

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5740871号  
(P5740871)

(45) 発行日 平成27年7月1日(2015.7.1)

(24) 登録日 平成27年5月15日(2015.5.15)

(51) Int.Cl. F I  
**B 2 3 K 20/12 (2006.01)**  
 B 2 3 K 20/12 3 6 0  
 B 2 3 K 20/12 3 6 4  
 B 2 3 K 20/12 3 4 4

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-194541 (P2010-194541)	(73) 特許権者	000002082
(22) 出願日	平成22年8月31日 (2010.8.31)		スズキ株式会社
(65) 公開番号	特開2012-50996 (P2012-50996A)		静岡県浜松市南区高塚町300番地
(43) 公開日	平成24年3月15日 (2012.3.15)	(74) 代理人	110001380
審査請求日	平成25年8月29日 (2013.8.29)		特許業務法人東京国際特許事務所
		(74) 代理人	100078765
			弁理士 波多野 久
		(74) 代理人	100078802
			弁理士 関口 俊三
		(74) 代理人	100130731
			弁理士 河村 修
		(74) 代理人	100150957
			弁理士 松長 純

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異種金属材料の接合方法及び異種金属材料接合体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

融点が異なる異種金属材料における高融点材料と低融点材料とを、高融点材料を上側に低融点材料を下側にそれぞれ重ね合せて接合予定位置に位置づけ、

前記上側の高融点材料の上面から鋼製で丸棒形状に形成された回転ツールを回転させながら軸方向に押し当てて前記高融点材料内に挿入し、

且つ、この回転ツールの先端の挿入位置を、前記高融点材料が突き破られないように、前記回転ツールの先端が前記高融点材料と前記低融点材料との合せ面から前記高融点材料側に0.05mm~0.6mmの距離の位置にあるように調整して、

前記高融点材料を前記高融点材料と前記回転ツールとの摩擦熱により、また前記低融点材料を前記高融点材料と前記回転ツールとの前記摩擦熱の伝熱により、それぞれ前記回転ツール近傍で部分的に軟化させて塑性流動化し、これらの塑性流動化された高融点材料と低融点材料の前記回転ツール近傍部分を、前記回転ツールの回転により部分的に攪拌して前記高融点材料と前記低融点材料とを摩擦攪拌接合させることを特徴とする異種金属材料の接合方法。

【請求項2】

前記回転ツールは、鋼製で丸棒形状に形成されており、直径が3mm~10mmに設定されたことを特徴とする請求項1に記載の異種金属材料の接合方法。

【請求項3】

前記回転ツールの回転数は、75rpm~750rpmに設定されたことを特徴とする請

10

20

求項 1 に記載の異種金属材料の接合方法。

【請求項 4】

前記高融点材料が鉄材または鋼材であり、低融点材料がアルミニウム材であることを特徴とする請求項 1 に記載の異種金属材料の接合方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の異種金属材料の接合方法により高融点材料と低融点材料とが接合されて得られた異種金属材料接合体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、異種金属材料を摩擦攪拌接合により接合する異種金属材料の接合方法、及びこの接合方法により得られる異種金属材料接合体に関する。

【背景技術】

【0002】

異種金属材料、特に鋼材とアルミニウム材の接合は、一般に溶融溶接や、リベットなどの機械的接合などによって行われている。

【0003】

ところが、溶融溶接では入熱量が大きいため、鋼材とアルミニウム材の界面に脆弱な金属間化合物 ( $Fe_2Al_5$ 、 $FeAl_3$  など) が生成されてしまい、接合強度が低下するという課題がある。また、リベットやボルト等を用いた機械的接合では、接合のためにリベットなどの資材が必要になり、コストが上昇してしまう。

【0004】

そこで、近年では、被接合材を溶融させずに軟化させ、塑性流動化して固相接合する摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) を用いて、鋼材とアルミニウム材を接合させる研究が進められている。この摩擦攪拌接合では、一般的な工具鋼で作製された FSW ツールを用い、この FSW ツールをアルミニウム材のみに接触させて、鋼材とアルミニウム材とを摩擦攪拌接合している (例えば特許文献 1、特許文献 2 など)。

【0005】

例えば、特許文献 1 に記載の摩擦攪拌接合では、接合面に酸化防止膜 (Zn メッキ) が被覆された鋼材と、アルミニウム材とを重ね合わせ、FSW ツールをアルミニウム材に回転させながら押し当てて挿入し、摩擦熱によりアルミニウム材及び Zn メッキを軟化して塑性流動化し、Zn メッキを取り除いて鋼材の表面に新生面を露出させ、塑性流動化したアルミニウム材と鋼材の新生面とを固相接合している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2005 - 34879 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 239720 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところが、FSW ツールを鋼材に接触させず、アルミニウム材のみに接触させる摩擦攪拌接合では、鋼材とアルミニウム材とが十分に攪拌されないため、高い接合強度を得ることができない。つまり、FSW ツールをアルミニウム材に接触させて挿入させた場合、アルミニウム材の融点直下まで温度上昇すると、このアルミニウム材が軟化して塑性流動化し、FSW ツールとの摩擦が低下する。このため、これ以上の発熱 (摩擦熱) が得られず、鋼材を塑性流動化させ得る温度まで温度上昇させることができないので、アルミニウム材のみが攪拌されることになる。このため、鋼材とアルミニウム材とが十分に攪拌されず、高い接合強度を得ることができないのである。

10

20

30

40

50

## 【0008】

また、一般的な工具鋼で作製されたFSWツールを、従来の手法で回転させながら鋼材に接触させた場合には、FSWツールが摩耗したり、摩擦熱により破損する恐れがある。

## 【0009】

鋼材と接触させても摩耗や破損が生じにくいPCBN（多結晶立方晶窒化ホウ素）などの特殊な材質によるツールを用いることも考えられるが、ツール自体が高価であり、摩擦攪拌接合のコストが上昇してしまう。

## 【0010】

本発明の目的は、上述の事情を考慮してなされたものであり、異種金属材料の接合強度、特に剥離強度を向上できる異種金属材料の接合方法及び異種金属材料接合体を提供することにある。

10

## 【0011】

また、本発明の他の目的は、摩擦攪拌接合用の回転ツールの損傷を防止できる異種金属材料の接合方法及び異種金属材料接合体を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

