

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4286962号  
(P4286962)

(45) 発行日 平成21年7月1日(2009.7.1)

(24) 登録日 平成21年4月3日(2009.4.3)

(51) Int.Cl.

**B23K 20/12 (2006.01)**

F 1

B 2 3 K 20/12 3 2 0  
B 2 3 K 20/12 3 6 8

請求項の数 5 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-114111  
 (22) 出願日 平成11年4月21日(1999.4.21)  
 (65) 公開番号 特開2000-301361(P2000-301361A)  
 (43) 公開日 平成12年10月31日(2000.10.31)  
 審査請求日 平成18年4月12日(2006.4.12)

(73) 特許権者 000002004  
 昭和電工株式会社  
 東京都港区芝大門1丁目13番9号  
 (74) 代理人 100071168  
 弁理士 清水 久義  
 (74) 代理人 100099885  
 弁理士 高田 健市  
 (74) 代理人 100099874  
 弁理士 黒瀬 靖久  
 (72) 発明者 川田 斎礼  
 堺市海山町6丁224番地 昭和アルミニウム株式会社内  
 (72) 発明者 橋本 武典  
 堺市海山町6丁224番地 昭和アルミニウム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】摩擦攪拌接合方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

摩擦攪拌接合ツールの先端部をワークの接合線に沿って埋入状態で回転しつつ相対的に進行させて、ワーク同士を接合一体化する摩擦攪拌接合方法において、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を摩擦攪拌接合ツールの回転数の変化によって略一定に制御することを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

## 【請求項2】

摩擦攪拌接合ツールの先端部をワークの接合線に沿って埋入状態で回転しつつ相対的に進行させて、ワーク同士を接合一体化する摩擦攪拌接合方法において、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を接合速度の変化によって略一定に制御することを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

10

## 【請求項3】

摩擦攪拌接合ツールの先端部をワークの接合線に沿って埋入状態で回転しつつ相対的に進行させて、ワーク同士を接合一体化する摩擦攪拌接合方法において、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を摩擦攪拌接合ツールの円筒部を包囲するジャケットを設け、このジャケット内に加熱手段または冷却手段を配置することによって略一定に制御することを特徴とする摩擦攪拌接合方法。

## 【請求項4】

接合中のワークの接合部又はその近傍の温度を計測し、この計測値に基づいて接合中のワークへの入熱量を制御する請求項1～3のいずれかに記載の摩擦攪拌接合方法。

20

**【請求項 5】**

ワークが直径 60 mm 以下のパイプ材または棒材であり、該ワークを周方向に沿って摩擦攪拌接合する請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の摩擦攪拌接合方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

この発明は、摩擦攪拌接合ツールの先端部をワーク同士の接合線に沿って埋入状態で回転しつつ相対的に進行させることにより、ワーク同士を接合一体化する摩擦攪拌接合方法に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

近年、金属材の溶接や口ウ付けに代わる新しい接合手段として、摩擦攪拌接合 (Friction Stir Welding) 法が登場している。この接合法は、例えば特表平7-505090号公報に開示されているように、被加工物よりも硬い材質のプローブ(棒状物)を回転させながら被加工物に摺接させた際に、この摺接部分で発生する摩擦熱と圧力によって被加工物素材が塑性流動化するため、該プローブが被加工物中に埋入して且つこの埋入状態のまま被加工物中を移動可能になることを利用したものである。

**【0003】**

例えば、図 1 に示すように、ワークとして金属板 (1)(1) 同士を突き合わせて接合する場合、摩擦攪拌接合ツール (2) として円筒部 (20) の先端に突軸状のプローブ (21) を有するものを用い、該ツール (2) を高速回転させながら接合線 (L) の始端部に押し付けてプローブ (21) を埋入させ、矢印で示すように該接合線 (L) に沿って移動させる。これにより、進行するプローブ (21) の前方側では摩擦熱と圧力によって金属板 (1)(1) の素材が塑性流動し、攪拌混練されながらプローブ (21) の後方側へ漸次移行するが、この後方側では摩擦熱を失って急速に冷却固化するから、両金属板 (1)(1) は素材金属が攪拌混練されて完全に一体化した状態で接合される。

**【0004】**

この場合、金属素材が塑性流動する温度は融点よりもかなり低く、接合は固相接合の範疇に入るから、接合過程を通してワークへの入熱量は少なく、且つ凝固収縮に伴う応力の発生もないから、接合部近傍の熱歪みによる変形や割れを生じにくいという利点がある。なお、図 1 のように摩擦攪拌接合ツール (2) 側を移動させる代わりに、ワーク側を移動しつつ定位置に配備した加工ヘッドにて接合してもよい。

**【0005】**

従来、このような摩擦攪拌接合においては、接合対象とするワークの材質や肉厚等に応じて、摩擦攪拌接合ツールの仕様、該ツールの回転数、接合速度、該ツールの突っ込み深さ等の加工条件を最適となるように選択し、これら加工条件を接合開始から終了まで一定に維持して接合を行っていた。

