

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6216764号
(P6216764)

(45) 発行日 平成29年10月18日(2017.10.18)

(24) 登録日 平成29年9月29日(2017.9.29)

(51) Int.Cl.	F 1
B 2 3 K 20/12 (2006.01)	B 2 3 K 20/12 3 1 0
F 1 6 H 41/30 (2006.01)	B 2 3 K 20/12 3 6 0
	B 2 3 K 20/12 3 6 4
	F 1 6 H 41/30 F

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-252687 (P2015-252687)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成27年12月24日(2015.12.24)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2017-113792 (P2017-113792A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成29年6月29日(2017.6.29)	(74) 代理人	100125265
審査請求日	平成28年9月28日(2016.9.28)		弁理士 貝塚 亮平
		(72) 発明者	野老 洋介
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		(72) 発明者	佐山 満
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
			社本田技術研究所内
		審査官	奥隅 隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異種金属接合方法及び異種金属接合部材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに異なる材質から成る第1金属及び第2金属が重なり合う重複部に対し、ツールを回転させながら上方より加圧すると同時に該ツールを接線方向に移動させることで該第1金属及び第2金属の該重複部を該接線方向に沿って所定の長さにわたり摩擦攪拌接合する異種金属接合方法であって、

前記重複部は前記ツールによって少なくとも2回にわたり摩擦攪拌接合され、

1回目の摩擦攪拌接合では前記ツールが前記第1金属を貫通し前記第2金属の所定の挿入深さまで入り込んだ状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させると共に、

2回目の摩擦攪拌接合では前記ツールの位置を前記接線方向と直交する方向に所定距離オフセットさせた状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させ、

前記2回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの前記第1金属及び第2金属に対する挿入深さが、前記1回目の摩擦攪拌接合の挿入深さに比べ浅い

ことを特徴とする異種金属接合方法。

【請求項2】

互いに異なる材質から成る第1金属及び第2金属が重なり合う重複部に対し、ツールを回転させながら上方より加圧すると同時に該ツールを接線方向に移動させることで該第1金属及び第2金属の該重複部を該接線方向に沿って所定の長さにわたり摩擦攪拌接合する異種金属接合方法であって、

前記重複部は前記ツールによって少なくとも2回にわたり摩擦攪拌接合され、

10

20

1 回目の摩擦攪拌接合では前記ツールが前記第 1 金属を貫通し前記第 2 金属の所定の挿入深さまで入り込んだ状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させると共に、

2 回目の摩擦攪拌接合では前記ツールの位置を前記接線方向と直交する方向に所定距離オフセットさせた状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させ、

前記 2 回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの回転速度が、前記 1 回目の摩擦攪拌接合に比べ遅い

ことを特徴とする異種金属接合方法。

【請求項 3】

互いに異なる材質から成る第 1 金属及び第 2 金属が重なり合う重複部に対し、ツールを回転させながら上方より加圧すると同時に該ツールを接線方向に移動させることで該第 1 金属及び第 2 金属の該重複部を該接線方向に沿って所定の長さにわたり摩擦攪拌接合する異種金属接合方法であって、

前記重複部は前記ツールによって少なくとも 2 回にわたり摩擦攪拌接合され、

1 回目の摩擦攪拌接合では前記ツールが前記第 1 金属を貫通し前記第 2 金属の所定の挿入深さまで入り込んだ状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させると共に、

2 回目の摩擦攪拌接合では前記ツールの位置を前記接線方向と直交する方向に所定距離オフセットさせた状態で、該ツールを前記接線方向に沿って移動させ、

前記 2 回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの移動速度が前記 1 回目の摩擦攪拌接合に比べ早い

ことを特徴とする異種金属接合方法。

【請求項 4】

前記ツールはピンを有し、前記所定距離は該ピンの幅以下であることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載の異種金属接合方法。

【請求項 5】

前記 2 回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの前記第 2 金属に対する挿入深さが、前記 1 回目の摩擦攪拌接合の挿入深さに比べ浅いことを特徴とする請求項 1 から 4 の何れかに記載の異種金属接合方法。

【請求項 6】

前記 2 回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの回転方向が、前記 1 回目の摩擦攪拌接合に比べ逆向きであることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れかに記載の異種金属接合方法。

【請求項 7】

前記 2 回目の摩擦攪拌接合における前記ツールの移動方向が前記 1 回目の摩擦攪拌接合に比べ逆向きであることを特徴とする請求項 1 から 6 の何れかに記載の異種金属接合方法。

【請求項 8】

互いに異なる材質から成る第 1 金属及び第 2 金属が重なり合う重複部を上記請求項 1 から 7 の何れかに記載の異種金属接合方法によって接合されていることを特徴とする異種金属接合部材。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は摩擦攪拌接合を用いた異種金属接合方法及び異種金属接合部材に関するものである。