本発明に係る異種金属材料の接合方法は、融点が異なる異種金属材料における高融点材料と低融点材料とを、高融点材料を上側に低融点材料を下側にそれぞれ重ね合せて接合予定位置に位置づけ、前記上側の高融点材料の上面から鋼製で丸棒形状に形成された回転ツールを回転させながら軸方向に押し当てて前記高融点材料内に挿入し、且つ、この回転ツールの先端の挿入位置を、前記高融点材料が突き破られないように、前記回転ツールの先端が前記高融点材料と前記低融点材料との合せ面から前記高融点材料側に0.05mm～0.6mmの距離の位置にあるように調整して、前記高融点材料を前記高融点材料と前記回転ツールとの摩擦熱により、また前記低融点材料を前記高融点材料と前記回転ツールとの前記摩擦熱の伝熱により、それぞれ前記回転ツール近傍で部分的に軟化させて塑性流動化し、これらの塑性流動化された高融点材料と低融点材料の前記回転ツール近傍部分を、前記回転ツールの回転により部分的に攪拌して前記高融点材料と前記低融点材料とを摩擦攪拌接合させることを特徴とするものである。

20

## 【0013】

また、本発明に係る異種金属材料接合体は、前述に記載の異種金属材料の接合方法により高融点材料と低融点材料とが接合されて得られたものである。

30

## 【発明の効果】

## 【0014】

本発明に係る異種金属材料の接合方法及び異種金属材料接合体によれば、回転ツールを高融点材料側から挿入することにより、この高融点材料を軟化して塑性流動する温度まで発熱させ、この熱が伝熱することで、低融点材料が軟化して塑性流動する。このため、高融点材料及び低融点材料を回転ツールにより部分的に十分に攪拌できるので、これらの両材料を高い接合強度で接合できる。また、回転ツールの挿入位置を高融点材料が突き破られない位置に調整するので、高融点材料と低融点材料との接合面積を良好に確保でき、これら両材料の接合強度、特に剥離強度を向上させることができる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】本発明に係る異種金属材料の接合方法における一実施形態が適用された摩擦攪拌接合方法の実施状況を示す概略側面図。

【図2】図1の摩擦攪拌接合方法により得られた摩擦攪拌接合体（軟鋼板とアルミニウム展伸板との接合体）の接合部の外観を示す写真。

【図3】図2の接合部周囲の断面を示し、（A）が断面写真、（B）が図3（A）を模式的に示す断面図、（C）が図3（A）のIII C部の拡大断面写真、（D）が図3（A）のIII D部の拡大断面写真。

【図4】図1の摩擦攪拌接合方法により得られた摩擦攪拌接合体（軟鋼板とアルミニウム

50

鑄造板との接合体)の接合部周囲の断面を示し、(A)が断面写真、(B)が図4(A)のIVB部の拡大写真、(C)が図4(A)のIVC部の拡大写真、(D)が図4(A)のIVD部の拡大写真。

【図5】図1の摩擦攪拌接合方法により得られた摩擦攪拌接合体(軟鋼板とアルミニウムダイカスト板との接合体)の接合部周囲の断面を示し、(A)が断面写真、(B)が図5(A)のVB部の拡大写真、(C)が図5(A)のVC部の拡大写真、(D)が図5(A)のVD部の拡大写真。

【図6】摩擦攪拌接合体の剥離強度と回転ツールの挿入深さとの関係を示すグラフ。

【図7】摩擦攪拌接合体の剥離強度と回転ツールの直径との関係を示すグラフ。

【図8】従来の摩擦攪拌接合方法の実施状況を示す概略側面図。

10

【図9】図8の摩擦攪拌接合方法により得られた摩擦攪拌接合体の接合部周囲の断面を示し、(A)が断面写真、(B)が図9(A)を模式的に示す断面図。

【図10】図2及び図3に示す摩擦攪拌接合体15と図9に示す摩擦攪拌接合体100に関し、剥離強度及び十字引張強度を比較して示すグラフ。

【図11】強度試験を説明する図であり、(A)が十字引張強度試験の説明図、(B)が剥離強度試験の説明図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、図面に基づき説明する。但し、本発明は、これらの実施の形態に限定されるものではない。

20

【0017】

図1は、本発明に係る異種金属材料の接合方法における一実施形態が適用された摩擦攪拌接合方法の実施状況を示す概略側面図である。本実施の形態の摩擦攪拌接合方法は、融点が異なる異種金属材料(高融点材料と低融点材料)を、回転ツール13を用いて重ね点接合させるものであり、高融点材料としては鉄材、特に融点が約1500の鋼材11が、低融点材料としては、融点が約580~650のアルミニウム材(アルミニウム合金を含む)12が用いられる。ここで、アルミニウム材12は、A6061などの展伸材に限らず、AC4CHなどの鑄造材や、ADC12などのダイカスト材などであってもよい。

【0018】

30

本実施の形態の摩擦攪拌接合方法では、まず鋼材11とアルミニウム材12とを重ね合せて接合予定位置に位置づける。このとき、鋼材11が上側に、アルミニウム材12が下側にそれぞれ位置づけられる。

【0019】

次に、回転ツール13を回転させながら鋼材11に押し当てて挿入させる。ここで、回転ツール13は、SKD61などの工具鋼や金型鋼製であり、直径が3mm~10mmの丸棒形状に形成されたものである。また、回転ツール13の回転数は、75rpm~750rpmに設定されている。

【0020】

回転ツール13を鋼材11に挿入させるときの挿入位置は、鋼材11が突き破られない位置に調整される。具体的には、この回転ツール13の挿入位置は、回転ツール13の先端13Aが鋼材11とアルミニウム材12との合せ面14から鋼材11側に距離L(L=0.05mm~0.6mm)の位置にあるように調整される。

40

【0021】

上述のように摩擦攪拌点接合を行なうことで、鋼材11を回転ツール13との摩擦熱により、またアルミニウム材12を前記摩擦熱の伝熱により、それぞれ回転ツール13近傍で部分的に温度上昇させて軟化させ、塑性流動させる。そして、これらの塑性流動化された鋼材11及びアルミニウム材12の回転ツール13近傍部分を、回転ツール13の回転により攪拌し、鋼材11とアルミニウム材12とを摩擦攪拌点接合させる。

【0022】

50

この摩擦攪拌点接合により得られる異種金属材料接合体としての摩擦攪拌接合体 15、18、21を、図2及び図3、図4並びに図5にそれぞれ示す。

【0023】

図2及び図3に示す摩擦攪拌接合体15は、鋼材11としての板厚1mmの裸軟鋼板（引張強度270MPa）と、アルミニウム材12としての板厚1mmのA6061アルミニウム展伸材（引張強度300MPa）とを重ね合わせて、下記の接合条件下で、鋼材11（裸軟鋼板）とアルミニウム材12（アルミニウム展伸板）とを摩擦攪拌点接合して得られたものである。上記接合条件は、SKD61製で直径6mmの丸棒形状の回転ツール13を用い、この回転ツール13の回転数を500rpmとし、回転ツール13の挿入速度を20mm/分とし、回転ツール13の先端13Aが鋼材11とアルミニウム材12との合せ面14から鋼材11側に0.3mmとなる位置まで回転ツール13を鋼材11に挿入し、回転ツール13の挿入完了からこの回転ツール13を引き抜くまでの保持時間を1秒としている。

