じたり、回転ツール F の走行軌跡が部分的に変化したりすることがある。この他、回転ツール F の損耗や架台 21 の損傷によっても、回転ツール F の走行軌跡が変化することがある。また、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102、並びにこれらの突合せ条件が変わった場合にも、回転ツール F の走行軌跡が変化することがある。

【0120】

本実施形態に係る自動接合システム 1 によれば、摩擦攪拌接合中において、判定部 64 は、実際に移動している回転ツール F の位置 Yn が許容範囲（所定の数値範囲）M 内か否かを判定するため、接合品質をより向上させることができる。

【0121】

また、修正移動ルート生成部 63 は、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置が許容範囲 M 外と判定された場合には、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置に応じて回転ツール F の位置を再設定した修正移動ルート R2 を算出する。これにより、実際に移動している回転ツール F の位置 Yn に基づいて、摩擦攪拌接合中の情報をフィードバックすることで、回転ツール F の走行軌跡をよりの確に修正して、接合品質をさらに向上させることができる。

【0122】

さらに、摩擦攪拌接合後においては、検査部（本実施形態では測定部 34 と兼用）で摩擦攪拌接合後の接合部のバリ高さ S 及び表面粗さ Ra を測定することにより、接合品質をより高めることができる。

【0123】

つまり、本実施形態の自動接合システム 1 によれば、摩擦攪拌接合を行う全数をモニタリングすることができ、全数に対して品質検査を行うことができるため、品質管理を容易に行うことができる。また、摩擦攪拌接合前のセット状態（段差寸法 h、隙間量 D、温度 T、回転ツール F の初期位置 Yb0）を、品質管理の判断要素に入れることで、接合品質（品質の信頼度）をより向上させることができる。

【0124】

また、工程の途中で数値範囲外品と判定されても最後まで摩擦攪拌接合を行うことで、システムを停止させたり、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を再セットさせたりする場合に比べて作業効率を高めることができる。また、工程の途中で数値範囲外品と判定されても、最後まで摩擦攪拌接合を行うことにより、数値範囲外品のデータを蓄積して、より好適な接合条件や数値範囲の設定に資することができる。

【0125】

また、本実施形態の自動接合システム 1 では、摩擦攪拌接合前、摩擦攪拌接合中及び摩擦攪拌接合後の要因を品質管理の判断要素に繰り入れることで、品質管理をバランスよく行うことができる。

【0126】

また、本実施形態では、摩擦攪拌装置 4 の荷重付与部 33 及び荷重測定部 35 により、反力荷重をフィードバックさせて回転ツール F が受ける反力荷重が概ね一定となるように荷重制御されているため、接合精度を高めることができる。つまり、本実施形態では、Y

方向に関しては許容範囲Mを設けるとともに、Z方向については荷重制御がされているため接合精度をより高めることができる。

【0127】

また、架台21の表面側に載置部25が設けられるとともに、載置部25の表面側に陽極酸化被膜が施されているため、架台21の耐摩耗性、耐食性等を高めることができる。

【0128】

ここで、第二金属部材102は、板厚寸法が小さいためその端部が浮き上がりやすくなっている。また、後記する実施例でも示すように、第二金属部材102の端部が浮き上がり段差寸法hが過少となると接合不良になりやすい傾向もみられる。この点、本実施形態によれば、第二金属部材102の端部を裏面102c側から吸引する吸引部22を備えているため、第二金属部材102の端部の浮き上がりを抑制することができる。これにより、接合の精度をより向上させることができる。

【0129】

また、隙間量Dについては、後記する実施例に示すように、バリ高さSは終了位置側よりも開始位置側の隙間量に大きく影響する傾向がみられる。したがって、隙間量Dの判定対象については、例えば、開始位置から所定距離（例えば、5～15cm）における隙間量Dを抽出して、所定の数値範囲と対比・判定させてもよい。

【0130】

また、下記の実施例で示すように、温度Tが、例えば、30℃未満であると空洞欠陥が大きくなり、60～120℃であると空洞欠陥が小さいか、発生しない傾向がみられる。本実施形態のように、温度Tの所定の数値範囲を設定し、品質管理の判断要素に入れることで接合品質をより向上させることができる。

【0131】

【C．第一変形例】

【C-1．自動接合システム】

次に、前記した第一実施形態の第一変形例について説明する。第一変形例では、修正移動ルートの算出方法が前記した実施形態と相違する。第一変形例では、前記した実施形態と相違する部分を中心に説明する。前記した第一実施形態では、目標移動ルートR1に対して略平行に移動させた位置に修正移動ルートR2を設定したが（図9参照）、第一変形例では、図14に示すように、目標移動ルートR1aに対して斜めに変位させた位置に修正移動ルートR2aを設定する。

【0132】

図15は、テスト軌跡Q1aと、テスト軌跡Q2aをと示す模式図である。図15に示すように、第一変形例では、摩擦攪拌接合を行う前に、一对の金属部材301、302を用いて修正移動ルートR2aを生成するためのテスト試行を行う。金属部材301、302は、実際に摩擦攪拌接合を行う第一金属部材101及び第二金属部材102と同じ、若しくは、近い材料、厚さ等であることが好ましい。つまり、第一金属部材101及び第二金属部材102による突合せ部J1と同様に、金属部材301、302同士を突き合わせて突合せ部J30を形成する。すなわち、このテスト試行では、第一金属部材101及び第二金属部材102と比して、同様の材種の金属からなり、同様の板厚寸法を有する板状部材を、同様の高さの段差を形成するようにして突き合わせた、表面の高さ位置が異なる二つの金属部材301、302を用いることが好ましい。

【0133】

テスト軌跡Q1aは、回転ツールFを金属部材301、302に挿入しないで、予め設定された設定移動ルートに従って、試験的に摩擦攪拌装置4を移動させた走行軌跡を示している。つまり、テスト軌跡Q1aは、無負荷状態で摩擦攪拌装置4のアームロボット31を移動させた走行軌跡である。このとき、回転ツールを金属部材301、302に挿入せずに無負荷の状態で移動させたものであれば、回転ツールFを取り付けずに移動させたものであってもよい。

【0134】

一方、テスト軌跡Q 2 aは、回転ツールFを金属部材3 0 1, 3 0 2に挿入して、予め設定されたテスト軌跡Q 1 aと同じ設定移動ルートに従って、試験的に摩擦攪拌を行った軌跡である。テスト軌跡Q 1 a及びテスト軌跡Q 2 aはいずれも金属部材3 0 1, 3 0 2手前側から奥側に向けて回転ツールFを移動させた。テスト軌跡Q 1 aとテスト軌跡Q 2 aは、いずれも同じ設定移動ルートにしたがって移動させたにも関わらず、実際に摩擦攪拌を行うことで所定の角度の差分 $\sigma 1$ が発生する。テスト軌跡Q 1 aとテスト軌跡Q 2 aは摩擦攪拌の始点の位置では一致しているものの、テスト軌跡Q 2 aは、無負荷の状態のテスト軌跡Q 1 aから、左側（薄板（第二金属部材3 0 2）側）へ角度 $\sigma 1$ の差分をもって斜めに変位している。これにより、テスト軌跡Q 1 aとテスト軌跡Q 2 aとは、奥側の差分Y L bが、中間付近側の差分Y L aよりも大きくなっている。つまり、接合方向と直

10

【0 1 3 5】

このような回転ツールFのずれは、表面の高さ位置が異なるように突き合わされた二つの金属部材に回転ツールFが接触することで、アームロボット3 1に生じるたわみによって回転ツールFの位置がテスト軌跡Q 1 aからテスト軌跡Q 2 aに変位することに起因すると推察される。また、アームロボット3 1の癖、金属部材の材料抵抗等にも影響を受けていると推察される。

【0 1 3 6】

したがって、摩擦攪拌接合でテスト軌跡Q 2 aを走行させたい場合は、差分 $\sigma 1$ を考慮して設定移動ルートを設定する必要がある。差分 $\sigma 1$ は、第一金属部材1 0 1及び第二金属部材1 0 2の摩擦攪拌接合前に、金属部材に回転ツールFを挿入した状態で摩擦攪拌接合を行ったテスト試行と、無負荷の状態で行ったテスト試行とを行い、これらに基づいて予め算出することができる。より詳しくは、差分 $\sigma 1$ は、第一金属部材1 0 1及び第二金属部材1 0 2による突合せ部J 1と同様に突合せ部を形成した金属部材に回転ツールFを挿入した状態で摩擦攪拌接合を行いながら回転ツールFを移動させた場合のテスト軌跡Q 2 aと、回転ツールFを金属部材に挿入せずに無負荷の状態で移動させた場合のテスト軌跡Q 1 aとの走行軌跡の角度の差分 $\sigma 1$ から算出することができる。

20

【0 1 3 7】

なお、テスト軌跡Q 1 a及びテスト軌跡Q 2 aを得るための設定移動ルートは、突き合わせた金属部材の突合せ部J 3 0付近をテスト軌跡Q 2 aが通過するように設定することが好ましい。特に、テスト軌跡Q 2 aの開始位置付近で突合せ部J 3 0を通過して、突合せ部J 3 0に沿って、厚板の金属部材側に向けて移動するように設定移動ルートを設定することが好ましい。なお、テスト試行を行う際は、金属部材3 0 1, 3 0 2の少なくとも一方に回転ツールFを挿入してテスト軌跡Q 1 a, Q 2 aを取得すればよい。

30

【0 1 3 8】

修正移動ルート生成部6 3では、図1 4に示すように、目標移動ルートR 1 a及び差分 $\sigma 1$ に基づいて、修正移動ルートR 2 aを算出する。本変形例では、図1 5に示すように、回転ツールFを挿入した状態で摩擦攪拌接合を行ったテスト軌跡Q 2 aは、無負荷の状態のテスト軌跡Q 1 aから左側（薄板側）へ差分 $\sigma 1$ だけ斜めに変位する傾向があるため、修正移動ルートR 2 aは、目標移動ルートR 1 aに対して右側（厚板（第一金属部材1 0 1）側）へ差分 $\sigma 1$ だけ斜めに変位させた位置に設定する。言い換えれば、修正移動ルート生成部6 3は、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡Q 2 aが無負荷の状態での走行軌跡であるテスト軌跡Q 1 aに対して斜めに変位した角度 $\sigma 1$ の分だけ、テスト軌跡Q 2 aが変位した向きとは反対方向に向けて、目標移動ルートR 1 aの進行方向（傾き）を斜めに変位させた位置に修正移動ルートR 2 aを設定する。つまり、修正移動ルートR 2 aは、回転ツールFの進行方向に向かうにつれて目標移動ルートR 1 aから徐々に離間するように設定する。摩擦攪拌制御部5 5は、修正移動ルートR 2 aで回転ツールFが移動するように制御することにより、差分 $\sigma 1$ が吸収されて、目標移動ルートR 1 a上を回転ツールFが移動して、摩擦攪拌接合が行われるようになる。

40

50

【0139】

第一変形例において、修正移動ルート生成部63は、判定部64によって摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置が許容範囲M外と判定された場合、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置に応じて回転ツールFの位置を再設定した修正移動ルートR2aを算出することが好ましい。具体的には、摩擦攪拌接合中の回転ツールFのY方向の位置が第一金属部材101側となっていた箇所では、この箇所の回転ツールFの位置が第二金属部材102側となるように修正移動ルートR2aを再設定する。同様に、摩擦攪拌接合中の回転ツールFのY方向の位置が第二金属部材102側となっていた箇所では、この箇所の回転ツールFの位置が第一金属部材101側となるように修正移動ルートR2aを再設定する。

【0140】

また、判定部64は、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置が許容範囲M外と判定された場合、その第一金属部材101及び第二金属部材102をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定してもよい。

【0141】

なお、テスト軌跡Q1a及びテスト軌跡Q2aの差分 $\sigma 1$ が小さい又は無い場合は、修正移動ルートは設定せずに、目標移動ルートR1aに基づいて回転ツールFを移動させてもよい。また、差分 $\sigma 1$ の取得（算出）は摩擦攪拌接合ごとに行う必要はないが、例えば、回転ツールFを交換する場合、第一金属部材101及び第二金属部材102の板厚寸法、材種、表面の高さ位置等を変更する場合に応じて取得し、差分 $\sigma 1$ と修正移動ルートR2aを算出することが好ましい。

【0142】

[C-2. 動作フロー]

本変形例に係る自動接合システム1は、図13を参照して説明した第一実施形態に係る自動接合システムの動作フローと同様に動作を行うことができる。

【0143】

本変形例に係る自動接合システム1では、ステップST5において、摩擦攪拌制御部55（修正移動ルート生成部63）は、稜線位置Yp及び予め取得した差分 $\sigma 1$ に基づいて修正移動ルートR2aを生成する。具体的には、稜線位置Ypを目標移動ルートR1aとして算出するとともに、目標移動ルートR1aに対して斜めに差分 $\sigma 1$ だけ変位させた位置に修正移動ルートR2aを設定する。

【0144】

ステップST5における、修正移動ルート生成部63による修正移動ルートR2aの生成に先立って、差分 $\sigma 1$ を取得しておくことが好ましい。差分 $\sigma 1$ の取得は、まず、目標移動ルート生成部61が目標移動ルートR1aを設定し、設定移動ルート生成部65が設定移動ルートを生成する。次に、生成された設定移動ルートに従って、金属部材301、302に回転ツールFを挿入しないで無負荷の状態で移動させたテスト軌跡Q1aと、金属部材301、302に回転ツールFを挿入して摩擦攪拌接合を行いながら移動させたテスト軌跡Q2aとをそれぞれ得る。そして、テスト軌跡Q1aとテスト軌跡Q2aとの差分から、差分 $\sigma 1$ を取得する。差分 $\sigma 1$ の取得は、ステップST5よりも前のタイミングで行えばよいが、第一金属部材101及び第二金属部材102をセットするステップST1よりも前に予め行っておくことが好ましい。

【0145】

[C-3. 作用効果]

回転ツールFを挿入した状態で所定の移動ルートに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させると、回転ツールFの走行軌跡が移動ルートからずれしまい、ルートフローが生じるなどして接合品質が低下するおそれがある。例えば、図6に示すように、アームロボット31を備える摩擦攪拌装置4によって、第一金属部材101及び第二金属部材102との突合せ部J1に対して平行な移動ルートを通過して摩擦攪拌接合しようとした場合には、突合せ部J1から回転ツールFの走行軌跡が斜めに変位して、回転ツールFの位置が進行方向に進むにつれてずれが広がってしまうことがあった。