【背景技術】

【0002】

2 つの異種金属部材を接合する接合方法として、先端中央部に設けられたピン（プローブ）と、ショルダと呼ばれる円柱状の回転体とから構成される回転ツールを回転させながら、両金属部材が重なる接合部（重複部）に対し上方より加圧すると同時に水平方向に移動させることによって、母材を溶融させることなく両金属部材を固相接合する、いわゆる

10

20

30

40

50

摩擦攪拌接合が知られている（例えば、特許文献 1 及び 2 を参照。 ）。

【 0 0 0 3 】

図 5 は、従来の摩擦攪拌接合による鉄部材とアルミニウム部材との金属接合を示す説明図である。

図 5 (a) に示されるように、従来の摩擦攪拌接合では、回転ツールを回転させながら鉄部材 (Steel 部材) とアルミニウム部材 (A L 部材) が重なる重複部に対し上方から垂直に押し付けることによって、ショルダとアルミニウム部材との間に摩擦熱を発生させ、その摩擦熱によってアルミニウム部材を軟化させると共に、先端中央部に設けられたピンによって軟化したアルミニウム部材を攪拌している。それと同時に、ショルダ下面によって軟化・攪拌されたアルミニウム部材を加圧している。これにより、両金属部材の接合界面近傍が安定に固相接合されるようになる。

10

【 0 0 0 4 】

図 5 (b) に示されるように、回転ツールが通過した後の部位は、攪拌部、その外側に塑性流動部、塑性流動部の外側に熱影響部がそれぞれ形成された結晶構造となる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 5 - 1 5 0 6 1 0 号公報

【 特許文献 2 】 特許第 5 6 4 5 3 9 5 号

【 発明の概要 】

20

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

従来の上記摩擦攪拌接合では、鉄部材表面に生成された不純物を取り除き、鉄部材の真生面を露出させるため、ピンを鉄部材表面から深さ数 mm (= t 0) 程度、内部に挿入させ、鉄部材表面の一部を削り取る場合がある。従って、回転ツールが水平方向へ移動する場合、削り取られた後の部位には鉄バリ (Steelバリ) が発生する。そして、鉄バリは攪拌部・塑性流動部 (アルミニウム部材) 内部に残留する。

【 0 0 0 7 】

鉄バリが攪拌部・塑性流動部内に残留する場合、攪拌部・塑性流動部は実質的な板厚が t 2 から t 3 へ減少する。従って、両金属部材の重複部に引張り又は曲げ荷重が作用する場合、攪拌部・塑性流動部に応力が集中し、これにより両金属部材が重なる接合界面近傍の強度 (接合強度) が低下するという問題がある。

30

【 0 0 0 8 】

更に、接合条件 (回転ツールの回転速度、移動速度、ショルダーのアルミニウム部材への挿入量) によってはアルミニウムがバリ (A Lバリ) として排出される場合がある。A Lバリが排出される場合、回転ツールが通過した後の母材の板厚 (= t 2) は、母材原質部の板厚 (= t 1) よりも薄くなる。これにより、アルミニウム部材表面に凹部が生じ、鉄バリと同様に、応力集中が発生して接合界面近傍の接合強度を低下させるという問題がある。

【 0 0 0 9 】

40

また、ピンが鉄部材表面を削り取る際に発生する熱によって、回転ツールが通過した部位に軟化層 (熱影響部) が発生しやすくなる。その結果、摩擦攪拌接合部における熱影響部の占める割合が大きくなる。熱影響部は強度的に弱い部位であるため、鉄バリの発生と同様に接合部の接合強度を低下させるという問題がある。

【 0 0 1 0 】

なお、上記特許文献 1 に記載の摩擦攪拌接合方法は、終端部において回転ツールを引き抜く際、金属面を露出させないようにするため、水平方向に動かしながらかき抜くことを特徴とする摩擦攪拌接合方法である。

【 0 0 1 1 】

また、上記特許文献 2 に記載の摩擦攪拌接合方法は、開始点において接合中心線を外れ

50

るように回転ツールを移動させることにより両金属部材を接合することを特徴とする摩擦攪拌接合方法である。

【0012】

従って、上記特許文献1及び2は、摩擦攪拌接合によって生じる両金属のバリが接合強度に与える影響(問題点)ならびに金属バリを抑制するという技術的手段、更には母材の熱影響部を縮小するという技術的手段等については何ら開示されていない。