10

【0024】

この摩擦攪拌接合体15では、回転ツール13による鋼材11（裸軟鋼板）側の攪拌部16Aと、アルミニウム材12（アルミニウム展伸板）側の攪拌部16Bとが接合されて接合部17が形成される。このうち、図3（C）及び（D）に示すように、アルミニウム材12側の攪拌部16Bでは、組織が微細化されて強度が高められていることが分かる。

【0025】

また、図4に示す摩擦攪拌接合体18は、鋼材11としての板厚1mmの裸軟鋼板と、アルミニウム材12としての板厚2mmのAC4CHアルミニウム鋳造材とを重ね合わせて、下記の接合条件下で、鋼材11（裸軟鋼板）とアルミニウム材12（アルミニウム部鋳造板）とを摩擦攪拌点接合して得られたものである。また、図5に示す摩擦攪拌接合体21は、鋼材11としての板厚1mmの裸軟鋼板と、アルミニウム材12としての板厚6mmのADC12アルミニウムダイカスト板とを重ね合せ、下記の接合条件下で、鋼材11（裸軟鋼板）とアルミニウム材12（アルミニウムダイカスト板）とを摩擦攪拌点接合して得られたものである。

20

【0026】

摩擦攪拌接合体18及び摩擦攪拌接合体21を得るための摩擦攪拌点接合時の前記接合条件は、SKD61製で直径6mmの丸棒形状の回転ツール13を用い、この回転ツール13の回転数を500rpmとし、回転ツール13の挿入速度を20mm/分とし、回転ツール13の先端13Aが鋼材11とアルミニウム材12との合せ面14から鋼材11側に0.4mmの位置になるように回転ツール13を鋼材11に挿入し、回転ツール13の挿入完了からこの回転ツール13を引き抜くまでの保持時間を1秒としたものである。

30

【0027】

図4に示す摩擦攪拌接合体18の場合も、回転ツール13による鋼材11（裸軟鋼板）側の攪拌部19Aとアルミニウム材12（アルミニウム鋳造板）側の攪拌部19Bとが接合されて接合部20が形成される。このうち、特にアルミニウム材12側の攪拌部19Bでは、図4（D）に示すように、アルミニウム材12の表面（図4（B）に表示）及びアルミニウム材12の内部（図4（C）に表示）に比べて組織が微細化され、強度が高められていることが分かる。尚、図4（B）、（C）及び（D）におけるアルミニウム材12内の黒色部分はシリコンを示す。

40

【0028】

図5に示す摩擦攪拌接合体21の場合も、回転ツール13による鋼材11（裸軟鋼板）側の攪拌部22Aと、アルミニウム材12（アルミニウムダイカスト板）側の攪拌部22Bとが接合されて接合部23が形成される。このうち、特にアルミニウム材12側の攪拌部22Bでは、図5（D）に示すように、アルミニウム材12の内部（図5（B）に表示）及びアルミニウム材12の表面（図5（C）に表示）に比べて組織が微細化されて、強度が高められていることが分かる。

【0029】

50

図 1 に示す前述の摩擦攪拌点接合において、回転ツール 1 3 の挿入位置を、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A が鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との合せ面 1 4 から鋼材 1 1 側に距離  $L$  ( $L = 0.05 \text{ mm} \sim 0.6 \text{ mm}$ ) の位置にあるように調整する理由は、回転ツール 1 3 との摩擦熱により軟化した鋼材 1 1 と、摩擦熱が伝熱されることで軟化したアルミニウム材 1 2 とが、回転ツール 1 3 により十分攪拌されて、高強度な接合が可能になるからである。つまり、前記距離  $L$  が  $0.05 \text{ mm}$  未満では、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合中に鋼材 1 1 が回転ツール 1 3 に突き破られてしまい、接合部 1 7 の接合面積が減少して剥離強度が著しく低下する。また、前記距離  $L$  が  $0.6 \text{ mm}$  を超えた場合には、摩擦熱がアルミニウム材 1 2 へ十分に伝熱されず、回転ツール 1 3 によるアルミニウム材 1 2 の攪拌量が小さくなって、接合強度が低下してしまう。

10

## 【 0 0 3 0 】

例えば、鋼材 1 1 としての板厚  $1 \text{ mm}$  の裸軟鋼板と、アルミニウム材 1 2 としての板厚  $1 \text{ mm}$  の A 6 0 6 1 アルミニウム展伸板とを重ね合せ、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A と、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 の合せ面 1 4 との距離  $L$  を変化させて、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 とを摩擦攪拌点接合した。このときの接合条件は、SKD 6 1 製で直径  $6 \text{ mm}$  の丸棒形状の回転ツール 1 3 を用い、この回転ツール 1 3 の回転数を  $500 \text{ rpm}$  とし、回転ツール 1 3 の挿入速度を  $20 \text{ mm/分}$  とし、回転ツール 1 3 の挿入完了からこの回転ツール 1 3 を引き抜くまでの保持時間を  $1 \text{ 秒}$  としている。得られた各摩擦攪拌接合体 1 5 について、図 1 1 ( B ) に示す剥離強度試験を実施し、その結果を表 1 及び図 6 に示す。ここで、剥離強度試験片は J I S Z 3 1 4 4 に準じたものとした。

20

## 【 0 0 3 1 】

表 1 及び図 6 に示すように、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A を鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との合せ面 1 4 よりも鋼材 1 1 側に  $0 \text{ mm}$ 、 $0.7 \text{ mm}$  の各位置となるように回転ツール 1 3 を鋼材 1 1 に挿入した摩擦攪拌接合体 1 5 では、剥離強度はそれぞれ  $0.12 \text{ kN}$ 、 $0.20 \text{ kN}$  と低い値であった。これに対し、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A を、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合面 1 4 よりも鋼材 1 1 側に  $0.05 \text{ mm} \sim 0.6 \text{ mm}$  の各位置になるように回転ツール 1 3 を鋼材 1 1 に挿入した摩擦攪拌接合体 1 5 では、剥離強度が  $0.25 \text{ kN}$  以上の高い値を示し、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 とが高い接合強度で接合されていることが分かる。

30

## 【 0 0 3 2 】

## 【表 1】

回転ツールの挿入深さと強度との関係

合せ面と回転ツール 先端との距離 $L$ (mm)	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
剥離強度 (kN)	0.12	0.26	0.35	0.53	0.57	0.56	0.49	0.41	0.20