【0146】

本発明者らの検討により、突合せ部 J 1 の摩擦攪拌接合を行う際に回転ツール F が実際に移動する走行軌跡は、回転ツール F の移動が制御される位置の軌跡に対して、斜めに変位しているケースが見いだされた。このような斜めの変位は、主として、摩擦攪拌装置 4 のアームロボット 3 1 の姿勢に起因して生じると考えられる。すなわち、金属部材 1 0 1 , 1 0 2 の突合せ部 J 1 上での接合に伴って接合方向に向けて回転ツール F が進むにつれて、先端に回転ツール F が取り付けられたアームロボット 3 1 の姿勢が変化する。例えば、アームロボット 3 1 が多関節のアーム 3 1 a を備える場合、多関節のアーム 3 1 a を伸ばし広げるようにして摩擦攪拌装置 4 の本体から遠い位置を接合する場合と、多関節のアーム 3 1 a を折り縮めるようにして摩擦攪拌装置 4 の本体から近い位置を接合する場合とでは、その姿勢は異なることになる。走行位置によってアームロボット 3 1 の姿勢が変化すると、アームロボット 3 1 が力を受ける方向が変わり、アームロボット 3 1 のばね定数が変化することになる。回転ツール F を金属部材 1 0 1 , 1 0 2 に挿入することでアームロボット 3 1 にたわみが生じることになるが、回転ツール F の走行位置によってアームロボット 3 1 のばね定数が変化することで、アームロボット 3 1 のたわみ量が変化することになる。回転ツール F を所定の移動ルートに沿って移動するように制御して移動させた場合には、回転ツール F が移動するにつれてアームロボット 3 1 のたわみ量が大きくなり、回転ツール F の走行軌跡が所定の移動ルートからずれていくことになる。このようにして、斜めの変位が生じると考えられる。

【0147】

本変形例に係る自動接合システム 1 によれば、摩擦攪拌接合を行う前に測定した第一金属部材 1 0 1 の稜線位置 Y p に基づいて回転ツール F の目標移動ルート R 1 a を設定するとともに、目標移動ルート R 1 a に対して斜めに変位させた位置に修正移動ルート R 2 a を設定する。そして、回転ツール F を修正移動ルート R 2 a に沿って移動するように制御することで、回転ツール F を目標移動ルート R 1 a に沿って摩擦攪拌接合を行うことができるようになった。このように、セットされた第一金属部材 1 0 1 ごとの稜線位置 Y p に基づいて、突合せ部 J 1 の摩擦攪拌接合を行う際に生じる変位を補償した位置に回転ツール F を移動するように制御することで、回転ツール F の変位を抑えた的確な移動ルートを容易に設定することができる。これにより接合品質を高めることができる。特に、本変形例では、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 2 a と、無負荷の状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 1 a との差分 $\sigma 1$ の角度に基づいて、目標移動ルート R 1 a の進行方向（傾き）を斜めに変位させた位置に修正移動ルート R 2 a を設定する。これにより、金属部材 1 0 1 , 1 0 2 を接合するための摩擦攪拌装置 4 のアームロボット 3 1 の姿勢に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の斜めの変位を抑えた移動ルートを設定して、接合品質を高めることができる。

【0148】

[D. 第二変形例]

次に、前記した第一実施形態の第二変形例について説明する。前記した実施形態では、摩擦攪拌接合を行う前に段差寸法 h を測定したが、段差寸法 h に換えて又は段差寸法 h に加えて第一厚さ寸法 t 1 1 及び第二厚さ寸法 t 1 2（図 1 2 参照）を測定してもよい。

【0149】

図 1 2 に示すように、第一厚さ寸法 t 1 1 は、架台 2 1 の表面から第一金属部材 1 0 1 の表面 1 0 1 b までの距離（高さ寸法）を言う。第二厚さ寸法 t 1 2 は、架台 2 1 の表面から第二金属部材 1 0 2 の表面 1 0 2 b までの距離（高さ寸法）を言う。

【0150】

第一厚さ寸法 t 1 1 及び第二厚さ寸法 t 1 2 は、例えば、測定部 3 4 で測定することができる。つまり、摩擦攪拌接合を行う前に、突合せ部 J 1 に沿って測定部 3 4 を移動させることにより、第一厚さ寸法 t 1 1 及び第二厚さ寸法 t 1 2 を得ることができる。このとき、突合せ部 J 1 に加え、架台 2 1 の表面の高さ位置を測定できるように測定部 3 4 を移動させることで、架台 2 1 の表面から第一金属部材 1 0 1 の表面 1 0 1 b 及び

第二金属部材 102 の表面 102b までの距離を計測することができる。

【0151】

第二変形例では、判定部 64 は、摩擦攪拌接合を行う前又は摩擦攪拌接合中において測定部 34 から送信された結果（第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} ）が、所定の数値範囲内か否かを判定する。判定部 64 は、第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} が所定の数値範囲外と判定した場合、その第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定する。判定部 64 は、当該判定結果を主制御部 41 に送信するとともに記憶部 44 に格納する。当該判定結果は、表示部 43 に表示させるようにしてもよいし、判定結果に応じて音や光などを出力する報知手段で報知するようにしてもよい。

10

【0152】

また、摩擦攪拌接合を行う前又は摩擦攪拌接合中において第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} が所定の数値範囲外と判定された場合、クランプ部 24 は、直ちに第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の固定を解除する制御を行ってもよい。この場合、例えば、搬送装置 2 のアームロボット 11 で第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の位置を微修正（再セット）するようにしてもよいし、当該第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を架台 21 から取り出して、新たな第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を配置するようにしてもよい。

【0153】

ここで、摩擦攪拌接合の際、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の板厚は接合品質に大きな影響を与える。第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の板厚の組み合わせによっては、回転ツール F をどのように制御しても接合不良となる場合もある。また、例えば、海外で部材を調達する場合は、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の板厚のばらつきが大きくなる傾向がある。

20

【0154】

この点、第二変形例のように、摩擦攪拌接合を行う前又は摩擦攪拌接合中において第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} を測定しつつ、これらの測定結果が所定の数値範囲か否かを判定することにより、品質管理の精度をより高めることができる。

【0155】

また、第二変形例の制御装置 5 は、第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} が所定の数値範囲外と判定した場合、回転ツール F の狙い角、前進角、挿入量及び回転ツール F の位置の少なくとも一つを予め設定されていた条件から変更するように制御してもよい。第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} に対する回転ツール F の狙い角、前進角、挿入量及び回転ツール F の位置については、厚さの異なる第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を複数準備して事前に行った試験から最適又は最適に近い条件を用意することができる。このような第二変形例によれば、第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} に応じて、最適又は最適に近い条件で摩擦攪拌接合を行うことができるため、安定した接合品質維持することができる。

30

【0156】

なお、前進角とは、進行方向に対して回転ツール F を側方から見た場合、鉛直軸に対する回転ツール F の回転中心軸 U の角度を言う。挿入量とは、第一金属部材 101 の表面 101b から先端側ピン F3 の平坦面の中心 F5（図 12 参照）までの距離を言う。

40

【0157】

ここで、第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} の測定は、摩擦攪拌接合を行う前に、段差寸法 h 等の測定とは別に測定してもよい。測定部は、例えば、ラインセンサ（レーザー変位計）を用いることができる。図 17 に示すように、板厚の大きい第一金属部材 101 と、板厚の小さい第二金属部材 102 とを突き合わせて突合せ部 J1 を形成する場合、当該測定部をルート E1、ルート E2 及びルート E3 と位置を変えて複数回（ここでは 3 回）移動させることで摩擦攪拌接合前の第一厚さ寸法 t_{11} 及び第二厚さ寸法 t_{12} を測定することができる。

50

【0158】

図16に示すように、ルートE1は、第二金属部材102の表面102bの点e1から第一金属部材101の表面101bの点e2まで突合せ部J1に対して斜めに測定部を移動させる。つまり、測定部は第二金属部材102の表面102b、突合せ部J1及び第一金属部材101の表面101bを通過する。これにより、図17の上段に示すように、段差寸法hを測定することができる。

【0159】

また、ルートE2は、第二金属部材102の表面102bの点e3から架台21の表面の点e4まで突合せ部J1に対して斜めに測定部を移動させる。ルートE2とルートE1とは平行になっている。つまり、測定部は第二金属部材102の表面102b、突合せ部J1、第一金属部材101の表面101b及び架台21を通過する。これにより、図17の中段に示すように、段差寸法h及び架台21の表面から第一金属部材101の表面101bまでの距離（第一厚さ寸法t11）を測定することができる。

【0160】

また、ルートE3は、第二金属部材102の表面102bの点e5から架台21の表面の点e6まで突合せ部J1に対して斜めに測定部を移動させる。ルートE3とルートE2とは平行になっている。つまり、測定部は第二金属部材102の表面102b及び架台21を通過する。これにより、図17の下段に示すように、架台21の表面から第二金属部材102の表面102bまでの距離（第二厚さ寸法t12）を測定することができる。

【0161】

以上のようにして第一厚さ寸法t11及び第二厚さ寸法t12を測定してもよい。また、第一厚さ寸法t11及び第二厚さ寸法t12は他の方法、他の器具で測定してもよい。

【0162】

[E. 第二実施形態]

次に、本発明の第二実施形態について説明する。第二実施形態では、修正移動ルートの算出方法が前記した第一実施形態と相違する。第二実施形態では、第一実施形態と相違する部分を中心に説明する。前記した第一実施形態では、回転ツールFを挿入した状態で移動させた走行軌跡と、回転ツールFを無負荷の状態で移動させた走行軌跡との差分に基づいて、目標移動ルートR1を変位させた位置に修正移動ルートR2を設定した。第二実施形態では、回転ツールFを挿入した状態で移動させた走行軌跡と、目標移動ルートとの差分に基づいて、設定移動ルートP1bを変位させた位置に修正移動ルートR2bを設定する。第二実施形態において、設定移動ルートP1bを略平行に変位させた位置に修正移動ルートR2bを設定する手法は、上記の第一実施形態で説明した差分YLに基づく修正移動ルートR2の設定と同様に行うことができる。また、第二実施形態において、設定移動ルートP1bを斜めに変位させた位置に修正移動ルートR2bを設定する手法は、上記の第一実施形態の第一変形例で説明した差分σ1に基づく修正移動ルートR2aの設定と同様に行うことができる。

【0163】

図18は、第二実施形態に係る修正移動ルートの算出方法を説明するための模式平面図である。図18では、目標移動ルートR1bと、設定移動ルートP1bと、テスト軌跡Q2bと、修正移動ルートR2bとを示している。第二実施形態に係る修正移動ルートの算出方法では、一対の金属部材301, 302を用いて修正移動ルートR2bを生成するためのテスト試行を行う。金属部材301, 302は、実際に摩擦攪拌接合を行う第一金属部材101及び第二金属部材102と同じ、若しくは、近い材料、厚さ等であることが好ましい。つまり、第一金属部材101及び第二金属部材102による突合せ部J1と同様に、金属部材301, 302同士を突き合わせて突合せ部J30を形成する。すなわち、このテスト試行では、第一金属部材101及び第二金属部材102と比して、同様の材種の金属からなり、同様の板厚寸法を有する板状部材を、同様の高さの段差を形成するようにして突き合わせた、表面の高さ位置が異なる二つの金属部材301, 302を用いることが好ましい。

【0164】

目標移動ルートR1bは、第一実施形態で説明した目標移動ルートR1と同様に、突合せ部J1の摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツールFが移動する目標となる軌跡を設定するものである。

【0165】

設定移動ルートP1bは、第一実施形態で説明した設定移動ルート生成部65と同様に、回転ツールFを移動させるための指示位置となるものである。設定移動ルートP1bは、回転ツールFの軌跡の変位を利用して、修正移動ルートR2bを生成するために用いられる。

【0166】

テスト軌跡Q2bは、回転ツールFを金属部材301, 302に挿入して、回転ツールFを設定移動ルートP1bに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させた走行軌跡である。

【0167】

修正移動ルートR2bは、第一実施形態で説明した修正移動ルートR2と同様に、回転ツールFを移動させるための指示位置となるものである。特に、修正移動ルートR2bは、突合せ部J1の摩擦攪拌接合を行う際に、回転ツールFがこのルートに沿って移動するように制御される軌跡を示す。回転ツールFを修正移動ルートR2bに沿って移動するように制御することで、回転ツールFは目標移動ルートR1bに沿って移動するように摩擦攪拌接合が行われる。また、後述するように、修正移動ルートR2bは、テスト軌跡Q2b及び目標移動ルートR1bを利用して設定される。

【0168】

第二実施形態に係る修正移動ルートの算出方法では、まず、目標移動ルート生成部61が、目標移動ルートR1bを設定する。目標移動ルートR1bは、回転ツールFを実際に移動させたいルートである。目標移動ルートR1bは、本変形例では第一金属部材301の表面に突合せ部J30と平行に設定する。

【0169】

次に、設定移動ルート生成部65が、目標移動ルートR1bから平行に変位させた位置に設定移動ルートP1bを設定する。設定移動ルートP1bは、摩擦攪拌装置4に入力して定まる仮想の移動ルートである。設定移動ルートP1bは、目標移動ルートR1bに対して突合せ部J30とは反対側に設定されている。

【0170】

次に、設定移動ルートP1bに沿って回転ツールFを移動させてテスト軌跡（走行軌跡）Q2bを取得する。テスト軌跡Q2bは、測定データに基づく近似直線として得ることができる。ここでは、回転ツールFを第一金属部材301の表面に挿入し、設定移動ルートP1bに沿って回転ツールFを移動させる。このとき、前記したように、突合せ部J30に沿って回転ツールFを移動させると、第一金属部材301及び第二金属部材302と回転ツールFとが接触することで、アームロボット31の姿勢に応じて回転ツールFの走行軌跡が斜めに変位する。また、金属部材302の板厚が、金属部材301の板厚よりも薄いため、回転ツールFの走行軌跡が、薄板側（金属部材302）へ略平行に変位する。これにより、回転ツールFを進行させるにつれて、テスト軌跡Q2bと目標移動ルートR1bとは、傾きと距離において差分が生じる。