【0013】

そこで、本発明は、上記従来技術の問題点に鑑み成されたものであり、その目的は、互いに異なる材質から成る異種金属を摩擦攪拌接合する際に、摩擦攪拌接合に係る母材において金属バリを好適に抑制すると共に、母材における熱影響部が占める割合を小さくすることにより両金属の接合強度を向上させることが可能な異種金属接合方法及び異種金属接合部材を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記目的を達成するための本発明に係る異種金属接合方法では、互いに異なる材質から成る第1金属(11)及び第2金属(12)が重なり合う重複部(40)に対し、ツール(20)を回転させながら上方より加圧すると同時に該ツール(20)を接線方向に移動させることで該第1金属(11)及び第2金属(12)の該重複部を該接線方向に沿って所定の長さにわたり摩擦攪拌接合する異種金属接合方法であって、前記重複部(40)は前記ツール(20)によって少なくとも2回にわたり摩擦攪拌接合され、1回目の摩擦攪拌接合(40a)では前記ツール(20)が前記第1金属(11)を貫通し前記第2金属(12)の所定の挿入深さ(D1-t1)まで入り込んだ状態で、該ツール(20)を前記接線方向に沿って移動させると共に、2回目の摩擦攪拌接合(40b)では前記ツール(20)の位置を前記接線方向と直交する方向に所定距離(L)オフセットさせた状態で、該ツール(20)を前記接線方向に沿って移動させることを特徴とする。

【0015】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)は、ツール(20)の位置を接線方向と垂直する方向に所定距離(L)ずらした状態(オフセットさせた状態)で、該ツールを接線方向に沿って移動させることによって行われる。そのため、1回目の摩擦攪拌接合(40a)において発生した金属バリ(ALバリ)は、ツール(20)が加圧・回転しながら移動することによって、元の金属部位に埋め戻され再結合され、これによりツールが通過した後の母材(t=t3)が1回目(t=t2)よりも厚くなる。一方、第2金属(12)表面の金属バリ(Steelバリ)は、ツール(20)によって除去され、これにより攪拌部・塑性流動部の実質的な板厚減少幅が小さくなる。その結果、両金属部材が重なる接合部の接合強度が向上するようになる。

【0016】

また、ツール(20)が加圧・回転しながら母材の熱影響部を移動することによって、1回目の摩擦攪拌接合によって生じた熱影響部の組織を微細化して熱影響部を攪拌部・塑性流動部に变化させることになる。これにより摩擦攪拌接合に係る母材の熱影響部が縮小し、攪拌部・塑性部が拡大されることになる。その結果、両金属部材が重なる接合部の接合強度が向上するようになる。

【0017】

本発明に係る異種金属接合方法の第2の特徴は、ツール(20)はピン(22)を有し、上記所定距離(L)は該ピンの幅(W)以下であることである。

【0018】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)のオフセット距離(L)がピンの幅(W)以下である。これにより、2回目の摩擦攪拌接合(40b)においてツール(20)が加圧・回転しながら移動する際、ピン(22)の先端部が金属バリ(Steelバリ)に当たるようになる。その結果、金属バリ(Steelバリ)はピン(22)によって除去されることになる。

【0019】

本発明に係る異種金属接合方法の第3の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の前記第1金属(11)及び第2金属(12)に対する挿入深さ(D2)が、前記1回目の摩擦攪拌接合(40a)の挿入深さ(D1)に比べ浅いことである。

【0020】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)における第1金属(11)及び第2金属(12)に対するツール(20)の挿入深さ(D2)が1回目の摩擦攪拌接合(40a)の挿入深さ(D1)に比べ浅い。これにより、ツール(20)が加圧・回転しながら移動する際、新たな金属バリ(Steelバリ)を生じさせずに第2金属(12)表面の金属バリ(Steelバリ)を除去することが可能となる。

10

【0021】

本発明に係る異種金属接合方法の第4の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の前記第2金属(12)に対する挿入深さ(D2-t1)が、1回目の摩擦攪拌接合(40a)の挿入深さ(D1-t1)に比べ浅いことである。

【0022】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)における第2金属(12)に対するツール(20)の挿入深さ(D2-t1)が1回目の摩擦攪拌接合(40a)の挿入深さ(D1-t1)に比べ浅い。これにより、ツール(20)が加圧・回転しながら移動する際、新たな金属バリ(Steelバリ)を生じさせない、或いは金属バリ(Steelバリ)の発生を最小限に抑えることが可能となる。

20

【0023】

本発明に係る異種金属接合方法の第5の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の回転方向が、1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ逆向きであることである。

【0024】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)の回転方向が1回目の摩擦攪拌接合(40a)に対し逆向きである。そのため、ツール(20)が加圧・回転しながら移動する際、1回目の摩擦攪拌接合によって生じた金属バリ(ALバリ)は、ツールから逆方向の回転速度成分に係る力を受けるため、金属バリ(ALバリ)は好適に元の金属部位に戻されることになる。これにより第1金属(11)表面の凹部(板厚減少部)は金属バリ(ALバリ)によって埋められる。一方、第2金属(12)表面の金属バリ(Steelバリ)は、ツール(20)によって除去され、これにより攪拌部・塑性流動部の実質的な板厚減少幅が小さくなる。その結果、両金属部材が重なる接合部の接合強度が向上するようになる。

30

【0025】

本発明に係る異種金属接合方法の第6の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の回転速度が、前記1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ遅いことである。