## 【 0 0 3 3 】

また、図 1 に示す摩擦攪拌点接合において、回転ツール 1 3 を直径  $3 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$  の丸棒形状とした理由は、回転ツール 1 3 と鋼材 1 1 との接触による過剰な発熱（摩擦熱）を抑制して回転ツール 1 3 の摩耗や破損を防止し、且つ鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合強度を確保するためである。つまり、回転ツール 1 3 の直径が  $10 \text{ mm}$  を超えた場合には、鋼材 1 1 と回転ツール 1 3 との接触による発熱が過大になって回転ツール 1 3 が摩耗または破損する。また、回転ツール 1 3 の直径が  $2 \text{ mm}$  以下では、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合部 1 7 の接合面積が小さくなり、強度が実用上低くなるため、回転ツール 1 3 の直径を  $3 \text{ mm}$  以上としているのである。

40

## 【 0 0 3 4 】

例えば、鋼材 1 1 としての板厚  $1 \text{ mm}$  の裸軟鋼板と、アルミニウム材 1 2 としての板厚  $1 \text{ mm}$  の A 6 0 6 1 アルミニウム展伸板とを重ね合せ、回転ツール 1 3 の直径を変化させ

50

て、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 とを摩擦攪拌点接合した。このときの接合条件は、S K D 6 1 製で丸棒形状の回転ツール 1 3 を用い、この回転ツール 1 3 の回転数を 5 0 0 r p m とし、回転ツール 1 3 の挿入速度を 2 0 m m / 分とし、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A が鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との合せ面 1 4 から鋼材 1 1 側に 0 . 3 m m とする位置まで回転ツール 1 3 を鋼材 1 1 に挿入し、回転ツール 1 3 の挿入完了からこの回転ツール 1 3 を引き抜くまでの保持時間を 1 秒としている。得られた各摩擦攪拌接合体 1 5 について、図 1 1 ( B ) に示す剥離強度試験を行った結果を図 7 に示し、各摩擦攪拌点接合終了後における回転ツール 1 3 の状態を表 2 に示す。この場合にも、剥離強度試験片は J I S Z 3 1 4 4 に準じたものである。

【 0 0 3 5 】

表 2 に示すように、回転ツール 1 3 の直径が 1 1 m m 以上の場合には、回転ツール 1 3 と鋼材 1 1 との発熱（摩擦熱）が過大になり、回転ツール 1 3 に摩耗損傷が見られる。また、図 7 に示すように、回転ツール 1 3 の直径が 2 m m 以下の場合には、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合部 1 7 の接合面積が小さくなってしまい、接合強度（剥離強度）が低下していることが分かる。直径が 3 m m 以上の回転ツール 1 3 を用いることが、接合強度の観点から望ましいことが分かる。

【 0 0 3 6 】

【表 2】

回転ツールの直径と摩耗との関係

回転ツールの直径(mm)	φ5	φ6	φ8	φ10	φ11	φ12
接合後の回転ツールの状態	摩耗なし	摩耗なし	摩耗なし	摩耗なし	摩耗が見られる	摩耗が見られる

【 0 0 3 7 】

更に、図 1 に示す摩擦攪拌点接合において、接合時における回転ツール 1 3 の回転数を 7 5 r p m ~ 7 5 0 r p m とした理由は、回転ツール 1 3 と鋼材 1 1 との接触による過大な発熱（摩擦熱）を抑制して、回転ツール 1 3 の摩耗及び破損を抑制し、且つ鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合強度を確保するためである。つまり、回転ツール 1 3 の回転数が 7 5 0 r p m を超えてしまう場合には、鋼材 1 1 との接触による回転数ツール 1 3 の発熱が過大になり、回転ツール 1 3 に摩耗または破損が生じる。また、回転ツール 1 3 の回転数が 7 5 r p m 未満の場合には、回転ツール 1 3 と鋼材 1 1 との接触による発熱が過小になって、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合強度が低下してしまうからである。

【 0 0 3 8 】

例えば、鋼材 1 1 としての板厚 1 m m の裸軟鋼板と、アルミニウム材 1 2 としての板厚 1 m m の A 6 0 6 1 アルミニウム展伸板とを重ね合せ、接合時の回転ツール 1 3 の回転数を変化させて、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 とを摩擦攪拌点接合した。このときの接合条件は、S K D 6 1 製で直径 6 m m の丸棒形状の回転ツール 1 3 を用い、この回転ツール 1 3 の挿入速度を 2 0 m m / 分とし、回転ツール 1 3 の先端 1 3 A が鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との合せ面 1 4 から鋼材 1 1 側に 0 . 3 m m とする位置まで回転ツール 1 3 を鋼材 1 1 に挿入し、回転ツール 1 3 の挿入完了からこの回転ツール 1 3 を引き抜くまでの保持時間を 1 秒としている。回転ツール 1 3 の回転数の変化により得られた各摩擦攪拌接合体 1 5 について、接合状態を観察した結果を表 3 に示す。

【 0 0 3 9 】

表 3 に示すように、回転ツール 1 3 の回転数が 5 0 r p m では、鋼材 1 1 と回転ツール 1 3 との接触による発熱（摩擦熱）が過小であって、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合が不十分であった。これに対し、回転ツール 1 3 の回転数が 7 5 r p m ~ 7 5 0 r p m の場合には、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合が良好であった。また、回転ツール 1 3 の回転数が 8 0 0 r p m 以上では、鋼材 1 1 とアルミニウム材 1 2 との接合が良好

10

20

30

40

50

であったが、鋼材 1 1 と回転ツール 1 3 との接触による発熱が過大になって、回転ツール 1 3 に摩耗が見られた。

【 0 0 4 0 】

【表 3】

回転ツールの回転数による接合状態の相違

回転数 (rpm)	50	75	100	200	300	400	500	600	700	750	800
接合状態	未接合	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	摩耗発生

10

【 0 0 4 1 】

次に、図 2 及び図 3 に示す摩擦攪拌接合体 1 5 と、従来の摩擦攪拌接合方法（特許文献 1）により得られる摩擦攪拌接合体 1 0 0（図 9）とにおいて、剥離強度及び十字引張強度を比較する。

【 0 0 4 2 】

上述の従来の摩擦攪拌接合方法は、図 8 示すように、鋼材 1 0 1 としての板厚 1 mm の Zn メッキ鋼板 1 0 1 と、アルミニウム材 1 0 2 としての板厚 4 mm の A 6 0 6 1 アルミニウム展伸板とを重ね合せ、下記の接合条件下で、摩擦攪拌接合ツール（FSW ツール） 1 0 3 をアルミニウム材 1 0 2 側から挿入し、摩擦攪拌点接合により接合したものである。尚、符号 1 0 6 は、Zn（亜鉛）メッキ層を示す。