【0171】

そこで、修正移動ルート生成部63は、このようなテスト軌跡Q2bと目標移動ルートR1bとの差分に基づいて、修正移動ルートR2bを設定する。具体的には、修正移動ルート生成部63は、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡Q2bが目標移動ルートR1bに対して斜めに変位した角度の分だけ、テスト軌跡Q2bが変位した向きとは反対方向に向けて、設定移動ルートP1bの進行方向（傾き）を斜めに変位させるとともに、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡Q2bが目標移動ルートR1bに対して略平行に変位した長さの分だけ、テスト軌跡Q2bが変位した向きとは反対

10

20

30

40

50

方向に向けて、設定移動ルート P 1 b を略平行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 b を設定する。

【0172】

修正移動ルート R 2 b に沿って回転ツール F を移動させることにより、回転ツール F が目標移動ルート R 1 b 上を移動するようになる。

【0173】

このように第二実施形態では、修正移動ルート R 2 b を設定することができる。摩擦攪拌制御部 55 は、修正移動ルート R 2 b で回転ツール F が移動するように制御することにより、差分が吸収されて、目標移動ルート R 1 b 上を回転ツール F が移動して、摩擦攪拌接合が行われるようになる。すなわち、本実施形態では、回転ツール F を挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 2 b と、目標移動ルート R 1 b との差分の角度に基づいて、設定移動ルート P 1 b の進行方向（傾き）を斜めに変位させた位置に修正移動ルート R 2 b を設定する。これにより、第一実施形態の第一変形例と同様に、金属部材 101、102 を接合するための摩擦攪拌装置 4 のアームロボット 31 の姿勢に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の斜めの変位を抑えた移動ルートを設定して、接合品質を高めることができる。また、本実施形態では、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 2 b と、目標移動ルート R 1 b との差分 Y L の長さに基づいて、設定移動ルート P 1 b を略平行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 b を設定する。これにより、第一実施形態と同様に、金属部材 101、102 のセット状態に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の略平行の変位を抑えた移動ルートを設定して、接合品質を高めることができる。したがって、設定移動ルート P 1 b の進行方向を斜めに変位させるとともに、略平行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 b を設定することで、接合を行う摩擦攪拌装置による影響と、接合を行う金属部材による影響との両方の影響を緩和して摩擦攪拌を行うことで、接合品質をいっそう高めることが可能となる。

【0174】

また、第二実施形態では、ツールを挿入した状態での走行軌跡であるテスト軌跡 Q 2 b と、目標移動ルート R 1 b との差分に基づいて、設定移動ルート P 1 b を変位させた位置に修正移動ルート R 2 b を設定する。これにより、本実施形態では、前記した第一実施形態で説明したように無負荷状態で回転ツール F を移動させる必要がないため、無負荷状態での試験運転を行わずとも接合時の走行軌跡と目標移動ルートと比較することで、修正移動ルート R 2 b の設定を容易に行うことができる。

【0175】

なお、上述した第二実施形態では、一对の金属部材 301、302 を用いて修正移動ルート R 2 b を生成するためのテスト試行を行う場合を例に挙げて説明したが、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を用いて得られる接合結果を利用して、修正移動ルート R 2 b を生成するようにしてもよい。すなわち、第一金属部材 101 と第二金属部材 102 との突合せ部 J 1 に対する略同等の条件での摩擦攪拌接合を連続して複数回行っている場合において、ある回の接合の際の目標移動ルート R 1 b、設定移動ルート P 1 b、及びテスト軌跡 Q 2 b に応じて修正移動ルート R 2 b を設定し、この修正移動ルート R 2 b を以降の回の接合における設定移動ルート P 1 b として利用するようにしてもよい。

【0176】

[F. その他]

上述した各実施形態及び各変形例は、適宜組み合わせることができる。

例えば、自動接合システム 1 は、第一実施形態で説明した修正移動ルートの設定と、第一実施形態の第一変形例で説明した修正移動ルートの設定とを組み合わせ、修正移動ルートを設定するようにしてもよい。

【0177】

この場合、制御装置 5 は、図 19 及び図 20 に示すように、稜線位置 Y p に基づいて目標移動ルート R 1 c を設定して、目標移動ルート R 1 c に対して第一金属部材 101 側に斜めに変位させるとともに、目標移動ルート R 1 c に対して第一金属部材 101 側に略平

行に変位させた位置に修正移動ルート R 2 c を算出する。

【0178】

より具体的には、図 20 に示すように、制御装置 5 は、一对の金属部材 301, 302 の少なくとも一方に回転ツール F を挿入した状態で、回転ツール F を所定の設定移動ルートに沿って移動するように制御して摩擦攪拌接合を行いながら移動させたテスト軌跡 Q 2 c を取得する。また、制御装置 5 は、回転ツール F を金属部材 301, 302 に挿入せずに無負荷の状態で、回転ツール F をテスト軌跡 Q 2 c を取得した際と同等の設定移動ルートに沿って移動するように制御して移動させたテスト軌跡 Q 1 c を取得する。テスト軌跡 Q 2 c は、無負荷の状態のテスト軌跡 Q 1 c から左側（薄板（第二金属部材 302）側）へ差分 Y L だけ略平行に変位する（仮想線 r 参照）とともに、左側（薄板（第二金属部材 302）側）へ角度 $\sigma 2$ の差分をもって斜めに変位している。図 19 に示すように、修正移動ルート生成部 63 は、テスト軌跡 Q 2 c とテスト軌跡 Q 1 c との差分 Y L と差分 $\sigma 2$ に基づいて、目標移動ルート R 1 c の進行方向を回転ツール F の進行方向に向かうにつれて厚板（第一金属部材 101）側に向けて差分 $\sigma 2$ だけ斜めに変位させる（図 19 の仮想線 r 参照）とともに、変位させた目標移動ルート R 1 c（仮想線 r）を厚板（第一金属部材 101）側に差分 Y L だけに略平行に変位させた位置に回転ツール F の指示位置を設定した修正移動ルート R 2 c を算出する。

10

【0179】

これにより、修正移動ルート生成部 63 は、金属部材 101, 102 のセット状態に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の略平行の変位を抑えた移動ルートを設定することができる。また、修正移動ルート生成部 63 は、金属部材 101, 102 を接合するための摩擦攪拌装置 4 のアームロボット 31 の姿勢に応じて生じる、回転ツール F の走行軌跡の斜めの変位を抑えた移動ルートを設定することができる。したがって、接合を行う金属部材による影響と、接合を行う摩擦攪拌装置による影響との両方の影響を緩和して、摩擦攪拌を行うことで、接合品質をいっそう高めることができる。

20

【実施例】

【0180】

<試験 1：段差寸法 h とバリ高さ S との関係>

次に、本発明の実施例について説明する。まず、段差寸法 h とバリ高さ S との関係を確認するための試験 1 を行った。試験 1 では、図 21 A に示すように、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を用意した。段差寸法 h とは、第一金属部材 101 の表面 101 b から第二金属部材 102 の表面 102 b までの寸法を言う。バリ高さ S は、第二金属部材 102 の表面 102 b からバリの先端までの距離を測定部 34 で測定した。

30

【0181】

第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 はいずれもアルミニウム合金である。第一金属部材 101 の板厚寸法は 2.0 mm であり、第二金属部材 102 の板厚寸法は 1.2 mm である。したがって、図 21 A に示すように、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 の裏面 101 c, 102 c の全面が架台 21 に面接触すると段差寸法 h は 0.8 mm となる。

【0182】

図 21 B は、実施例の試験 1 において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が大きい状態を示す模式側面図である。図 21 B に示すように、両部材を突き合わせた際に、第一金属部材 101 の端部が上方に反り上がってしまうと、段差寸法 h が大きくなる（過大となる）場合がある。第一金属部材 101 と架台 21 との間にゴミなどの異物が入り込んで反り上がることもある。

40

【0183】

一方、図 21 C は、実施例の試験 1 において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が小さい状態を示す模式側面図である。図 21 C に示すように、両部材を突き合わせた際に、第二金属部材 102 の端部が上方に反り上がってしまうと、段差寸法 h が小さくなる（過少となる）場合がある。第二金属部材 102 と架台 21 との間にゴミなどの異物が

50

入り込んで反り上がることもある。

【0184】

また、図21Dは、実施例の試験1において、第一金属部材及び第二金属部材の段差寸法が小さい他の状態を示す模式側面図である。図21Dに示すように、両部材を突き合わせた際に、第二金属部材102の端部が湾曲してしまうと、段差寸法 h が小さくなる（過少となる）場合がある。特に、第二金属部材102は板厚が小さいため、端部が反ったり湾曲したりしやすい。

【0185】

試験1では、第一金属部材101及び第二金属部材102で一組の試験体を複数用意し、それぞれの試験体について突合せ部J1の全長にわたって測定部34を移動させて段差寸法 h を測定した後、それぞれ同じ条件で摩擦攪拌接合を行った。接合後にも各試験体について突合せ部J1の全長にわたって測定部34を移動させてバリ高さ S を計測した。

【0186】

図22は、実施例の試験1の段差寸法とバリ高さとの関係を示すグラフである。図22では、複数の試験体から2体抽出し、さらにそれぞれの試験体から2地点を抽出して段差寸法 h とバリ高さ S を確認した。図22の結果G1は、一方の試験体において段差寸法 h が小さい位置を抽出しており、段差寸法 $h = 0.73\text{ mm}$ であり、バリ高さ $S = -0.185\text{ mm}$ である。バリ高さ S がマイナスの場合、アンダーカットになっていることを意味している。

【0187】

図22の結果G2は、一方の試験体において段差寸法 h が概ね中央値となる位置を抽出しており、段差寸法 $h = 0.75\text{ mm}$ であり、バリ高さ $S = 0.067\text{ mm}$ である。

【0188】

図22の結果V1は、他方の試験体において段差寸法 h が概ね中央値となる位置を抽出しており、段差寸法 $h = 0.78\text{ mm}$ であり、バリ高さ $S = 0.065\text{ mm}$ である。結果V2は、他方の試験体において段差寸法が大きい位置を抽出しており、段差寸法 $h = 0.93\text{ mm}$ であり、バリ高さ $S = 0\text{ mm}$ である。

【0189】

図22の結果から、段差寸法 h は、バリ高さ S に影響していることがわかる。結果G1であるとアンダーカットが発生しているため、段差寸法 h は過小となっている。また、結果V2に示すように、段差寸法 $h = 0.93\text{ mm}$ を超えると、アンダーカットが発生する傾向がみられる。したがって、段差寸法 h の所定の数値範囲は、例えば、 $0.75 \leq h \leq 0.93$ と設定することが好ましい。

【0190】

また、試験1によると、段差寸法 h が中央値（ 0.8 mm ）付近から次第に大きくなると回転ツールFの位置 Y_n が、板厚が小さい第二金属部材102側に変位してバリ高さ S が小さくなる傾向がみられた。一方、段差寸法 h が過少になると（ 0.73 mm 程度になると）回転ツールFの位置 Y_n への影響は小さいものの、第二金属部材102の端部の浮き上がり分だけ回転ツールFが第二金属部材102の端部を削り取り、アンダーカットが発生したと推察される。

【0191】

また、段差寸法 h の過少側のグラフの傾きは、過大側のグラフの傾きよりも大きい。つまり、バリ高さ S の低下量は、第二金属部材102の浮き上がりに大きく影響すると考えられる。

【0192】

<試験2：隙間量Dとバリ高さSの関係>

次に、隙間量Dとバリ高さSとの関係を確認するための試験2を行った。試験2では、第一金属部材101及び第二金属部材102で一組の試験体を各6体（試験体TP11，TP12，TP13，TP14，TP15，TP16）用意して、摩擦攪拌接合を行った。摩擦攪拌接合を行う前に、測定部34を突合せ部J1に沿って移動させて隙間量Dをそ

10

20

30

40

50

れぞれ計測した。隙間量 D は、摩擦攪拌接合前における各部材同士の隙間寸法である。第一金属部材101及び第二金属部材102はいずれもアルミニウム合金である。第一金属部材101と第二金属部材102との段差寸法 h は0.8mmである。接合長は1800mmである。

【0193】

図23は、実施例の試験2の走行距離と接合前の隙間量との関係を示すグラフである。図23に示すように、試験体TP11, TP12, TP13は、開始位置（走行距離0mm）から1000mmまでの隙間量を計測した結果である。試験体TP14, TP15, TP16は、終了位置（走行距離1800mmの位置）から1000mmまでの隙間量を計測した結果である。図23に示すように、摩擦攪拌接合前の隙間量 D は、開始位置側では開始位置から離れるにつれて隙間量 D が徐々に小さくなっている。一方、摩擦攪拌接合前の隙間量 D は、走行距離の真ん中付近から終了位置に近づくにつれて隙間量 D が大きくなっている。第一金属部材101及び第二金属部材102の端面101a及び102aは、通常は略直線状に形成されている。このため、第一金属部材101及び第二金属部材102を突き合わせた際に、開始位置及び終了位置のいずれか一方が近接して、他方には隙間が生じるように、第一金属部材101及び第二金属部材102が平行よりもやや開いた状態で配置されることで、開始位置又は終了位置に近づくにつれて隙間量 D が大きくなったと考えられる。

10

【0194】

図24は、実施例の試験2の開始位置側の隙間量と、開始位置側のバリ高さとの関係を示すグラフである。図24は、実施例の試験2の終了位置側の隙間量と、終了位置側のバリ高さとの関係を示すグラフである。

20

【0195】

図24では、図23の試験体TP11から結果Ds1を抽出し、図23の試験体TP12から結果Ds2を抽出し、図23の試験体TP13から結果Ds3を抽出した。

結果Ds1では、隙間量 $D=0.6$ mm、バリ高さ $S=-0.01$ mmであった。

結果Ds2では、隙間量 $D=0.4$ mm、バリ高さ $S=0$ mmであった。

結果Ds3では、隙間量 $D=0$ mm、バリ高さ $S=0.029$ mmであった。

【0196】

図25では、図23の試験体TP14から結果De1を抽出し、試験体TP15から結果De2を抽出し、試験体TP16から結果De3を抽出した。

30

結果De1では、隙間量 $D=0.95$ mm、バリ高さ $S=0.06$ mmであった。

結果De2では、隙間量 $D=0.70$ mm、バリ高さ $S=0.05$ mmであった。

結果De3では、隙間量 $D=0.30$ mm、バリ高さ $S=0.06$ mmであった。

【0197】

図24及び図25に示すように、開始位置側の隙間量 D が大きくなると、開始位置側のバリ高さ S は小さくなった。ただし、結果Ds1では、アンダーカットになっている。隙間量 D が大きくなると、同じ設定荷重（押込荷重）であっても回転ツールが深く挿入され、回転ツールFが板厚の小さい第二金属部材102側に変位したと考えられる。