【0026】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)の回転速度が、1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ遅いことである。すなわち、2回目のツール(20)の回転速度を1回目より遅くしてツール(20)と母材との摩擦によって発生する熱量を小さくして、新たに発生する熱影響部による接合強度への影響を最小限にしている。

40

【0027】

本発明に係る異種金属接合方法の第7の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の移動方向が前記1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ逆向きであることである。

【0028】

50

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)の移動方向が1回目の摩擦攪拌接合(40a)に対し逆向きである。この場合、金属バリ(ALバリ)からツール(20)の近接方向を見た場合、1回目のツール(20)は例えば正面から近接するのに対し、2回目のツール(20)は背面から近接する。つまり、金属バリ(ALバリ)がツール(20)から受ける回転速度成分に係る力の向きは1回目と2回目とは互いに逆向きとなる。すなわち、2回目のツールの移動方向を1回目と逆向きにすることにより、2回目のツールの回転方向を1回目と逆向きにすることと同じ効果を奏するようになる。

【0029】

従って、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)の移動方向を1回目の摩擦攪拌接合(40a)に対し逆向きとすることにより、第1金属(11)表面の凹部(板厚減少部)は金属バリ(ALバリ)によって埋められ、これによりツールが通過した後の母材($t=t3$)が1回目($t=t2$)よりも厚くなる。一方、第2金属(12)表面の金属バリ(Steelバリ)は、ツール(20)によって除去され、これにより攪拌部・塑性流動部の実質的な板厚減少幅が小さくなる。その結果、接合強度が向上するようになる。

【0030】

本発明に係る異種金属接合方法の第8の特徴は、前記2回目の摩擦攪拌接合(40b)における前記ツール(20)の移動速度が前記1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ早いことである。

【0031】

上記構成では、2回目の摩擦攪拌接合(40b)におけるツール(20)の移動速度が、1回目の摩擦攪拌接合(40a)に比べ早いことである。すなわち、2回目のツール(20)の移動速度を1回目より早くしてツール(20)と母材との摩擦によって発生した摩擦熱を他の母材に伝わらないようにしている。つまり、熱影響部が拡大し接合部の接合強度が低下しないようにしている。

【0032】

本発明に係る異種金属接合部材は、互いに異なる材質から成る第1金属(11)及び第2金属(12)が重なり合う重複部(40)を上記何れかに記載の異種金属接合方法によって接合されていることを特徴とする。

【0033】

上記異種金属接合部材は、上記何れかに記載の異種金属接合方法によって摩擦攪拌接合されている。従って、強度および硬度が部分的に要求される構造部材、例えばステータシャフト等に対して好適に適用することが可能である。

【発明の効果】

【0034】

本発明の異種金属接合方法によれば、互いに異なる材質から成る異種金属を摩擦攪拌接合する際に、摩擦攪拌接合の母材において金属バリを好適に抑制することが可能となると共に、母材における熱影響部が占める割合を小さくし、攪拌部及び塑性流動部の占める割合を大きくすることが可能となる。これにより従来の摩擦攪拌接合に比べ接合部の接合強度が著しく向上するようになる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明の一実施形態に係る異種金属接合方法が適用された異種金属シャフトを示す説明図である。

【図2】本実施形態に係る1周目の摩擦攪拌接合と2周目の摩擦攪拌接合とを示す説明図である。

【図3】1周目の摩擦攪拌接合及び2周目の摩擦攪拌接合における摩擦攪拌接合ツールの移動方向を示す説明図である。

【図4】本実施形態に係る異種金属接合方法が適用されたステータシャフトを示す説明図である。

10

20

30

40

50

【図5】従来の摩擦攪拌接合による鉄部材とアルミニウム部材との金属接合を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0037】

図1は、本発明の一実施形態に係る異種金属接合方法が適用された異種金属シャフト100を示す説明図である。なお、図1(a)は異種金属シャフト100の斜視図であり、図1(b)は異種金属シャフト100の要部断面説明図である。また、参考として摩擦攪拌接合ツール20についても併せて図示されている。

10

【0038】

この異種金属シャフト100は、第1シャフト11と、第1シャフト11の内周面に圧入接合される第2シャフト12とから構成されている。第1シャフト11は全体が軽金属、例えばアルミニウム又はその合金から成る円筒状の中空シャフトである。対する第2シャフト12は、鉄系金属、例えばステンレス鋼から成り第1シャフト11と同心の円筒状の中空シャフトである。

【0039】

また、摩擦攪拌接合ツール20は、円筒回転体のショルダ21と、ショルダ21の下面中央部に設けられたピン22とを具備して構成されている。詳細については図2及び図3を参照しながら後述するが、第1シャフト11と第2シャフト12は、第1シャフト11の内周面11aと第2シャフト12の外周面12bとが軸方向に沿って重複する軸方向重複部40(図2)を摩擦攪拌接合ツール20によって上方より加圧しながら円周方向に沿って2周にわたり摩擦攪拌接合されている。