20

【 0 0 4 3 】

上記接合条件は、ショルダ径 S が 1 2 mm で、プローブ径 P が 5 mm、プローブ長さ M が 3 . 5 mm の摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 を用い、この摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 をアルミニウム材 1 0 2 側から挿入し、摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 の回転数を 1 5 0 0 rpm とし、摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 の挿入速度を 2 0 mm / 分とし、摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 の挿入量を 3 . 7 mm（即ち摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 の先端 1 0 3 A が鋼材 1 0 1 とアルミニウム材 1 0 2 との合せ面 1 0 4 からアルミニウム材 1 0 2 側に 0 . 3 mm となる位置）とし、摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 の挿入完了からこの摩擦攪拌接合ツール 1 0 3 を引き抜くまでの保持時間を 2 秒としている。

30

【 0 0 4 4 】

上述の従来の摩擦攪拌点接合（図 8）により得られた摩擦攪拌接合体 1 0 0（図 9）では、符号 1 0 5 が接合部を示す。この摩擦攪拌接合体 1 0 0 と、図 2 及び図 3 に示す摩擦攪拌接合体 1 5 とのそれぞれについて、図 1 1 に示す剥離強度試験及び十字引張強度試験を行った。このとき、剥離強度試験片は J I S Z 3 1 4 4 に、十字引張強度試験片は J I S Z 3 1 3 7 にそれぞれ準じたものを用いた。これらの強度試験結果を表 4 と図 1 0 にそれぞれ示す。

【 0 0 4 5 】

本実施の形態の摩擦攪拌点接合により得られた摩擦攪拌接合体 1 5 は、従来の摩擦攪拌点接合により得られた摩擦攪拌接合体 1 0 0 に比べて、剥離強度が約 3 倍、十字引張強度が約 1 . 5 倍に向上している。

40

【 0 0 4 6 】

【表 4】

摩擦攪拌接合体の強度比較

	摩擦攪拌接合体 15	摩擦攪拌接合体 100
剥離強度	0.49	0.16
十字引張強度	0.52	0.35

50

## 【 0 0 4 7 】

以上のように構成されたことから、本実施の形態によれば、次の効果(1)～(5)を奏する。

## 【 0 0 4 8 】

(1) 回転ツール13を鋼材11側から挿入することにより、この鋼材11を軟化して塑性流動する温度まで発熱させ、この熱が伝熱することでアルミニウム材12が軟化して塑性流動する。このため、これらの塑性流動化された鋼材11及びアルミニウム材12を回転ツール13により、この回転ツール13近傍において部分的に十分に攪拌できるので、これらの鋼材11及びアルミニウム材12を高い接合強度で接合できる。

## 【 0 0 4 9 】

(2) 回転ツール13の挿入位置を鋼材11が突き破られない位置、つまり回転ツール13の先端13Aを鋼材11とアルミニウム材12との合せ面14から鋼材11側に0.05mm以上の位置に調整するので、鋼材11とアルミニウム材12との接合部17の接合面積を良好に確保できる。この結果、これらの鋼材11とアルミニウム材12との接合強度、特に剥離強度を向上させることができる。

## 【 0 0 5 0 】

(3) 回転ツール13の挿入位置を、回転ツール13の先端13Aが鋼材11とアルミニウム材12との合せ面14から鋼材11側に距離L(L=0.05mm～0.6mm)の位置にあるように調整するので、鋼材11とアルミニウム材12とを共に、摩擦熱により軟化させ、回転ツール13により十分攪拌させることができる。この結果、鋼材11とアルミニウム材12との接合強度を向上させることができる。

## 【 0 0 5 1 】

(4) 回転ツール13が直径3mm～10mmの丸棒形状に形成されたので、特に回転ツール13と鋼材11の摩擦による発熱を抑制して、回転ツール13の摩耗及び破損を防止できる。

## 【 0 0 5 2 】

(5) 接合時における回転ツール13の回転数が75rpm～750rpmに設定されたので、特に回転ツール13と鋼材11との摩擦による発熱を抑制して、回転ツール13の摩耗及び破損を防止できる。

## 【 0 0 5 3 】

以上、本発明を上記実施の形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、回転ツール13として、図8に示すようなショルダ部を有する摩擦攪拌接合ツール(FSWツール)を用いてもよい。ただし、この場合には、ショルダ部が鋼材11に接触すると発熱により早期に摩耗してしまうため、このショルダ部を鋼材11に接触させないことが望ましい。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 5 4 】

- 11 鋼材(高融点材料)
- 12 アルミニウム材(低融点材料)
- 13 回転ツール
- 13A 先端
- 14 合せ面
- 15 摩擦攪拌接合体(異種金属材料接合体)
- 16A、16B 攪拌部
- 17 接合部
- 18 摩擦攪拌接合体(異種金属材料接合体)
- 19A、19B 攪拌部
- 20 接合部
- 21 摩擦攪拌接合体(異種金属材料接合体)
- 22A、22B 攪拌部