【0198】

40

図25に示すように、終了位置側では、終了位置側の隙間量 D によらず、終了位置側のバリ高さ S は概ね一定だった。これは、突合せ部J1が接合されて摩擦攪拌接合が終了位置側に進むにつれて、隙間が徐々に小さくなることに起因すると推察される。また、摩擦熱によって第一金属部材101と第二金属部材102が膨張して隙間が小さくなることに起因すると推察される。図24及び図25の結果に鑑みると、終了位置側よりも開始位置側の隙間量 D の方がバリ高さ S に大きく影響することが分かった。つまり、隙間量 D と所定の数値範囲を対比する際に、突合せ部J1の全長の隙間量を対象としてもよいが、例えば、開始位置から所定の距離（例えば、50～100mm）の隙間量を抽出して対比することが好ましい。

【0199】

50

<試験3：摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置とバリ高さ及び酸化被膜との関係>

次に、摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置とバリ高さ及び酸化被膜との関係を確認するための試験3を行った。図26に示すように、試験3では、第一金属部材101と第二金属部材102とを突き合わせて突合せ部J1を形成した後、回転ツールFを突合せ部J1に沿って移動させるのではなく、あえて突合せ部J1から徐々に離間するように斜めに移動させ、回転ツールFの位置 Y_n と、バリ高さ S 及び酸化被膜 K との関係について確認した。図26及び図27では、説明の便宜上、 Y 方向の移動が理解しやすいように X 方向と Y 方向の縮尺を変更して描画している。図26では、図面の手前側から奥側に向けて回転ツールFを移動させている。

【0200】

図26では、回転ツールFを無負荷状態で移動させる際に制御する設定移動ルート R_t と、回転ツールFを金属部材に挿入して摩擦攪拌を行った際に実際に通過した移動ルート R_n との関係を示している。図26に示すように、本実施例では、回転ツールFの移動ルート R_n は、地点 α から地点 β を通るように設定した。地点 α は突合せ部J1上で、かつ、接合距離が100mmの位置である。地点 β は接合距離が1800mmの位置で、かつ、突合せ部J1から第一金属部材101側へ1.0mmの位置である。

【0201】

図27は、本実施例において接合距離と Y 方向位置との関係を示したグラフである。図27の設定移動ルート R_t は、テスト試行用に設定した移動ルートである。位置 Y_t は、回転ツールFを挿入せずに、設定移動ルート R_t に沿って移動させたときに、摩擦攪拌装置4の回転駆動手段の回転中心軸が実際に通った軌跡を示している。当該軌跡は、測定部34（ラインセンサ）で測定することができる。図27中のマイナス側は、突合せ部J1を挟んで第一金属部材101側であり、プラス側は第二金属部材102側である。位置 Y_t に示すように、回転ツールFを装着せずに、無負荷状態で移動させると設定移動ルート R_t と、回転中心軸が実際に通った軌跡は概ね重なる。

【0202】

一方、図27に示すように、回転ツールFを装着し、設定移動ルート R_t に沿って実際に摩擦攪拌接合を行うと、回転ツールFは回転ツールFの位置 Y_n で表される軌跡を通る。つまり、機械（アームロボット31）のたわみ、癖等があるとともに、回転ツールFが第一金属部材101及び第二金属部材102から受ける抵抗もあるため、開始位置で設定移動ルート R_t 上に回転ツールFを挿入しても、本実施例では回転ツールFは直ちに $Y=0$ の付近に変位し、その後は設定移動ルート R_t からずれた位置を、設定移動ルート R_t と概ね平行に移動する。図27の $(Y_n - Y_t)$ 値で示すように、この実施例では、設定移動ルート R_t と位置 Y_n で表される軌跡との間に約1.5mmずれ（差分）が発生している。したがって、摩擦攪拌接合では、この軌跡の差分を考慮して移動ルート（修正移動ルート）を設定することが好ましい。

【0203】

図28Aは、実施例の試験3の接合距離が100mmの位置の断面図である。図28Bは、実施例の試験3の接合距離が600mmの位置の断面図である。図28Cは、実施例の試験3の接合距離が800mmの位置の断面図である。図29Aは、実施例の試験3の接合距離が1000mmの位置の断面図である。図29Bは、実施例の試験3の接合距離が1200mmの位置の断面図である。図29Cは、実施例の試験3の接合距離が1800mmの位置の断面図である。

【0204】

図28A～28C、図29A～29Cは、突合せ部J1から摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置 Y_n が、接合距離が進むにつれて突合せ部J1から離間している状態を示している。図中の点線は、回転ツールFの塑性化領域 W の範囲を示している。バリ高さ S は、第二金属部材102の表面102bからの高さ寸法を計測している。

【0205】

図28Aに示すように、接合距離100mmの位置の突合せ部J1と回転ツールFの位

10

20

30

40

50

置 Y_n は一致している。バリ高さ S (S_{10}) は 0.034 mm である。

図 28 B に示すように、接合距離 600 mm の位置の突合せ部 J 1 から回転ツール F の位置 Y_n までの距離 L_j は $554\text{ }\mu\text{m}$ である。バリ高さ S (S_{11}) は 0.095 mm である。

【0206】

図 28 C に示すように、接合距離 800 mm の位置の距離 L_j は $686\text{ }\mu\text{m}$ である。バリ高さ S (S_{12}) は 0.105 mm である。

【0207】

図 29 A に示すように、接合距離 1000 mm の位置の距離 L_j は $743\text{ }\mu\text{m}$ である。バリ高さ S (S_{13}) は 0.092 mm である。

図 29 B に示すように、接合距離 1200 mm の位置の距離 L_j は $840\text{ }\mu\text{m}$ である。バリ高さ S (S_{14}) は 0.113 mm である。

【0208】

図 29 C に示すように、接合距離 1800 mm の距離 L_j は $1085\text{ }\mu\text{m}$ である。バリ高さ S (S_{15}) は 0.123 mm である。

【0209】

図 28 A ~ 28 C、図 29 A ~ 29 C に示すように、回転ツール F の位置 Y_n が突合せ部 J 1 から離間するにつれて、バリ高さ S (第二金属部材 102 側のバリ高さ) が徐々に大きくなっていることがわかる。換言すると、回転ツール F の位置 Y_n が第二金属部材 102 側に寄るとバリ高さ S が小さくなることがわかる。

【0210】

図 30 A は、実施例の試験 3 の接合距離が 100 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。図 30 B は、実施例の試験 3 の接合距離が 600 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。図 30 C は、実施例の試験 3 の接合距離が 800 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。図 31 A は、実施例の試験 3 の接合距離が 1000 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。図 31 B は、実施例の試験 3 の接合距離が 1200 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。図 32 は、実施例の試験 3 の接合距離が 1800 mm の位置における突合せ部のマクロ断面図である。つまり、図 30 A ~ 30 C、図 31 A、31 B、図 32 は、各位置における突合せ部 J 1 周りのマクロ断面図であって、酸化被膜 K の大きさ、形状を示している。

【0211】

図 30 A に示すように、接合距離が 100 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 0$) における酸化被膜は存在しない (K_0)。

図 30 B に示すように、接合距離が 600 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 554\text{ }\mu\text{m}$) における酸化被膜 K (K_1) は $33\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0212】

図 30 C に示すように、接合距離が 800 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 686\text{ }\mu\text{m}$) における酸化被膜 K (K_2) は $59\text{ }\mu\text{m}$ である。

図 31 A に示すように、接合距離が 1000 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 743\text{ }\mu\text{m}$) における酸化被膜 K (K_3) は $72\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0213】

図 31 B に示すように、接合距離が 1200 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 840\text{ }\mu\text{m}$) における酸化被膜 K (K_4) は $115\text{ }\mu\text{m}$ である。

図 32 に示すように、接合距離が 1800 mm の位置 (回転ツール F の位置 $Y_n = 1085\text{ }\mu\text{m}$) における酸化被膜 K (K_5) は $235\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0214】

図 33 は、実施例の試験 3 において、回転ツールの位置とバリ高さ及び酸化被膜高さとの関係を示すグラフである。図 33 に示すように、バリ高さ S は、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y_n が突合せ部 J 1 から離間するにつれて徐々に大きくなっている。また、酸化被膜 K も、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y_n が突合せ部 J 1 から離間する

10

20

30

40

50

につれて徐々に大きくなっている。換言すると、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置 Y n が、突合せ部 J 1 に近接すると、バリ高さ S 及び酸化被膜 K のいずれも小さくなる。

【0215】

図 33 の結果によると、例えば、バリ高さ S 及び酸化被膜 K の高さの閾値を 0.10 mm と設定した場合、回転ツール F の位置 Y n は、突合せ部 J 1 から第二金属部材 102 側に向けて 0.6 mm (600 μm) 以内に設定することが好ましい。

【0216】

したがって、図 34 に示すように、測定部 34 を突合せ部 J 1 に沿って移動させて第一金属部材 101 の稜線を測定して稜線 Y p を測定した場合、稜線 Y p を中心にして第一金属部材 101 側に 0.6 mm ($m = 0.6 \text{ mm}$)、第二金属部材 102 側に 0.3 mm ($m = 0.3$) の範囲を許容範囲 M と設定することが好ましい。なお、当該許容範囲 M の範囲は、あくまで例示であって、要求される接合精度等に基づいて適宜設定すればよい。

【0217】

<試験 4：温度と空洞欠陥サイズの関係>

次に、温度と空洞欠陥サイズとの関係を確認するための試験 4 を行った。試験 4 では、第一金属部材 101 及び第二金属部材 102 を 4 体（試験体 TP41, TP42, TP43, TP44）用意して接合前に温度を設定し、それぞれの試験体で摩擦攪拌接合を行った。

【0218】

試験体 TP41 では、ヒーターなし（室温 20℃）で摩擦攪拌接合を行い、接合速度を 500 mm/min から 1250 mm/min まで上昇させた。試験体 TP42 では、温度調整部 23 で 30℃ に設定して摩擦攪拌接合を行い、接合速度を 600 mm/min から 1000 mm/min まで上昇させた。

【0219】

また、試験体 TP43 では、温度調整部 23 で 60℃ に設定して接合速度を 600 mm/min から 1000 mm/min まで上昇させた。また、試験体 TP44 では、温度調整部 23 で 90℃ に設定した接合速度を 600 mm/min から 1000 mm/min まで上昇させた。

【0220】

図 35 に示すように、試験体 TP41 では、温度調整部 23 の温度が 20℃ であり、空洞欠陥のサイズが著しく大きかった。接合速度を上昇させると、上昇させるにつれて空洞欠陥サイズは大きくなった。試験体 TP42 では、温度調整部 23 の温度が 30℃ であり、空洞欠陥サイズの大きさは約 50 μm² であった。温度調整部 23 の温度を 60～90℃ に設定すると、空洞欠陥はほぼ見られなかった。この場合、接合速度を上昇させても空洞欠陥は見られなかった。

【0221】

以上より、温度調整部 23 の温度 T の所定の数値範囲は $60 \leq T \leq 90$ と設定することが好ましい。この場合、接合速度を上昇させても空洞欠陥が発生しづらいため、空洞欠陥の発生を抑制しつつ、接合時間を短くすることができる。

【0222】

<試験 5：回転ツール F の走行軌跡の確認>

次に、設定した回転ツール F の移動ルートと実際に摩擦攪拌接合を行った際の回転ツール F の軌跡との差分を確認するための試験（試験 5）を行った。試験 5 では、第一金属部材 101 と第一金属部材 101 よりも板厚が小さい第二金属部材 102 とを突き合わせて突合せ部 J 1 を形成し、回転ツール F を用いて突合せ部 J 1 を摩擦攪拌接合した。突合せ部 J 1 の長さは 1300 mm である。

【0223】

図 36 は、試験 5 における回転ツールの走行軌跡を示したグラフである。横軸が X 方向（回転ツール F の進行方向）を示し、縦軸が Y 方向（回転ツール F の進行方向の左右方向）を示している。突合せ部 J 1 をゼロとし、突合せ部 J 1 から第一金属部材 101 側をマ

10

20

30

40

50

イナスとしている。図 3 6 に示すように、試験 5 の設定移動ルート（第一移動ルート）Q 1 b は、 $Y_n = -3.8 \text{ mm}$ の位置に、突合せ部 J 1 ($Y_n = 0$) に対して平行に設定した。設定移動ルート P 1 b は、第一金属部材 1 0 1 上に設定している。

【0 2 2 4】

試験 5 の走行軌跡 N 1 は、設定移動ルート P 1 b に沿って摩擦攪拌接合を行った際に、回転ツール F が実際に移動した軌跡である。走行軌跡 N 1 に示すように、回転ツール F は、設定移動ルート P 1 b よりも突合せ部 J 1 側（第二金属部材 1 0 2 側）を移動する。また、回転ツール F は、進行方向に向けて徐々に突合せ部 J 1 に近接するように変位する。つまり、設定移動ルート P 1 b は突合せ部 J 1 に平行に設定しているにもかかわらず、実際に摩擦攪拌接合を行うと、進行するにしたがい回転ツール F は薄板側（第二金属部材 1 0 2）にシフトする。試験 5 では、概ね $Y_n = -1.3 \sim -0.5$ の範囲で回転ツール F が移動したことが分かった。

【0 2 2 5】

図 3 7 は、試験 5 における各位置のマクロ組織図及びミクロ組織図である。マクロ組織図は回転ツール F の進行方向に対する縦断面図である。ミクロ組織図は各位置の塑性化領域の一部の拡大図である。ここでは、採取位置 $X = 115, 675, 1205 \text{ mm}$ の位置の接合状況を確認した。図 3 7 に示すように、採取位置 $X = 115$ の位置では、ルートフロー（接合欠陥）が 0.16 mm 発生していた。一方、採取位置 $X = 675, 1205 \text{ mm}$ の位置では、ルートフローがほぼ発生していない。つまり、突合せ部 J 1 から離れるほどルートフローが発生するおそれが高くなることが分かった。また、目標移動ルートに対してその差分だけ平行移動させて修正移動ルートを設定した場合、目標移動ルートと摩擦攪拌接合を行った回転ツール F の走行軌跡とがずれるおそれがあることが分かった。