20

【0040】

また、1周目の摩擦攪拌接合40aと2周目の摩擦攪拌接合40bとにおいて、摩擦攪拌接合ツール20の軸方向位置を異ならせると共に、摩擦攪拌接合ツール20の第1シャフト11及び第2シャフト12に対する挿入深さDについても異ならせている。

【0041】

更に、その他の接合条件(摩擦攪拌接合ツール20の回転方向及び回転速度、並びに円周方向の移動速度)についても1周目の摩擦攪拌接合40aと2周目の摩擦攪拌接合40bとにおいて異ならせている。

30

【0042】

第1シャフト11の外周面11bには、円周帯状の1周目の摩擦攪拌接合40aと2周目の摩擦攪拌接合40bとが軸方向にオフセットして(ずれて)それぞれ形成されている。

【0043】

図2は、本実施形態に係る1周目の摩擦攪拌接合40aと2周目の摩擦攪拌接合40bとを示す説明図である。図2(a)は1周目の摩擦攪拌接合40aを示し、図2(b)は2周目の摩擦攪拌接合40bを示している。

【0044】

図2(a)に示されるように、摩擦攪拌接合ツール20を回転させながら径方向内側に加圧しながら第1シャフト11の円周方向に沿って移動させる。ショルダ21は回転しながらショルダ下面21aにて第1シャフト11を加圧することにより、第1シャフト11との間に摩擦熱を発生させる。その摩擦熱によってショルダ下面21aに隣接する第1シャフト11の部位が軟化し、軟化した部位はピン22によって攪拌される。

40

【0045】

摩擦攪拌接合ツール20が通過した部位(摩擦攪拌接合40a)には、中央部分に結晶組織が最も微細な攪拌部Z1、その外側に塑性流動部Z2、塑性流動部Z2の外側に攪拌が十分になされていない熱影響部Z3、熱影響部Z3の外側に母材の原形をとどめる母材原質部Z4がそれぞれ形成される。

50

【 0 0 4 6 】

摩擦攪拌接合ツール 2 0 が回転しながら径方向内側に移動することにより、ピン 2 2 が第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b を挿入深さ数 mm 程度 ($= D 1 - t 1$) 削り込む。その結果、第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b に真生面が露出し、その真生面と攪拌部 Z 1 及び塑性流動部 Z 2 との間に安定した固相结合 (金属結合) が形成され、これにより第 1 シャフト 1 1 と第 2 シャフト 1 2 が安定に結合される。

【 0 0 4 7 】

しかし、摩擦攪拌接合ツール 2 0 が回転しながら径方向内側に移動している間、ショルダ下面 2 1 a は軟化したアルミニウム母材を加圧するため、アルミニウムの一部が AL バリ 1 1 c として第 1 シャフト 1 1 の外周面 1 1 b から剥離する。その剥離した AL バリ 1 1 c によって摩擦攪拌接合 4 0 a には凹部 (板厚 $t 2$ の板厚減少部) が形成される。もし、第 1 シャフト 1 1 に引張り又は曲げ荷重が作用する場合、外周面 1 1 b に板厚減少部 (凹部) が有ると、板厚減少部に応力が集中し、結果的に接合界面近傍 Z 0 の接合強度を低下させることになる。

【 0 0 4 8 】

同様に、摩擦攪拌接合ツール 2 0 のピン 2 2 が、第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b を挿入深さ数 mm 程度 ($= D 1 - t 1$) 削り込む間、ステンレス鋼の一部が Steel バリ 1 2 c として外周面 1 2 b から剥離する。その剥離した Steel バリ 1 2 c によって攪拌部 Z 1 及び塑性流動部 Z 2 は実質的な板厚が減少する。従って、第 1 シャフト 1 1 に引張り又は曲げ荷重が作用する場合、クラック (Steel バリ) を介して攪拌部 Z 1 及び塑性流動部 Z 2 に応力が集中し、上記凹部と同様に接合界面近傍 Z 0 の接合強度を低下させることになる。

【 0 0 4 9 】

従って、2 周目の摩擦攪拌接合 4 0 b では、AL バリ 1 1 c を第 1 シャフト 1 1 の外周面 1 1 b に戻して再結合させ、凹部を埋める。一方、Steel バリ 1 2 c を第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b から除去して、攪拌部 Z 1 及び塑性流動部 Z 2 における実質的な板厚減少を解消するようにする。以下、2 周目の摩擦攪拌接合 4 0 b について説明する。

【 0 0 5 0 】

図 2 (b) に示されるように、摩擦攪拌接合ツール 2 0 の軸方向位置は、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a の軸方向位置に対してオフセットさせている。なお、オフセットさせる距離 L はピン 2 2 の幅 W 以下である。