10

20

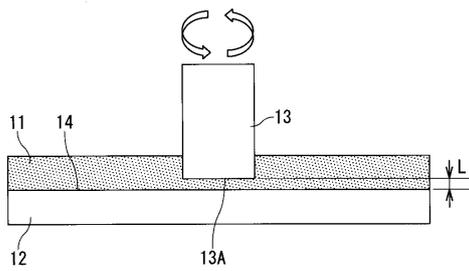
30

40

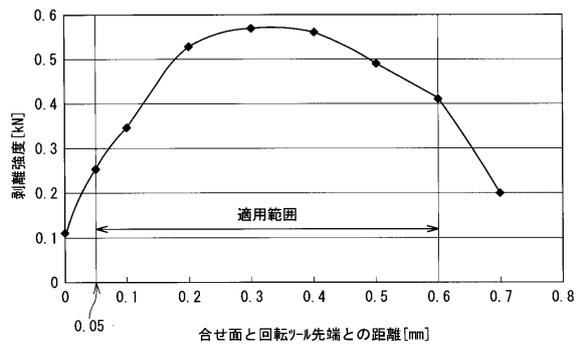
50

2 3 接合部

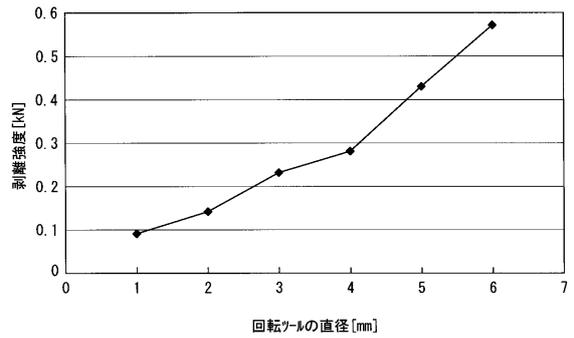
【図 1】



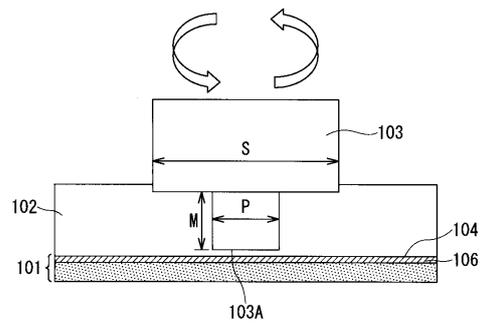
【図 6】



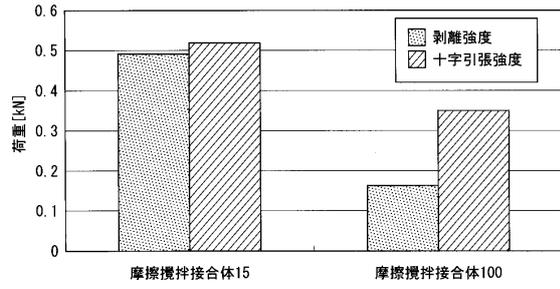
【図 7】



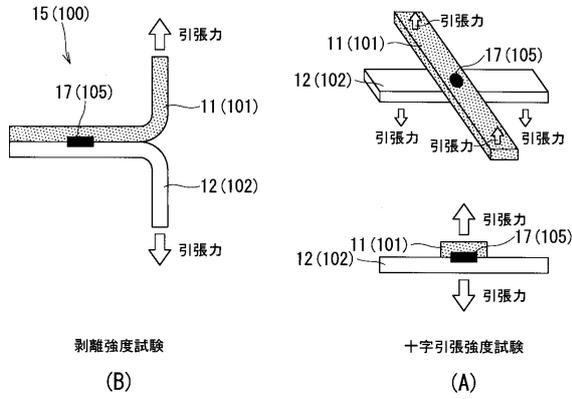
【図 8】



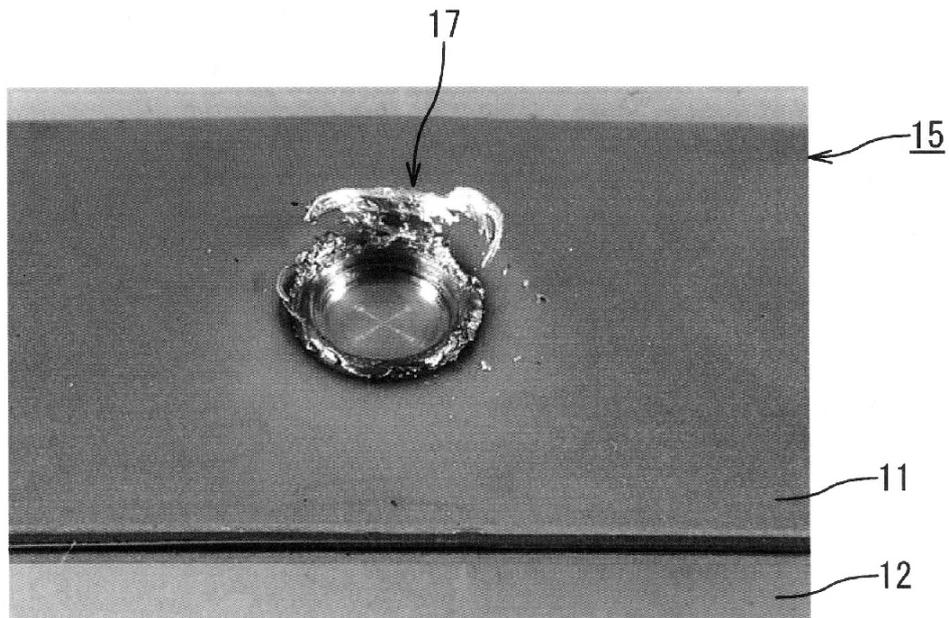
【図10】



【図11】