【0 2 2 6】

＜試験 6：修正移動ルートを斜めに設定する＞

そこで、試験 5 の条件下で前記した第二変形例を行って修正移動ルート（第二移動ルート）R 2 b を算出し、当該修正移動ルート R 2 b に沿って摩擦攪拌接合を行った際の接合精度を確認するための試験（試験 6）を行った。図 3 8 は、試験 6 に係る修正移動ルートの算出方法を説明するための模式平面図である。図 3 8 に示すように、目標移動ルート R 1 b を $Y_n = -0.9 \text{ mm}$ の位置に設定した。目標移動ルート R 1 b は、突合せ部 J 1 ($Y_n = 0$) に対して平行になっている。目標移動ルート R 1 b は、摩擦攪拌接合を行った際に、回転ツール F を走行させたいルートである。

【0 2 2 7】

設定移動ルート（第一移動ルート）Q 1 b は、試験 5 と同じように $Y_n = -3.8 \text{ mm}$ の位置に、突合せ部 J 1 ($Y_n = 0$) と平行に設定した。テスト軌跡（走行軌跡）Q 2 b は、試験 5 の走行軌跡 N 1 から得られた近似直線である。

【0 2 2 8】

まず、目標移動ルート R 1 b、設定移動ルート P 1 b 及びテスト軌跡 Q 2 b に基づいて修正移動ルート R 2 b を算出する。修正移動ルート R 2 b は、目標移動ルート R 1 b に対して線対称となるようにテスト軌跡 Q 2 b の傾きを反転させつつ、目標移動ルート R 1 b から所定の距離で突合せ部 J 1 から離間する方向に平行に移動させて算出する。所定の距離は、設定移動ルート P 1 b からテスト軌跡 Q 2 b までの最短距離 D b を言う。

【0 2 2 9】

次に、修正移動ルート R 2 b に沿って回転ツール F を移動させて突合せ部 J 1 に対して実際に摩擦攪拌接合を行う。図 3 9 は、試験 6 における回転ツールの走行軌跡を示したグラフである。図 3 9 に示すように、試験 6 の走行軌跡 N 2 は、修正移動ルート R 2 b に沿って摩擦攪拌接合を行った際に、回転ツール F が実際に移動した軌跡である。線形 Q 3 a は、走行軌跡 N 2 の近似直線である。線形 Q 3 a を X 軸及び Y 軸で示される一次関数で表すと $y = 0.0001x - 0.955$ となる。

【0 2 3 0】

一方、試験 5 で行った走行軌跡 N 1 の近似直線であるテスト軌跡 Q 2 b を X 軸及び Y 軸

10

20

30

40

50

で示される一次関数を表すと、 $y = 0.0007x - 1.332$ となる。このように、修正移動ルート R 2 b に沿って回転ツール F を移動させて得られた線形 Q 3 a は、テスト軌跡 Q 2 b よりも傾きが小さく、かつ、線形 Q 3 a の切片が目標移動ルート R 1 b ($Y_n = -0.9 \text{ mm}$ 、図 3 8 参照) に近い値となっている。

【0231】

図 4 0 は、試験 6 における各位置のマクロ組織図である。マクロ組織図は回転ツール F の進行方向に対する縦断面図である。図 4 1 は、試験 6 における各位置のミクロ組織図である。ミクロ組織図は各位置の塑性化領域の一部の拡大図である。ここでは、採取位置 $X = 115, 450, 675, 1205 \text{ mm}$ の位置の接合状況を確認した。 Y_n 値は各位置における突合せ部 J 1 からの距離である。 $F_z N$ は各位置における回転ツール F の軸方向に作用する反力荷重である。図 4 0 に示すように、修正移動ルート R 2 b に沿って摩擦攪拌接合を行った場合、各採取位置とも接合状態は良好であった。図 4 1 に示すように、修正移動ルート R 2 b に沿って摩擦攪拌接合を行った場合、各採取位置ともバリ(段差)は小さくすることができた。また、各採取位置ともルートフローは発生しなかった。

【0232】

以上より、設定移動ルート P 1 b に沿って回転ツール F を移動させた場合に比べ、修正移動ルート R 2 b に沿って回転ツール F を移動させた方が、より目標移動ルート R 1 b により近い位置を摩擦攪拌接合できることが分かった。また、修正移動ルート R 2 b に沿って回転ツール F を移動させた場合、接合部の接合状況は良好であった。

【0233】

図 4 2 は、試験 5 及び試験 6 の回転ツールの走行軌跡の差分を示すグラフである。線形 N 1 a は、試験 5 の走行軌跡 N 1 と設定移動ルート P 1 b との差分を表したものである。線形 N 2 a は、試験 6 の走行軌跡 N 2 と修正移動ルート R 2 b との差分である。図 4 2 に示すように、線形 N 1 a と線形 N 2 a は概ね同じ値となっている。これは、回転ツール F を進行させてアームロボット 3 1 の姿勢が変化することで、アーム 3 1 a が力を受ける方向が変わり、断面二次モーメントが変化するとともにたわみ量も変化するためと考えられる。つまり、たわみ量(差分)は、アームロボット 3 1 の姿勢(走行位置 X 方向の姿勢)によって決まるものであると推察される。

【0234】

<試験 7：回転ツールの左右位置及び回転ツールに作用する反力荷重>

図 4 3 は、試験 7 の接合部を示す断面図である。試験 7 では、第一金属部材 1 0 1 と第一金属部材 1 0 1 よりも板厚が小さい第二金属部材 1 0 2 とを突き合わせて突合せ部 J 1 を形成し、回転ツール F を用いて突合せ部 J 1 を摩擦攪拌接合した。図 4 3 に示すように、ここでは、摩擦攪拌接合を行った際に、Y 位置(回転ツール F の進行方向に対する左右位置)と、Z 位置を測定して、これらが接合部に与える影響について確認するための試験(試験 7)を行った。試験 7 は条件を変えて三種類(試験 7 (1)、試験 7 (2)、試験 7 (3))を行った。

【0235】

図 4 3 に示すように、Y 位置は、突合せ部 J 1 から先端側ピン F 3 の平坦面の中心 F 5 までの距離を言う。Z 位置は、厚板側の第一金属部材 1 0 1 の表面から先端側ピン F 3 の平坦面の中心 F 5 までの深さを言い、回転ツール F の軸方向に受ける荷重(反力荷重) F_z を測定することで把握することができる。図 4 4 は、試験 7 (1) における回転ツールの Y 位置及び荷重の関係を示すグラフである。

【0236】

試験 7 (1) では、任意の設定移動ルートを設定し、その設定移動ルートに沿って回転ツール F を移動させて摩擦攪拌接合を行う。突合せ部 J 1 の接合長さは 1300 mm である。図 4 4 に示すように、線形 H 1 は回転ツール F の走行軌跡を示している。線形 H 1 によれば、回転ツール F は突合せ部 J 1 よりも厚板側(第一金属部材 1 0 1)を突合せ部 J 1 に対して概ね平行に移動している。線形 H 2 は、試験 7 (1) を行った際に回転ツール F の軸方向に作用した荷重 F_z を示している。荷重 F_z は多少の増減はあるものの概ね一

定の値になっている。

【0237】

図45は、試験7(1)における各位置のマクロ組織図である。マクロ組織図は回転ツールFの進行方向に対する縦断面図である。ここでは、採取位置X α (手前側部分)、X β (中央部分)、X γ (奥側部分)の位置の接合状況を確認した。図45に示すように、採取位置X α 、X β 、X γ の各位置において接合状況は良好であった。

【0238】

図46は、試験7(1)において回転ツールのY n 値と荷重F z の関係を示すグラフである。このグラフでは、回転ツールの位置Y n は、負の値が大きくなると厚板側に向かい、正の値が大きくなると薄板側に向かうように示している。グラフの線形N10は、試験7(1)における回転ツールFの位置Y n と荷重F z の軌跡を表している。線形N10は、ある程度まとまった範囲内に収まっていることが分かる。

10

【0239】

図47は、試験7(1)においてケースKA、KB、KC、KDのマクロ組織図及びミクロ組織図を示している。マクロ組織図は進行方向に対する縦断面図である。ミクロ組織図は各ケースの塑性化領域の一部の拡大図である。図47のミクロ組織に示すように、ケースKA、KCではルートフローが発生している。また、マクロ組織に示すように、ケースKBでは接合部の板厚が大きく減少している。一方、ケースKDではルートフローの発生や接合部の板厚の減少は発生していない。つまり、回転ツールFの位置Y n 及び荷重F z が許容範囲(所定の数値範囲)を外れると接合欠陥が発生するおそれがあることが分かった。

20

【0240】

図48は、試験7(2)において回転ツールのY n 値と荷重F z の相関関係を示すグラフである。図48の線形N11は、試験7(2)における回転ツールFの位置Y n と荷重F z の軌跡を表している。試験7(2)では、試験7(1)に対してY位置及び荷重を変えて摩擦攪拌接合を行った。

【0241】

プロットN12(○印)における条件では、ミクロ組織の観察結果が良好であった。プロットN13(△印)の条件では、ミクロ組織の観察結果が概ね良好だが、小さいルートフローが発生した。プロットN14(×印)の条件では、ミクロ組織の観察結果が不良であった。

30

【0242】

図49は、試験7(3)において回転ツールのY n 値と荷重F z の関係を示すグラフである。図49の線形N15は、試験(3)における回転ツールFの位置Y n と荷重F z の軌跡を表している。試験7(3)ではY位置及び荷重の条件を変えて13種類の摩擦攪拌接合を行い、その結果を重ね合わせて表示している。プロットN16(○印)における条件では、ミクロ組織の観察結果が良好であった。プロットN17(×印)における条件では、ミクロ組織の観察結果が不良であった。

【0243】

また、試験7(1)～(3)によれば、回転ツールFの位置Y n が大きくなるほど(回転ツールFが突合せ部J1から離れて薄板側に向かうほど)、接合部の板厚が小さくなる傾向があることが分かった。また、回転ツールFの位置Y n が小さくなるほど(回転ツールFが突合せ部J1から遠ざかり厚板側に向かうほど)、ルートフローが増大する傾向があることが分かった。また、荷重が小さくなるほど、ルートフローが増大する傾向があることが分かった。なお、荷重が過大となると、接合部の板厚が小さくなる傾向にあると考えられる。

40

【0244】

このように、回転ツールFの摩擦攪拌接合中の回転ツールFの位置Y n 及び回転ツールFの軸方向に作用する荷重(反力荷重)F z の少なくとも一方を測定し、これらの測定結果のうち少なくとも一方が許容範囲か否か判定するようにしてもよい。修正移動ルート生

50

成部 6 3 は、判定部 6 4 によって摩擦攪拌接合中の回転ツール F の左右位置及び回転ツール F の軸方向に作用する反力荷重の少なくとも一方が許容範囲外と判定された場合、つまり、予め設定された所定の数値範囲外と判定された場合、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の位置に応じて回転ツール F の位置を再設定した修正移動ルートを算出することが好ましい。また、反力荷重をフィードバックさせて回転ツール F が受ける反力荷重が概ね一定となるように荷重制御を行うことが好ましい。これにより、接合精度をより高めることができる。

【 0 2 4 5 】

また、判定部 6 4 は、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の左右位置及び荷重 F z の少なくとも一方が許容範囲外と判定された場合、その第一金属部材 1 0 1 及び第二金属部材 1 0 2 をワーク番号と関連付けて数値範囲外品と判定してもよい。これにより、品質管理を容易に行うことができる。なお、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の左右位置及び荷重 F z のうち、回転ツール F の左右方向位置のみを測定し、当該測定結果に基づいて許容範囲か否か判定するようにしてもよい。また、摩擦攪拌接合中の回転ツール F の左右位置及び荷重 F z のうち、荷重 F z のみを測定し、当該測定結果に基づいて許容範囲か否か判定するようにしてもよい。また、各許容範囲については、予め適宜設定すればよい。

【符号の説明】

【 0 2 4 6 】

- 1 自動接合システム
- 2 搬送装置
- 3 固定装置
- 4 摩擦攪拌装置
- 5 制御装置
- 2 2 吸引部
- F 回転ツール
- F 2 基端側ピン
- F 3 先端側ピン
- R 1 目標移動ルート
- R 2 修正移動ルート
- θ 狙い角度
- h 段差寸法
- D 隙間量
- T 温度