【 0 0 5 1 】

また、摩擦攪拌接合ツール 2 0 の挿入深さ ($D 2$) は、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a の挿入深さ ($D 1$) に対して浅くしている。なお、2 周目の摩擦攪拌接合 4 0 b では、ピン 2 2 が Steel バリ 1 2 c に当たり、これにより Steel バリ 1 2 c を第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b に一体化させれば良い。従って、ピン 2 2 は必ずしも第 2 シャフト 1 2 の外周面 1 2 b に接触していなくても良い。望ましくは、ピン 2 2 の高さ $t 2$ と、第 1 シャフト 1 1 の板厚 $t 1$ とが略等しいことである。

【 0 0 5 2 】

また、摩擦攪拌接合ツール 2 0 の回転方向は、AL バリ 1 1 c が多くできる方向は摩擦攪拌接合ツール 2 0 の回転方向で決まるという特性を利用して、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a の回転方向に対し逆向きとしている。例えば、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a が反時計方向 (CCW) の場合、2 周目の摩擦攪拌接合 4 0 b は時計方向 (CW) である。

【 0 0 5 3 】

また、摩擦攪拌接合ツール 2 0 の回転速度は、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a の回転速度に対して遅くしている。これは、ショルダと母材との摩擦によって発生する熱量を小さくして、新たに発生する熱影響部による接合強度への影響を最小限にしている。

【 0 0 5 4 】

同様に、摩擦攪拌接合ツール 2 0 の移動速度は、1 周目の摩擦攪拌接合 4 0 a の移動速度に対して早くしている。これは、ショルダと母材との摩擦によって発生した摩擦熱を母

10

20

30

40

50

材に伝わらないようにして、熱影響部が新たに生成されることを防止するためである。

【 0 0 5 5 】

このように、2周目の摩擦攪拌接合40bでは1周目の摩擦攪拌接合40aに対し、摩擦攪拌接合ツール20の軸方向位置、挿入深さ(D2)、回転方向、回転速度、および移動速度を異ならせることによって、1周目の摩擦攪拌接合40aによって生じたALバリ11cを母材に戻して再結合させる。これにより、アルミニウム母材表面の凹部(板厚減少)について改善される。その結果、第1シャフト11と第2シャフト12の接合強度が向上する。

【 0 0 5 6 】

また、2周目の摩擦攪拌接合40bによって、1周目の熱影響部Z3は再攪拌され、組織を微細化される結果、攪拌部あるいは塑性流動部に再生される。これにより、2周目の摩擦攪拌接合40bにおける攪拌部Z1'および塑性流動部Z2'は、1周目の攪拌部Z1および塑性流動部Z2に比べ拡大される。これに対し、2周目の摩擦攪拌接合40bにおける熱影響部Z3'は、1周目の熱影響部Z3に比べ縮小される。その結果、2周目の摩擦攪拌接合40bにおける接合界面近傍Z0'が、1周目の接合界面近傍Z0に比べ拡大される。これにより、第1シャフト11と第2シャフト12の接合強度が向上する。

【 0 0 5 7 】

ところで、摩擦攪拌接合ツール20の回転方向を1周目の摩擦攪拌接合40aに対し逆向きとする代わりに、摩擦攪拌接合ツール20の移動方向を1周目の摩擦攪拌接合40aに対し逆向きとしても、同様な効果を奏する。以下、摩擦攪拌接合ツール20の移動方向について説明する。

【 0 0 5 8 】

図3は、1周目の摩擦攪拌接合40a及び2周目の摩擦攪拌接合40bにおける摩擦攪拌接合ツール20の移動方向を示す説明図である。なお、説明の都合上、右手系の座標が図示されている。

図3(a)に示されるように、摩擦攪拌接合ツール20が反時計方向(CCW)に自転しながら第1シャフト11の円周方向を時計方向(CW)に移動(公転)している場合、第1シャフト11のA部にはプラスY方向に向かう回転速度成分に係る力が作用する。一方、図3(b)に示されるように、摩擦攪拌接合ツール20が同方向に自転しながら第1シャフト11の円周方向を反時計方向(CCW)に移動(公転)している場合、第1シャフト11のA部にはマイナスY方向に向かう回転速度成分に係る力が作用する。つまり、2周目において摩擦攪拌接合ツール20の移動方向を1周目の摩擦攪拌接合40aに対し逆向きとすることにより、同一部位に対し1周目と逆向きの回転速度成分に係る力を作用させることが可能となる。これにより、ツール20の回転方向を1周目と2周目とにおいて逆にする場合と同様に、1周目の摩擦攪拌接合40aによって生じたALバリ11cを母材に戻して再結合させることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

図4は、本実施形態に係る異種金属接合方法が適用されたステータシャフト50を示す説明図である。なお、説明の都合上、第3シャフト14及び摩擦攪拌接合ツール20についても併せて図示されている。