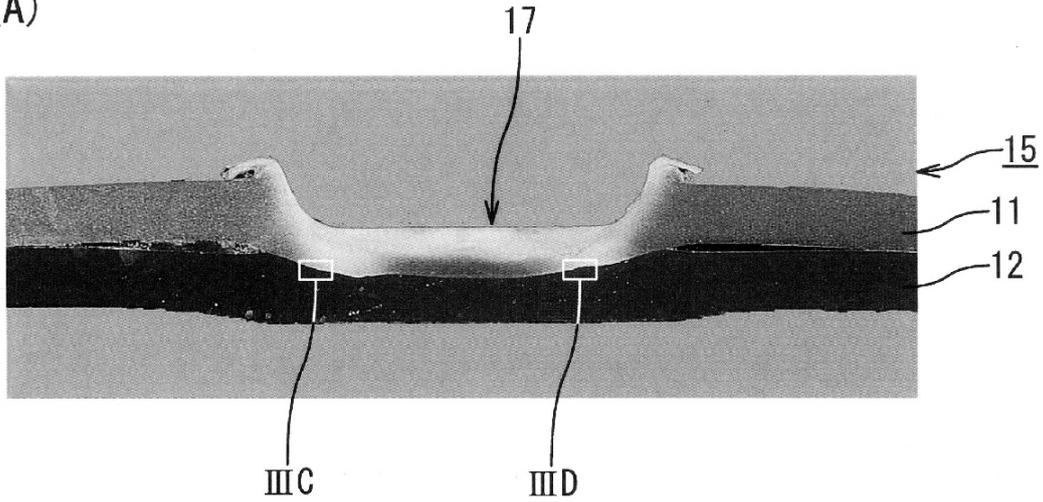


【図2】

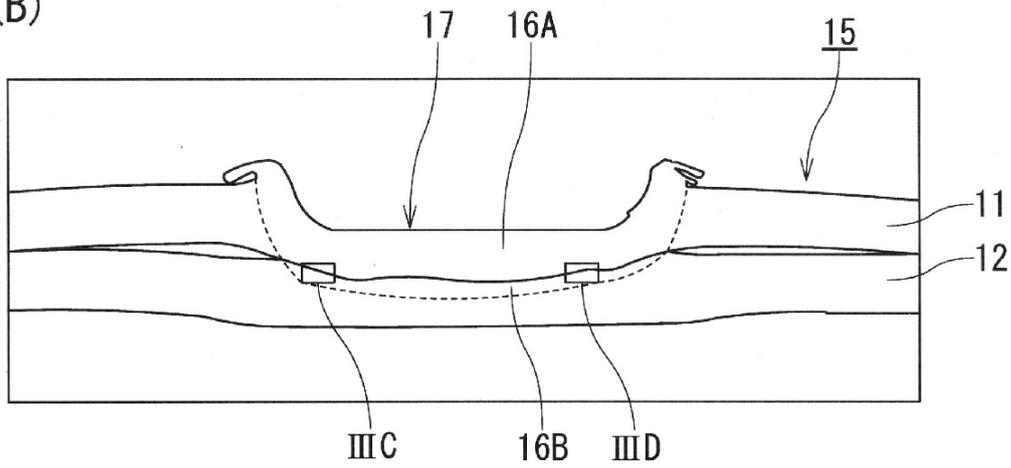


【図3】

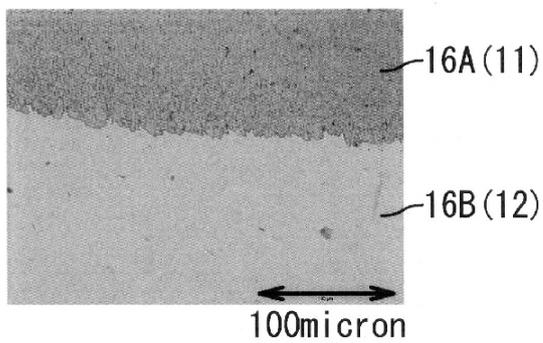
(A)



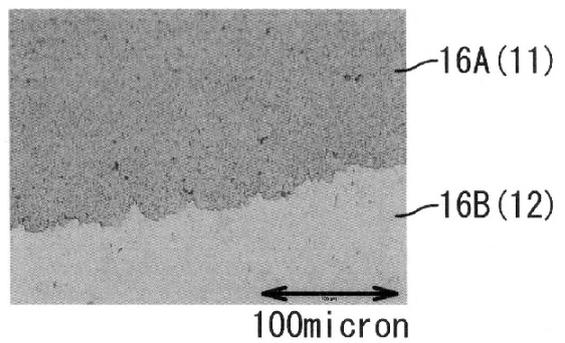
(B)



(C)

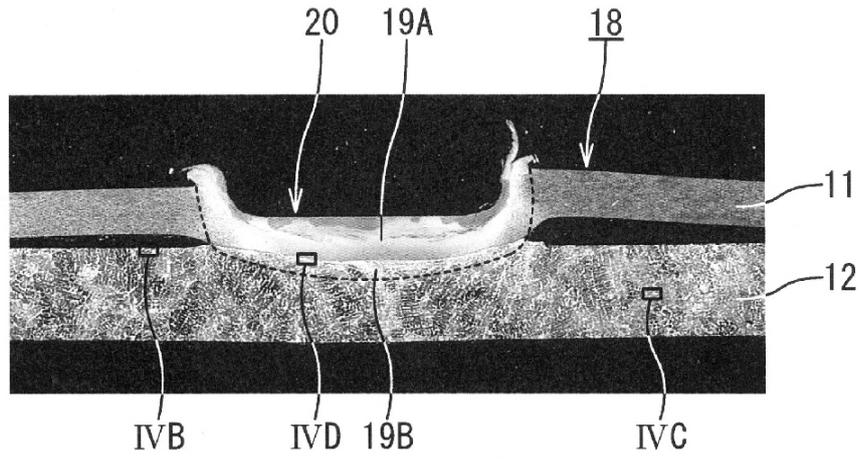


(D)

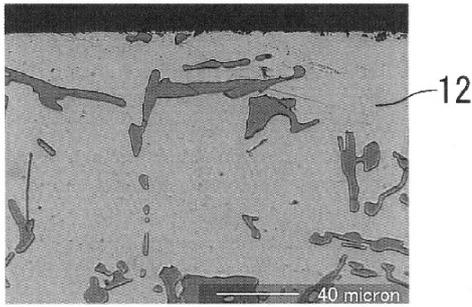


【 図 4 】

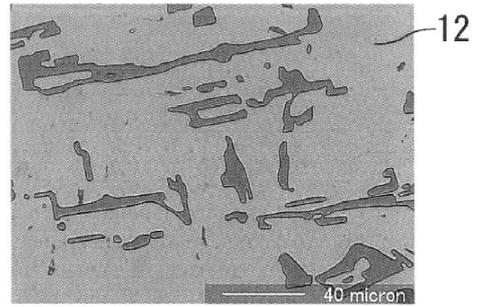
(A)



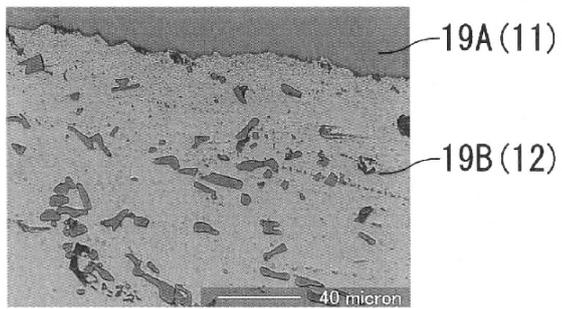
(B)