10

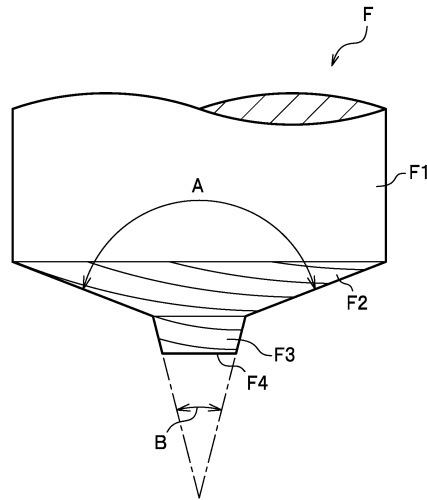
20

30

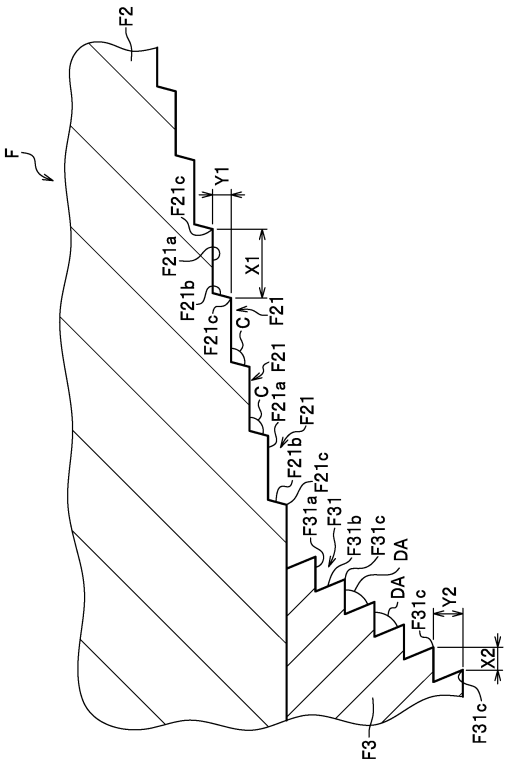
40

50

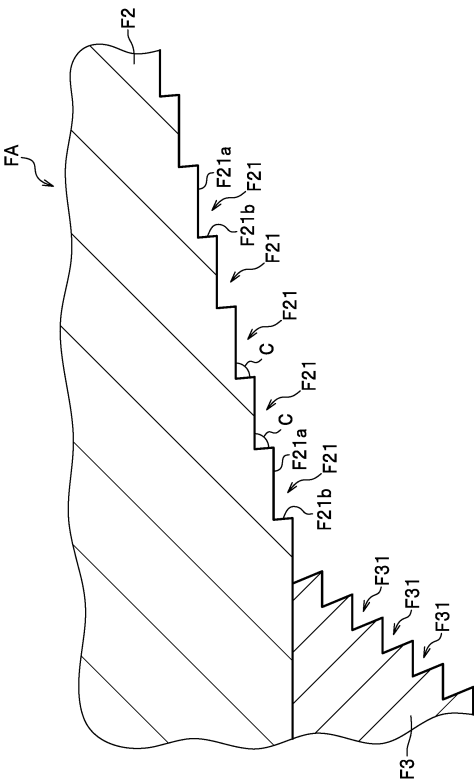
【図面】
【図 1】



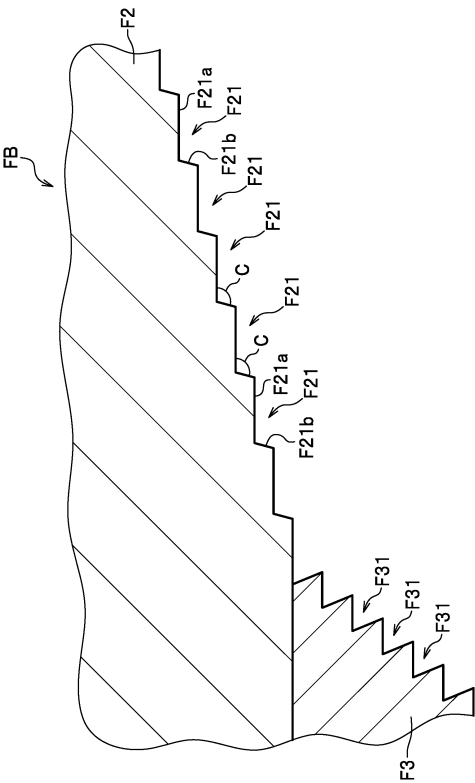
【図 2】



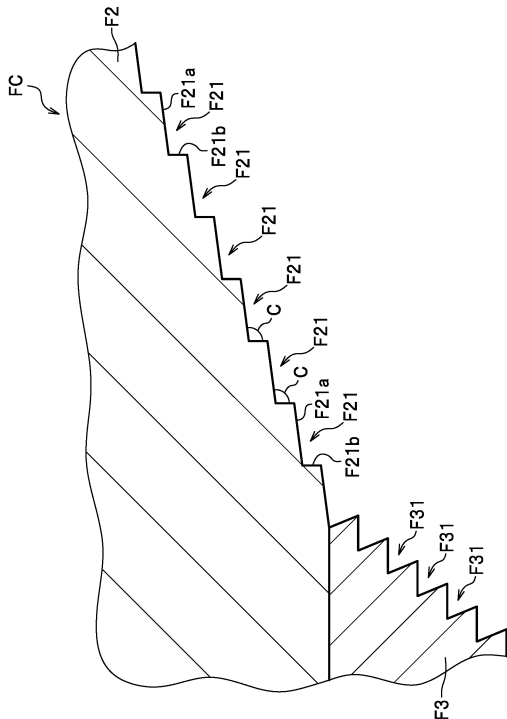
【図 3】



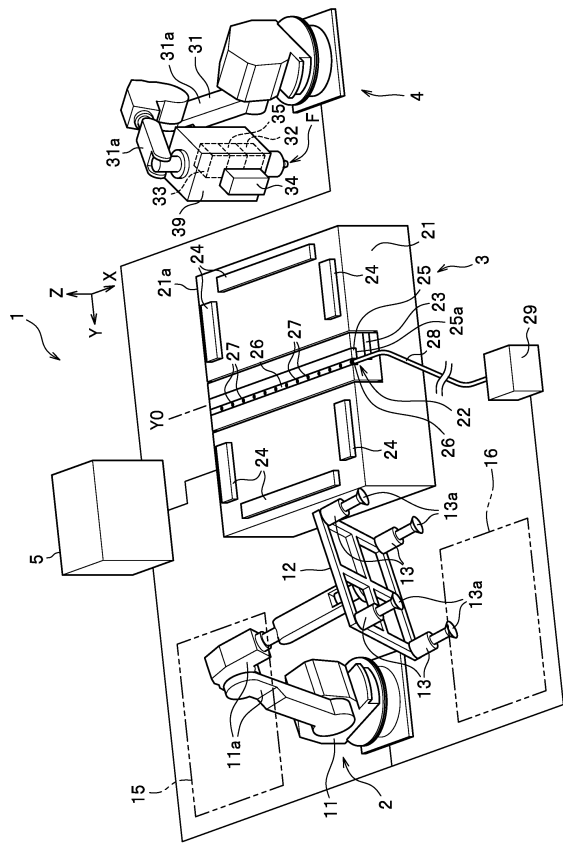
【図 4】



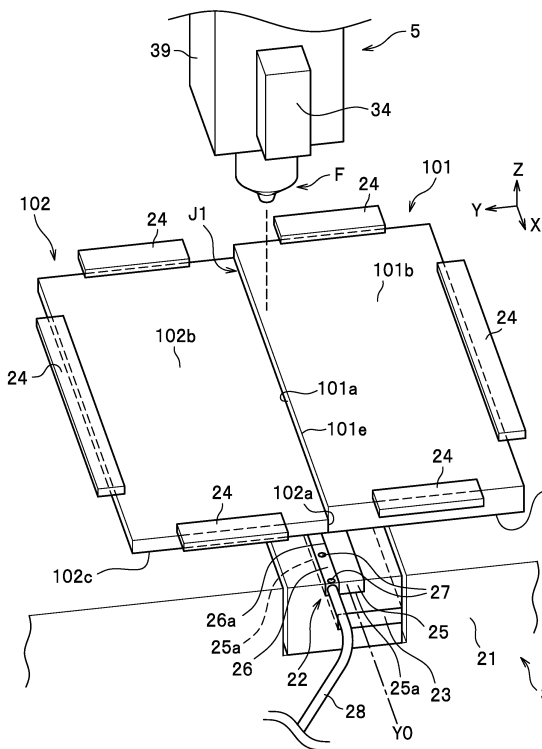
【図 5】



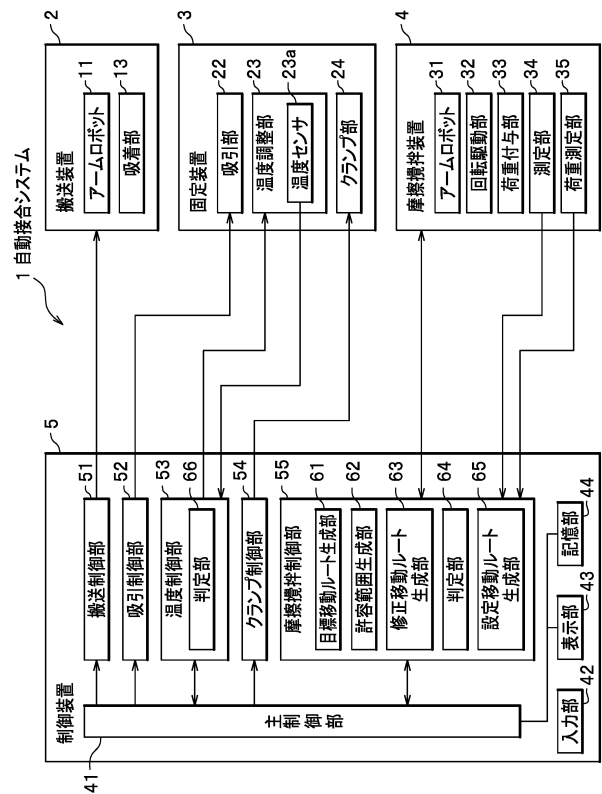
【図 6】



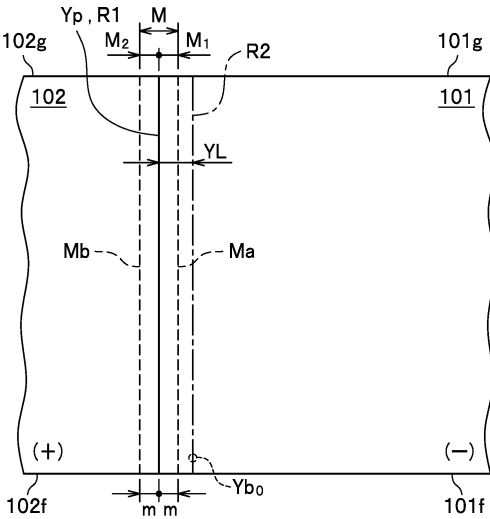
【図 7】



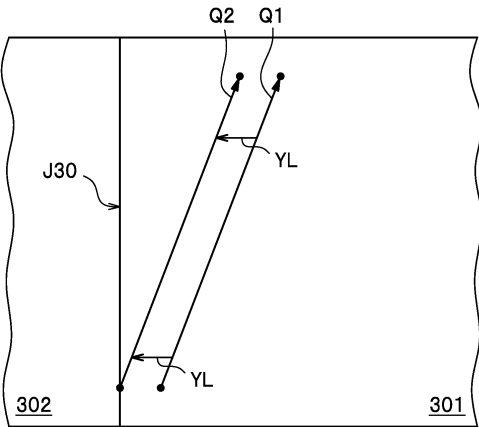
【図 8】



【図 9】

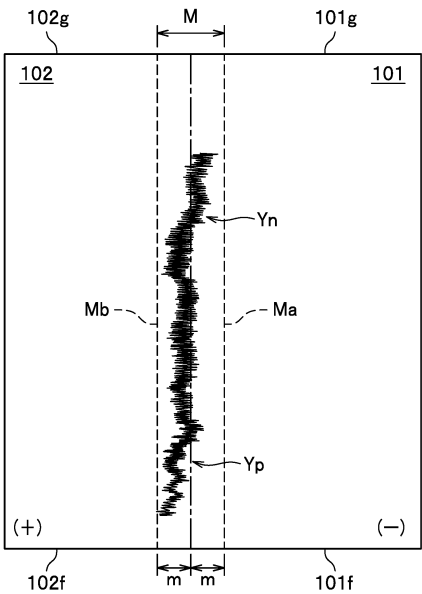


【図 10】

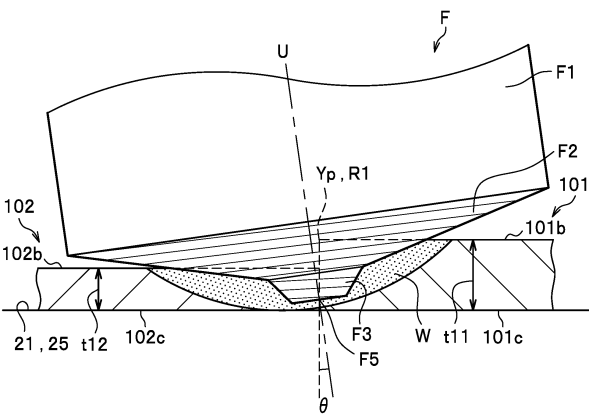


10

【図 11】



【図 12】



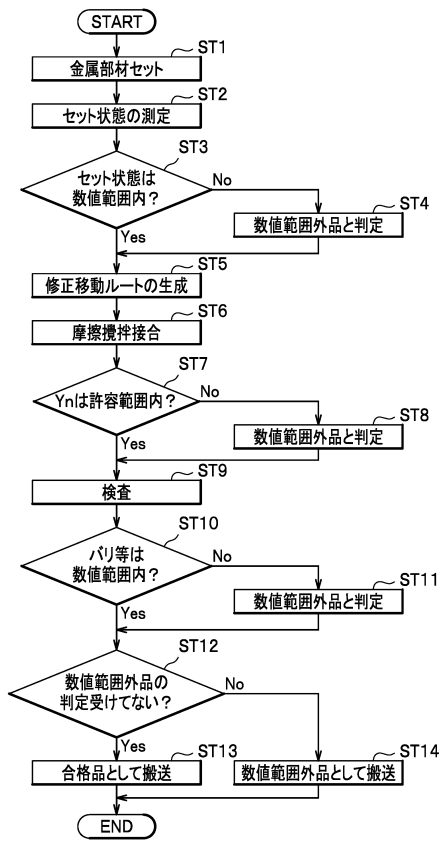
20

30

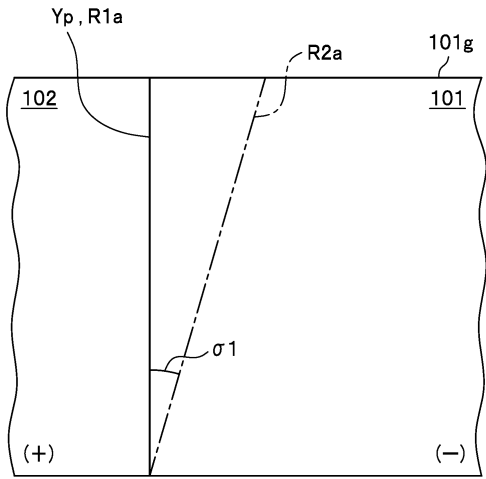
40

50

【図 1 3】



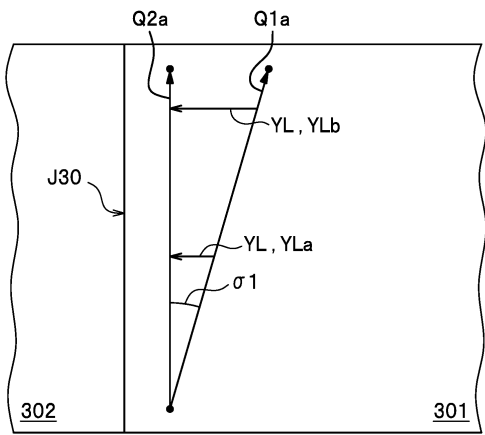
【図 1 4】



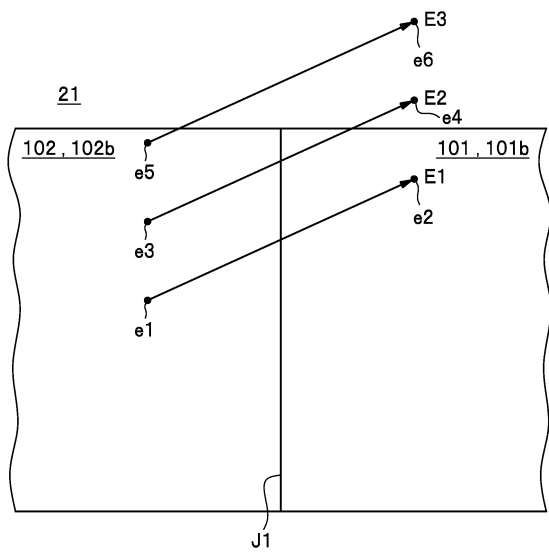
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