【 0 0 6 0 】

このステータシャフト50は、トルクコンバータ(図示せず)のステータ(図示せず)を支持するためのシャフトである。ステータシャフト50は、全体が鉄系金属から作られていた従来のステータシャフトと異なり、強度が要求される先端部を鉄系金属から成る第2シャフト52で構成され、強度が要求されない先端部以外の部位をアルミニウム系軽金属から成る第1シャフト51で構成されている異種金属接合シャフトである。従って、上記ステータシャフト50は先端部以外の部位がアルミニウム系軽金属によって構成されているため、軸全体の大幅な軽量化が可能となる。

【 0 0 6 1 】

第2シャフト52のエンジン側の先端部外周面にはスプライン歯52cが周方向に沿っ

10

20

30

40

50

て形成されている。一方、第2シャフト52の先端部内周面にはメインシャフト（図示せず）を回転可能に支持するベアリング53が取り付けられている。

【0062】

第1シャフト51と第2シャフト52は、上述した本発明の異種金属接合方法によって摩擦攪拌接合されている。すなわち、第1シャフト51の内周面51aと第2シャフト52の外周面52bとが軸方向に沿って重複する軸方向重複部52bsを摩擦攪拌接合ツール20によって上方より加圧しながら円周方向に沿って2周にわたり摩擦攪拌接合50a, 50bされている。これにより、摩擦攪拌接合に係るアルミニウム母材（第1シャフト51）における実質的な板厚減少ならびに等価クラック状態が改善されると共に、アルミニウム母材表面の凹部（板厚減少）についても改善される。

10

【0063】

更に、摩擦攪拌接合に係るアルミニウム母材（第1シャフト51）における熱影響部の占める割合が、従来の摩擦攪拌接合によって接合されたものに比べ小さくなり、攪拌部および塑性流動部の占める割合が高くなっている。従って、第1シャフト51と第2シャフト52の接合強度が、従来の摩擦攪拌接合によって接合されたものに比べ高いものとなっている。

【0064】

なお、本実施形態に係る異種金属接合方法によって接合されるステータシャフト50は、引張り強度が従来の摩擦攪拌接合によって接合されたものに比べ30%程度高くなる。

【0065】

20

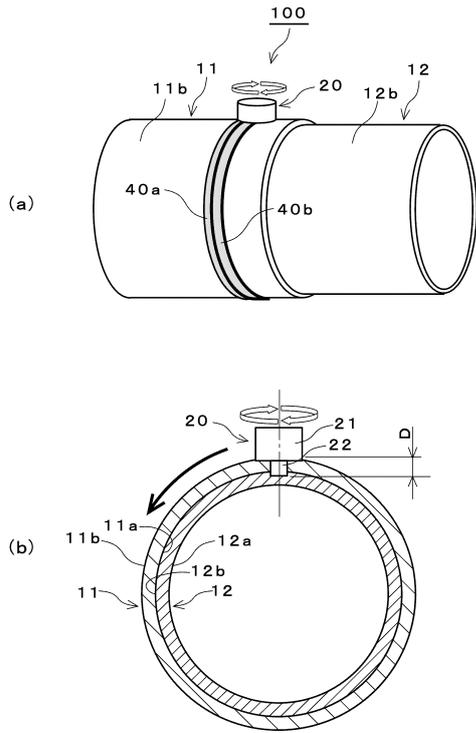
以上、図面を参照しながら本実施形態に係る異種金属接合方法について説明した。しかし、本発明の実施形態は上記実施形態だけに限定されるものではなく、本発明の技術的特徴の要旨を変更しない範囲において種々の変更・修正を加えることが可能である。例えば、摩擦攪拌接合ツール20を2周目の摩擦攪拌接合40bとは逆方向にオフセットさせて、更にもう1周、つまり合計3周に渡り第1シャフト11の円周方向に沿って移動させることも可能である。