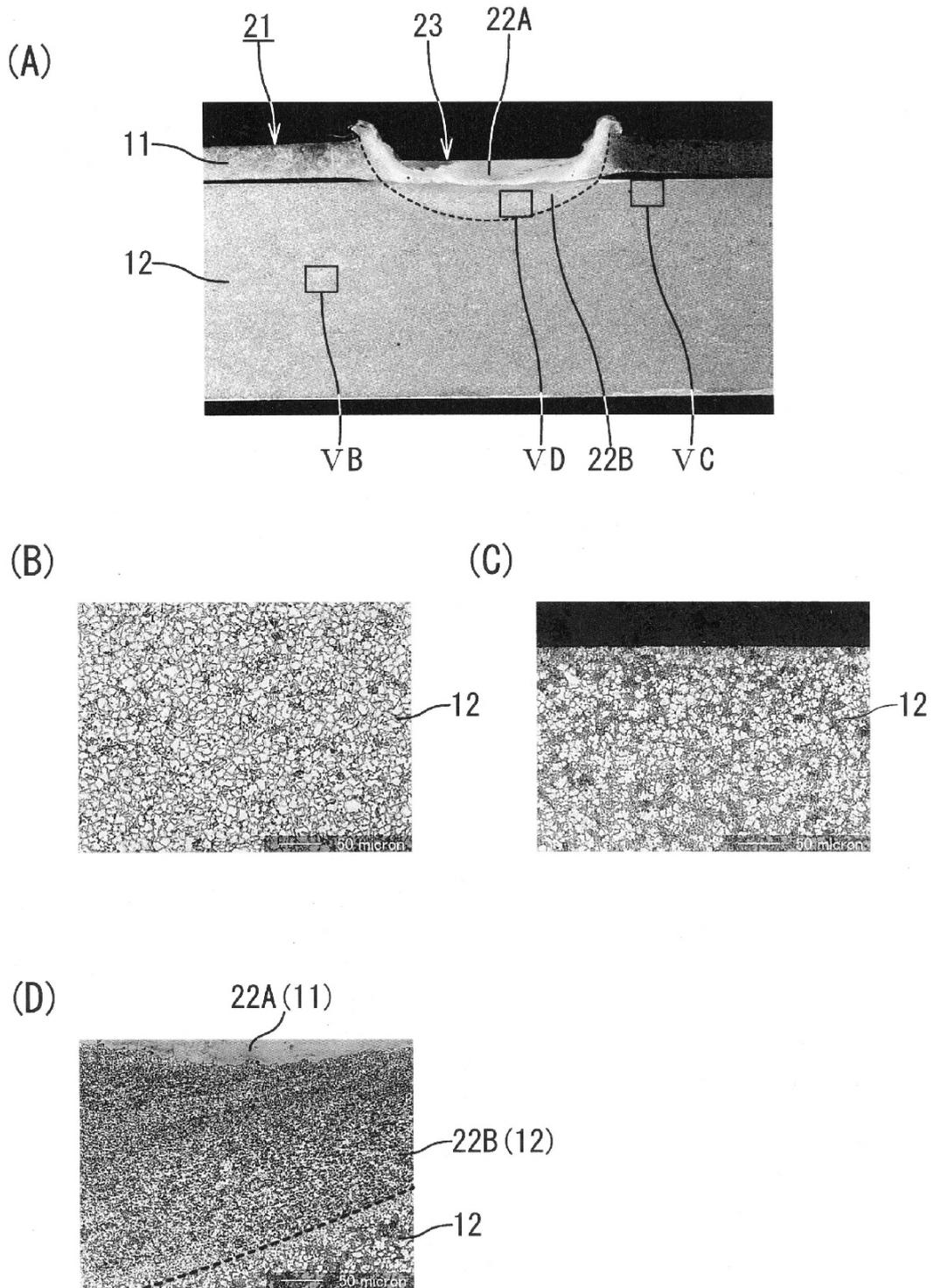
(C)



(D)

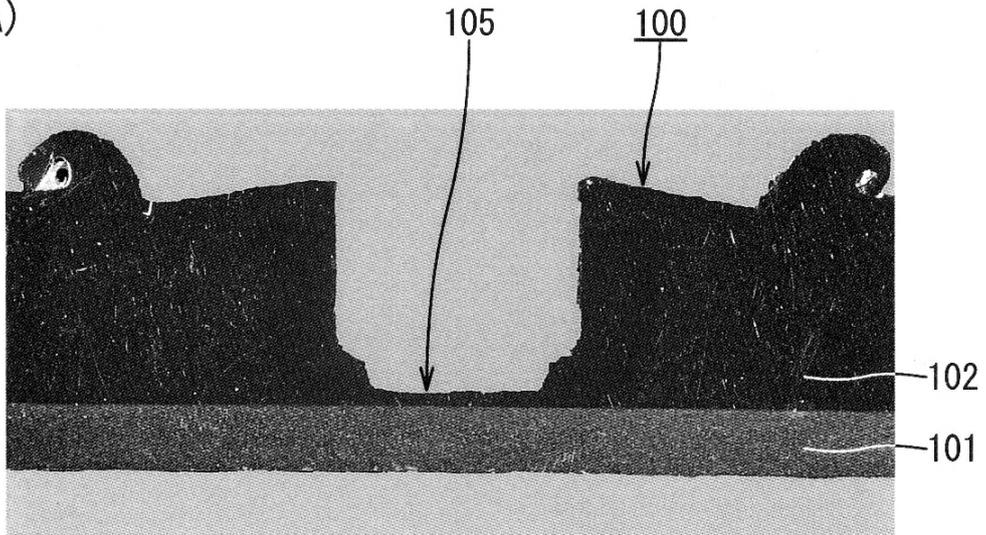


【 図 5 】

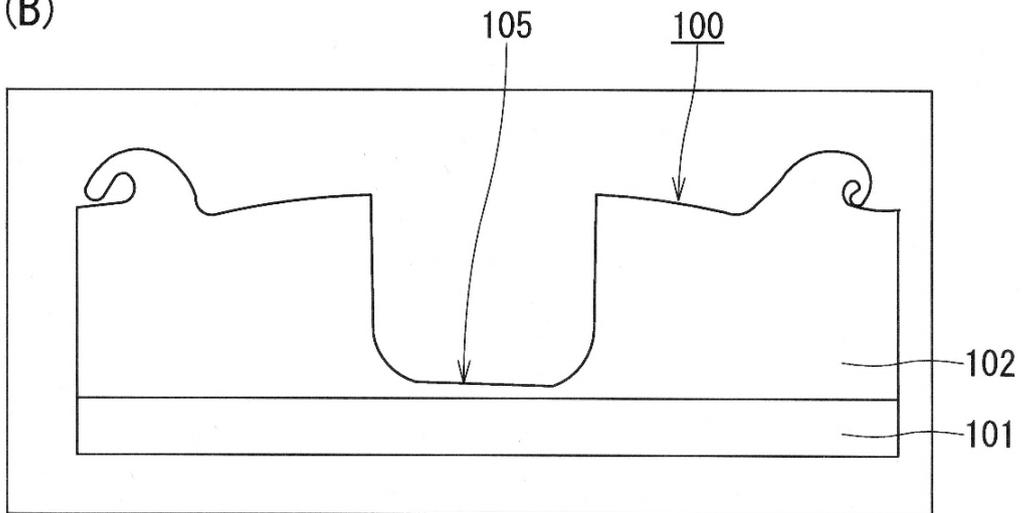


【図 9】

(A)



(B)



---

フロントページの続き

- (72)発明者 畑山 智信  
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内
- (72)発明者 四谷 剛毅  
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内

審査官 大内 俊彦

- (56)参考文献 特開2000-225476(JP,A)  
特開2008-221339(JP,A)  
特開2008-030096(JP,A)  
特開平10-137952(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B23K 20/12