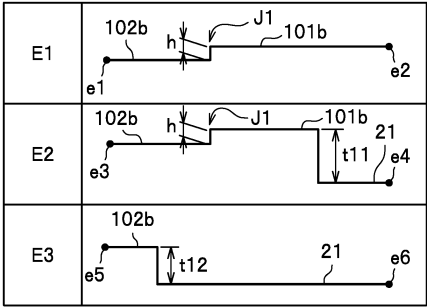


30

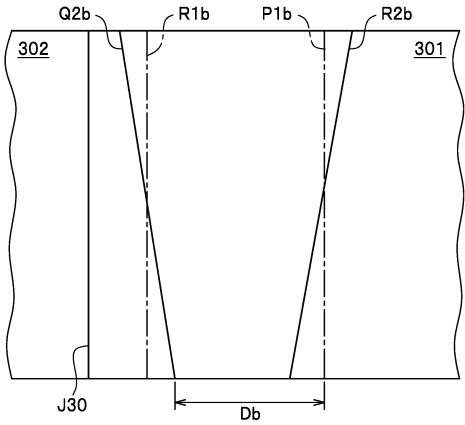
40

50

【図 17】



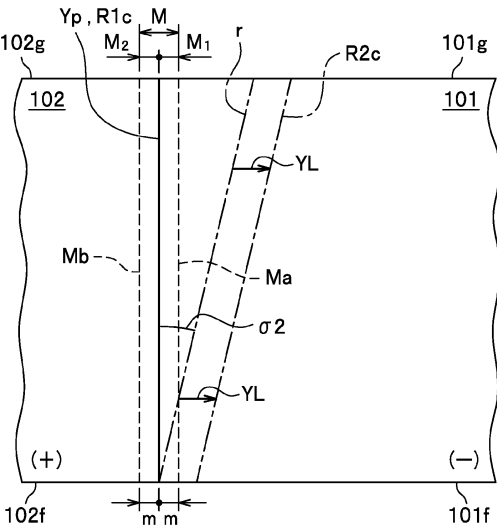
【図 18】



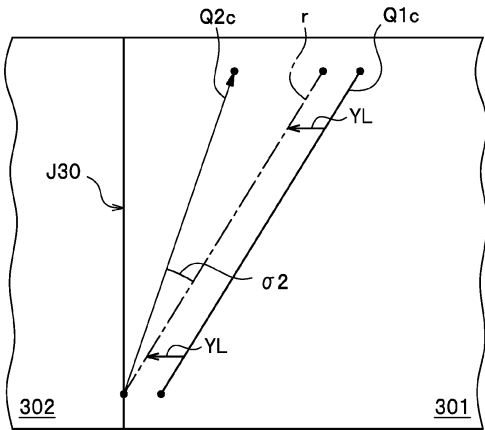
10

20

【図 19】



【図 20】

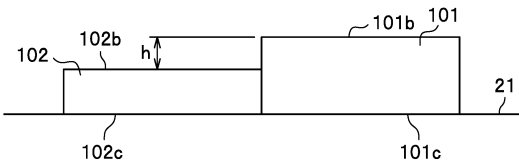


30

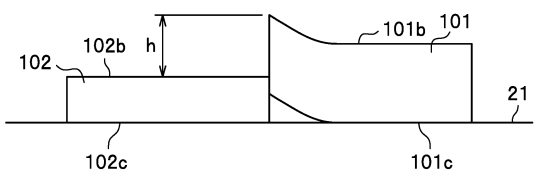
40

50

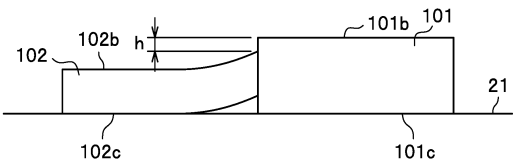
【図 2 1 A】



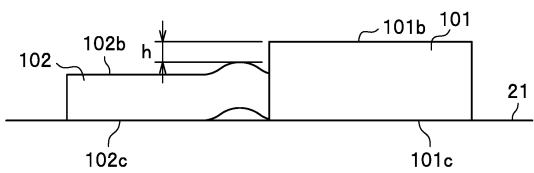
【図 2 1 B】



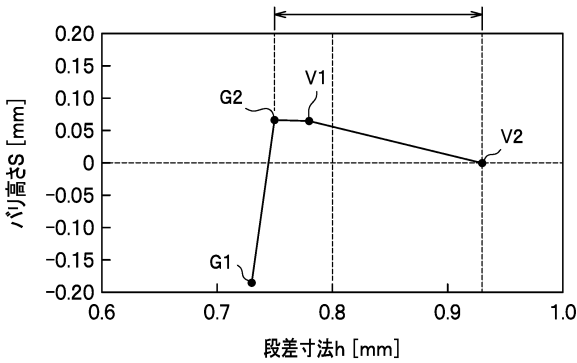
【図 2 1 C】



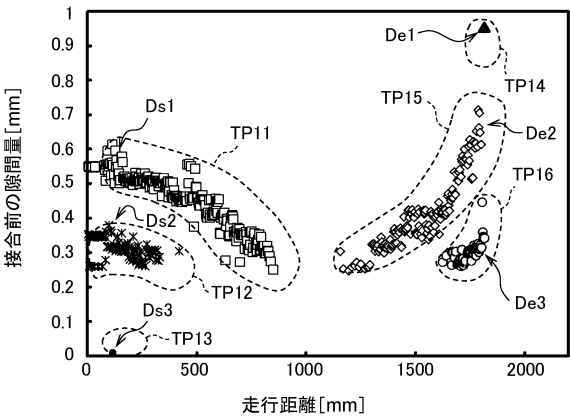
【図 2 1 D】



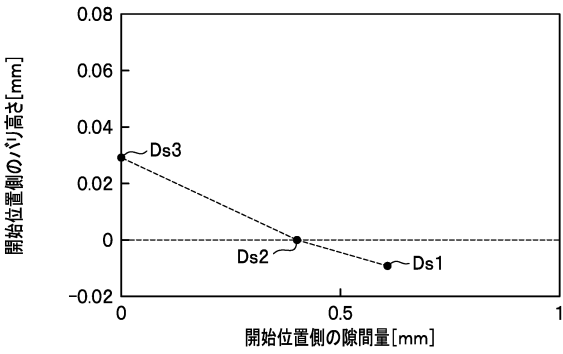
【図 2 2】



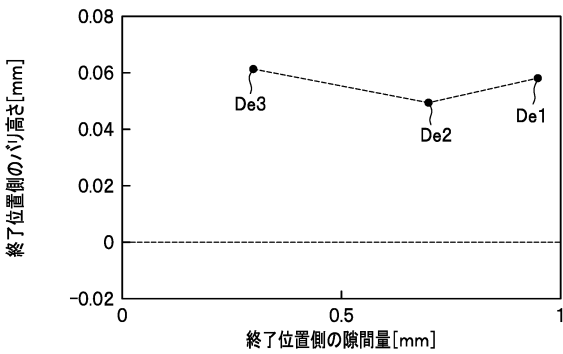
【図 2 3】



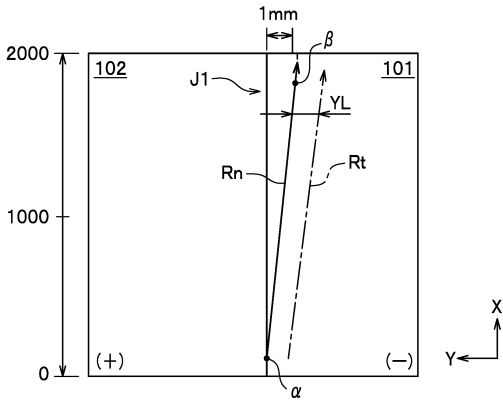
【図 2 4】



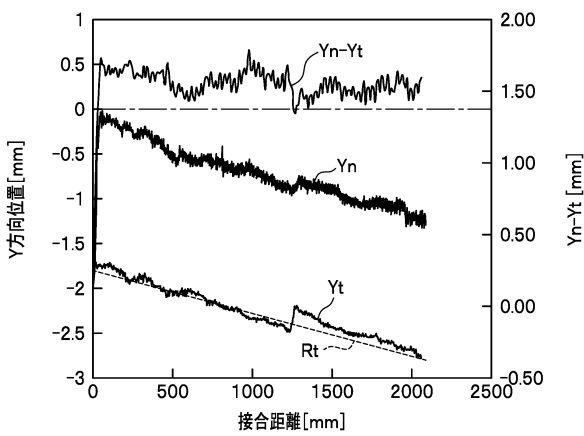
【図 2 5】



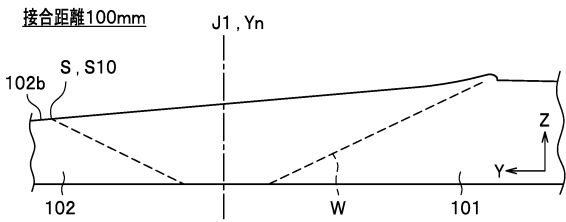
【図 2 6】



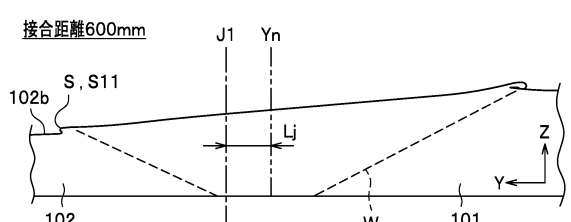
【図 2 7】



【図 2 8 A】



【図 2 8 B】



10

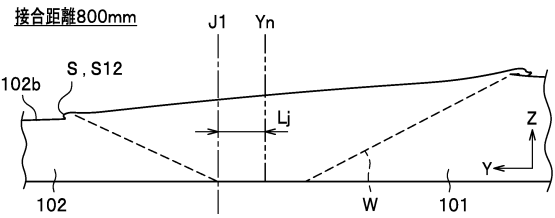
20

30

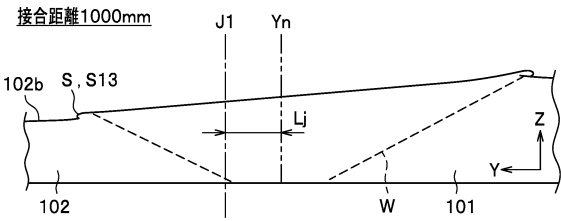
40

50

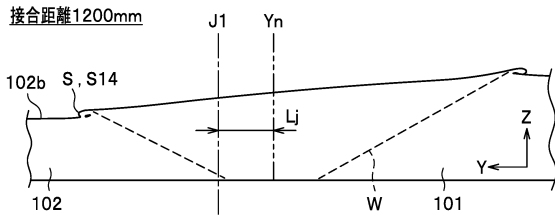
【図 2 8 C】



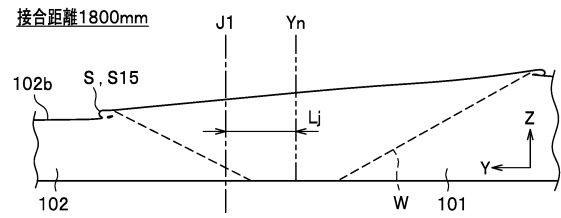
【図 2 9 A】



【図 2 9 B】

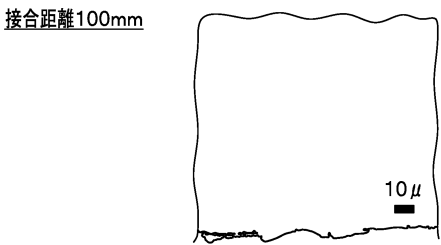


【図 2 9 C】

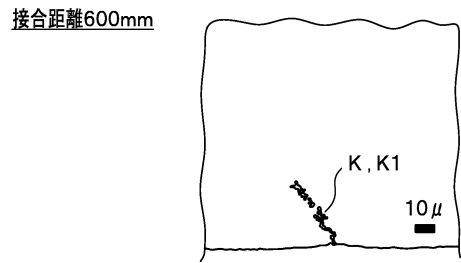


10

【図 3 0 A】



【図 3 0 B】



20

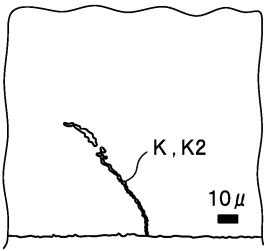
30

40

50

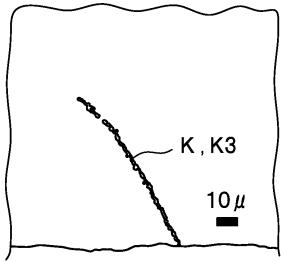
【図 3 0 C】

接合距離800mm



【図 3 1 A】

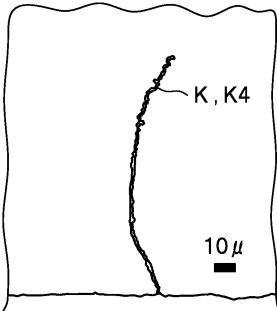
接合距離1000mm



10

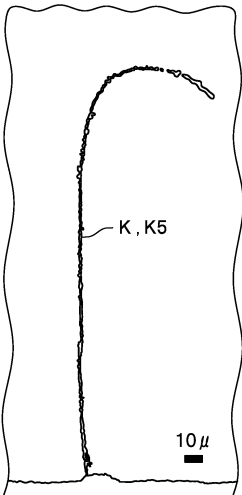
【図 3 1 B】

接合距離1200mm



【図 3 2】

接合距離1800mm



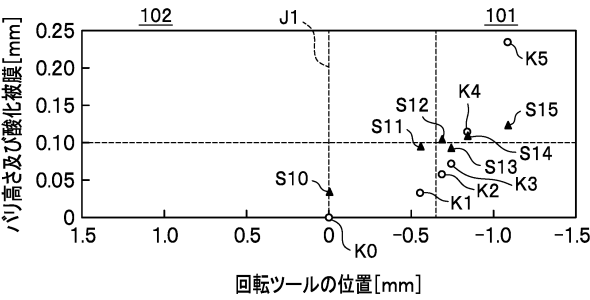
20

30