【符号の説明】

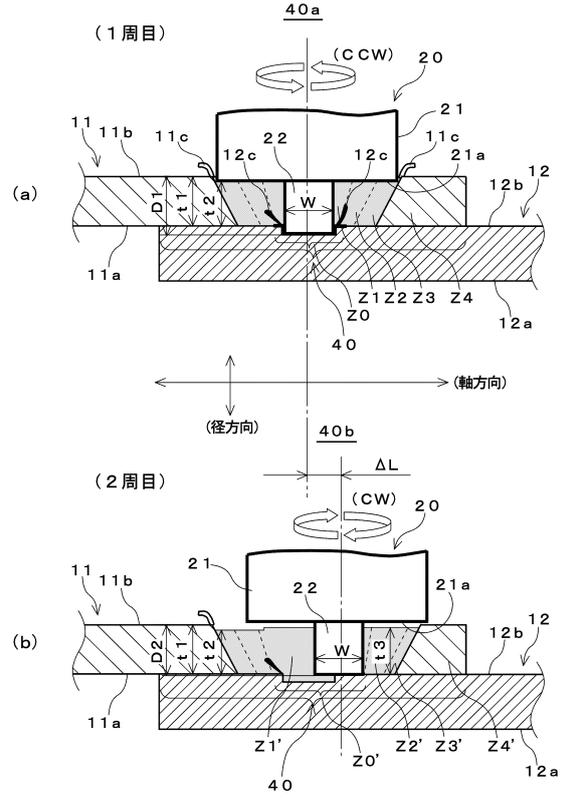
【0066】

11	第1シャフト	
11a	第1シャフトの内周面	30
11b	第1シャフトの外周面	
12	第2シャフト	
12a	第2シャフトの内周面	
12b	第2シャフトの外周面	
20	摩擦攪拌接合ツール	
21	ショルダ	
21a	ショルダ下面	
22	ピン	
40	軸方向重複部	
40a	1周目の摩擦攪拌接合	40
40b	2周目の摩擦攪拌接合	
50	ステータシャフト	
51	第1シャフト	
52	第2シャフト	
52c	スプライン歯	
53	ベアリング	
54	第3シャフト	
100	異種金属シャフト	

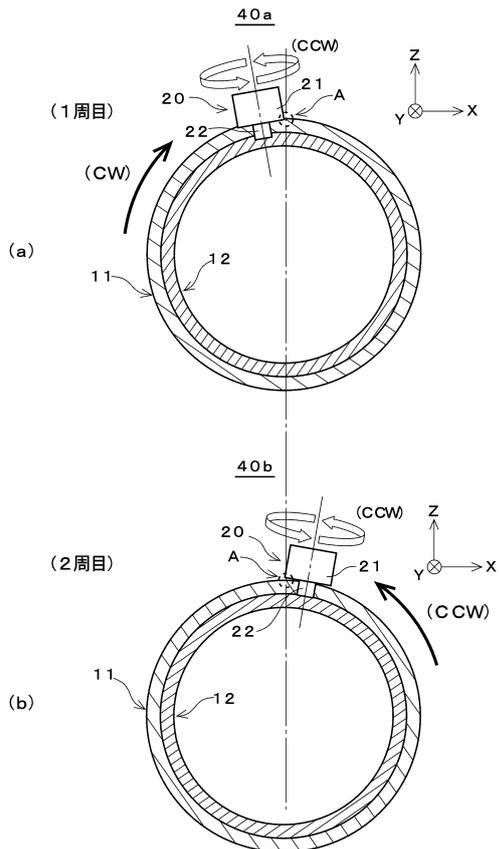
【図1】



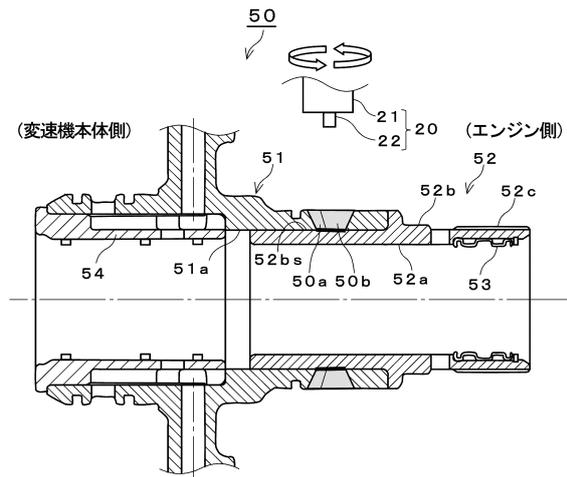
【図2】



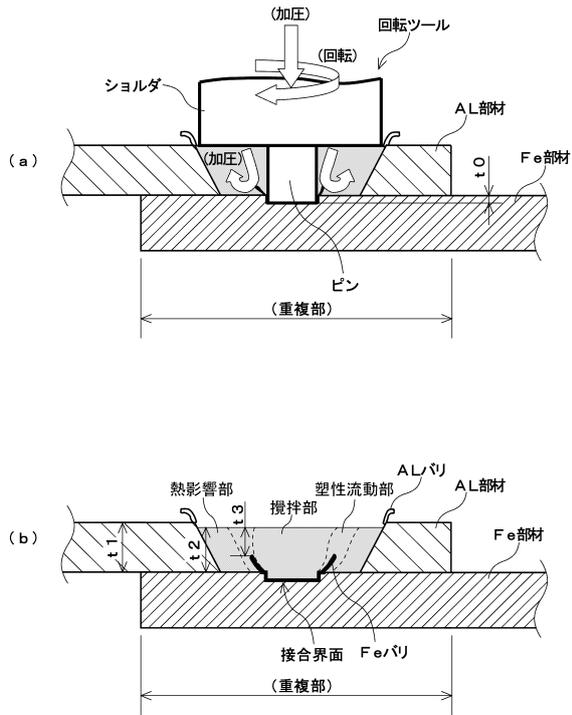
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0139640 (US, A1)
特開2006-192501 (JP, A)
特開2015-131323 (JP, A)
米国特許出願公開第2008/0048005 (US, A1)
国際公開第2006/093125 (WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B23K 20/12