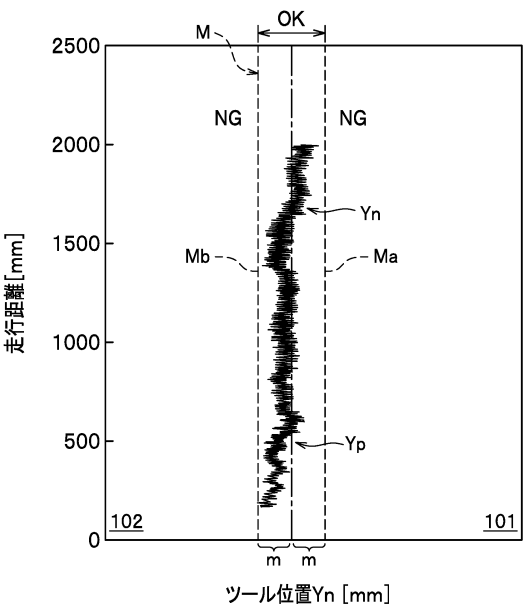
40

50

【図 3 3】



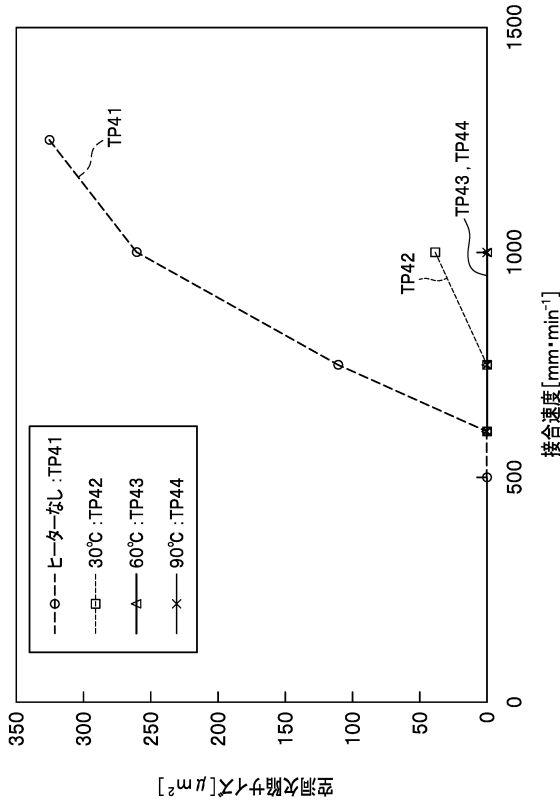
【図 3 4】



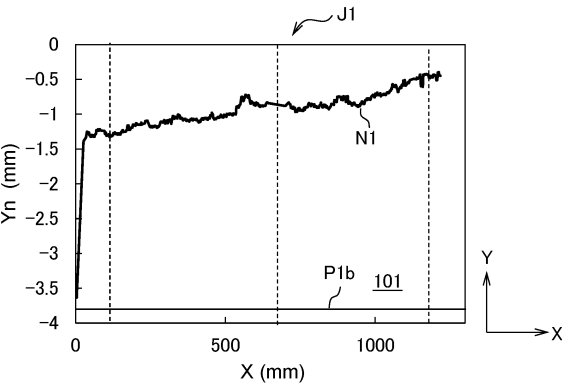
10

20

【図 3 5】



【図 3 6】

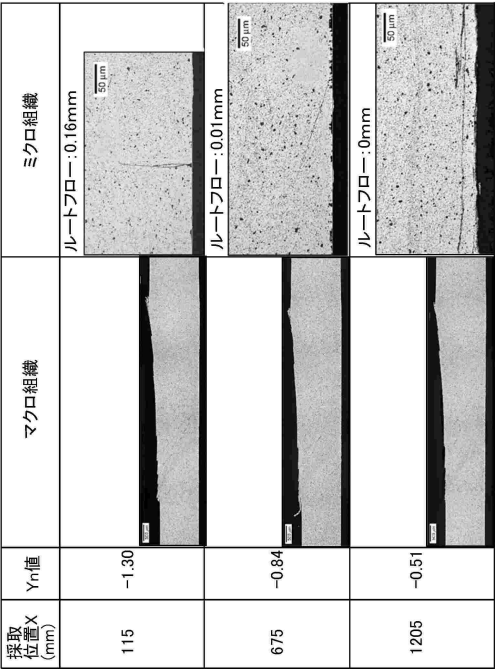


30

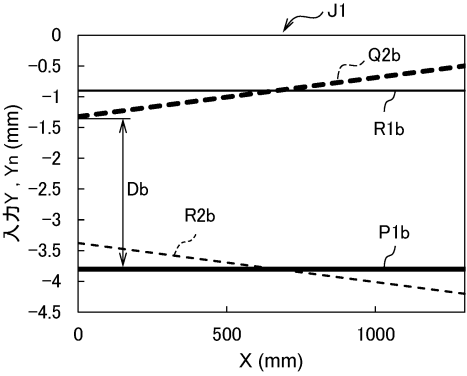
40

50

【図 3 7】



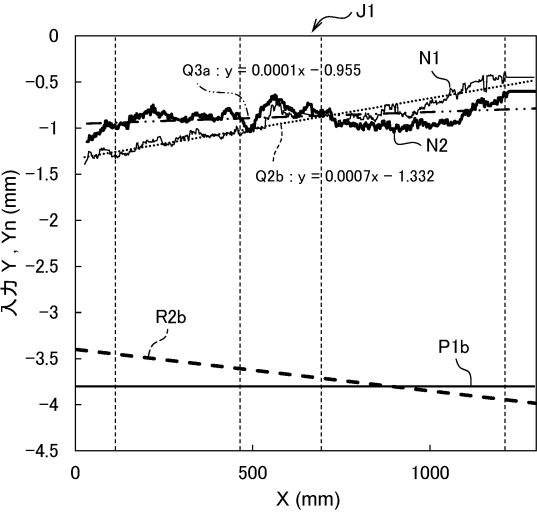
【図 3 8】



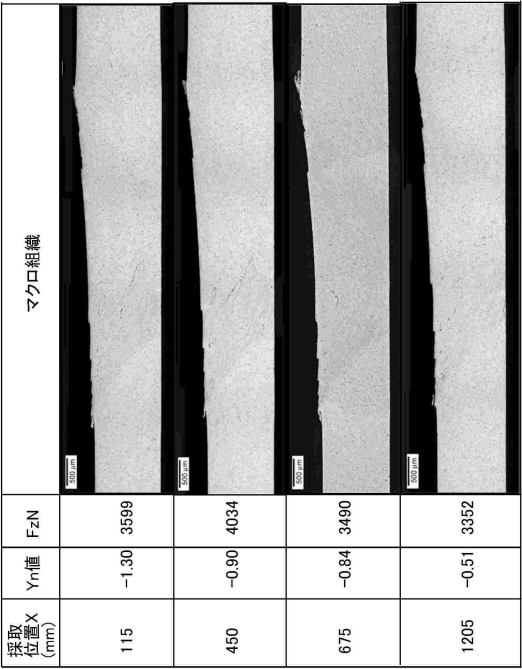
10

20

【図 3 9】



【図 4 0】



30

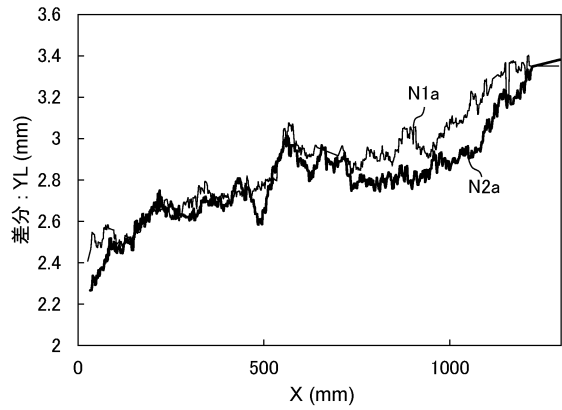
40

50

【図 4 1】

採取位置X (mm)	Yn値	FzN	ミクロ組織	
115	-1.30	3599	段差:0.04mm	ルートフロー:0.00mm
450	-0.90	4034	段差:0.05mm	ルートフロー:0.00mm
675	-0.84	3490	段差:0.06mm	ルートフロー:0.00mm
1205	-0.51	3352	段差:0.03mm	ルートフロー:0.00mm

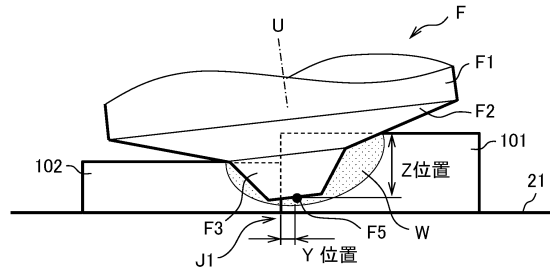
【図 4 2】



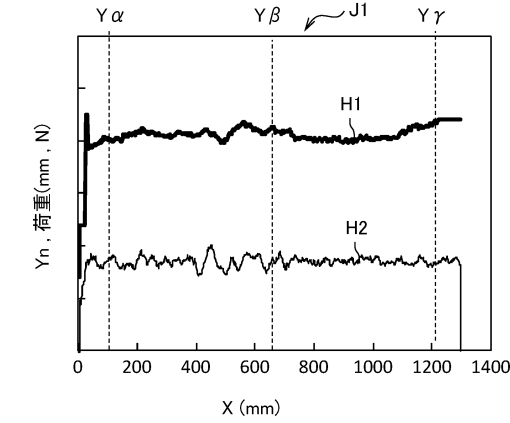
10

20

【図 4 3】



【図 4 4】



30

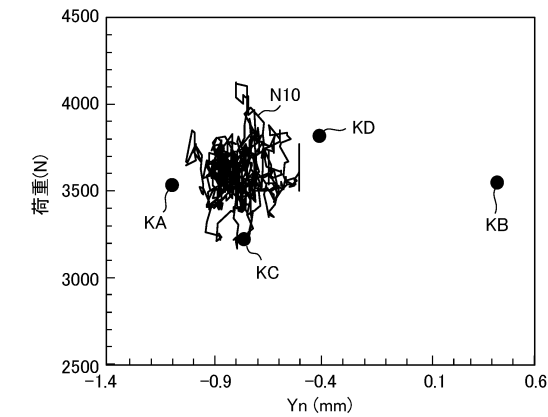
40

50

【図 4 5】

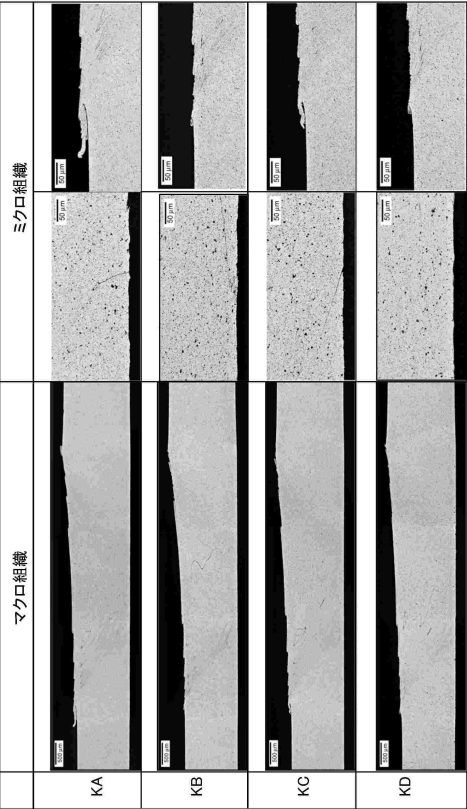


【図 4 6】

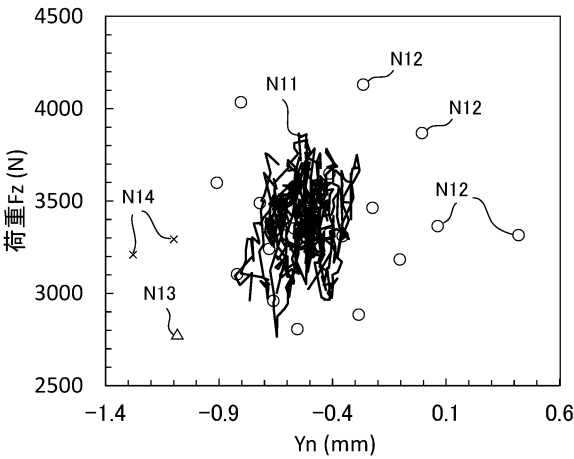


10

【図 4 7】



【図 4 8】



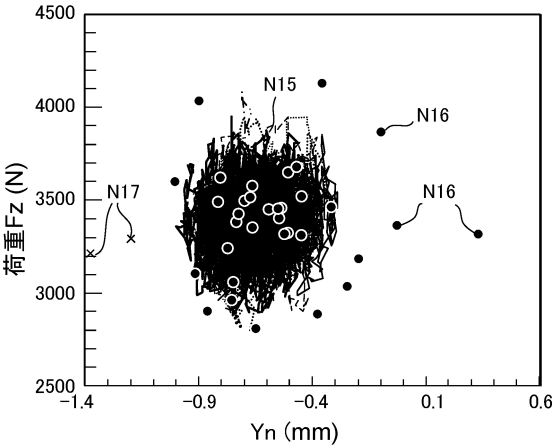
20

30

40

50

【図 49】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内
- (72)発明者 土屋 清美
静岡県静岡市清水区蒲原一丁目3 4 番1 号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内
- (72)発明者 高橋 聡
東京都港区新橋一丁目1 番1 3 号 日本軽金属株式会社内
- (72)発明者 高橋 伸樹
東京都港区新橋一丁目1 番1 3 号 日本軽金属株式会社内
- 審査官 岩見 勤
- (56)参考文献 特開2 0 0 1 - 2 6 9 7 7 9 (J P , A)
特開2 0 1 6 - 2 1 5 2 6 4 (J P , A)
特開2 0 0 0 - 2 6 3 2 5 4 (J P , A)
特開2 0 0 2 - 1 5 3 9 8 3 (J P , A)
特開2 0 0 2 - 3 0 1 5 7 9 (J P , A)
特開2 0 0 4 - 1 3 6 3 0 5 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)
B 2 3 K 2 0 / 1 2