**【0006】****【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、前記従来の摩擦攪拌接合方法では、形態や材質等より熱が溜まり易いワークを接合対象とするとき、接合の進行に伴って接合部位への入熱量が次第に増大することから、接合の開始部位と終了部位とで接合品位に差を生じるという問題があった。とりわけ、図 2 に示すように、直径  $W$  が 60 mm 以下といった小径のパイプ材や棒材等のワーク (W) を周方向に沿って摩擦攪拌接合する場合、前記の接合品位の差が特に顕著に現れることから、実用上で大きな問題となっている。また、従来の摩擦攪拌接合方法においては、ツールの先端部をワークに埋入させ、接合のためにツール側又はワーク側の送りを開始するまでに時間がかかり、加工能率が悪いという難点もあった。

**【0007】**

この発明は、上述の事情に鑑みて、接合の開始部位から終了部位まで均等な接合品位が得られ、しかも高い加工能率を達成できる摩擦攪拌接合方法を提供することを目的としている。

10

20

30

40

50

**【0008】****【課題を解決するための手段】**

上記目的を達成するために、この発明の請求項1に係る摩擦攪拌接合方法は、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を略一定に制御することを特徴としている。すなわち、ワークへの入熱量を均一化することにより、入熱状況の変化に起因した接合部位による接合状態の変動が抑えられ、塑性流動化した素材の硬化による摩擦攪拌組織の違いが少なくなり、接合の始端から終端まで均等な接合品位が得られる。特に、直径が60mm以下の小径のパイプ材や棒材等のワーク(W)を周方向に沿って摩擦攪拌接合する場合に好適である。但し、これに限定されない。

**【0009】**

10

しかし、上記のようにワークへの入熱量を制御する手段として、請求項2の発明では摩擦攪拌接合ツールの回転数の変化、請求項3の発明では接合速度の変化、請求項4の発明では外部からのワークの加熱又は冷却、請求項5の発明では摩擦攪拌接合ツール側の加熱又は冷却、をそれぞれ利用するものとしている。

**【0010】**

また、請求項6の発明では、上記請求項1～5のいずれかの摩擦攪拌接合方法において、接合中のワークの接合部又はその近傍の温度を計測し、この計測値に基づいて接合中のワークへの入熱量を制御するものとしている。この場合、ワークへの入熱量を接合中の温度計測値から直接的にフィードバックして制御するので、接合状況に即応して入熱量を補正して接合開始から終了までの入熱量を均等化できる。

20

**【0011】****【発明の実施の形態】**

この発明の摩擦攪拌接合方法では接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を略一定に制御するが、摩擦攪拌接合において該入熱量に関与する主要な因子としては、a) 摩擦攪拌接合ツールの形状、b) 該ツールの回転数、c) 接合速度、d) 該ツールの突っ込み深さ(ツールとワークの接触面積)が挙げられる。しかし、a) 摩擦攪拌接合ツールの形状とd) 該ツールの突っ込み深さは接合対象とするワークの接合部位の肉厚や形態によって定まるが、b) 該ツールの回転数とc) 接合速度は入熱量の制御因子として利用できる。

**【0012】**

30

すなわち、入熱不足の場合には、ツールの回転数を上げるか、接合速度を落とすことにより、入熱量を増加できる。逆に入熱過剰の場合には、ツールの回転数を下げるか、接合速度を速めることにより、入熱量を減少できる。ただし、摩擦攪拌接合を可能ならしめる上で、ツールの回転数と接合速度との比の許容範囲があるから、この許容範囲内で両者を変化させて入熱量制御を行うことになる。

**【0013】**

なお、ツールの回転数を変化させるには、は摩擦攪拌接合加工機における主軸の回転を制御すればよい。また接合速度を変化させるには、ツール側を移動させる接合方式では同主軸の移動速度を制御し、ワーク側を移動させる接合方式では該ワークの移動速度を制御すればよい。

40

**【0014】**

また、この発明では、ワークへの入熱量の制御手段として、ワークを加熱又は冷却する方法、ならびに摩擦攪拌接合ツール側を加熱又は冷却する方法も採用可能である。しかし、ワークの加熱にはヒーター加熱や熱風の吹き付け等を利用でき、またワークの冷却には低温流体を接触させて熱交換による排熱を促進する方法を適用できるが、これら以外の加熱又は冷却機構でも差し支えない。

**【0015】**

ツール側の加熱には、例えば図3(イ)に示すように、摩擦攪拌接合ツール(2)の円筒部(20)を包囲するジャケット(3)を設け、このジャケット(3)の内側にヒーター(4)を設置するか、同図(ロ)に示すように、同様のジャケット(3)内に加熱流体を流

50

通させる方法を採用できる。またツール側の冷却には同図(口)のジャケット(3)内に低温流体を流通させる方法や、切削加工ツールに採用されるようなセンタースルー方式によるツール内部へのクーラントの流通方式を採用できる。

#### 【0016】

これらの制御手段によって接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を略一定に制御するには、オフラインによって制御の指標を定める方法と、オンラインのフィードバック方式によって接合状況に即応して入熱量の補正を行う方法とがある。

#### 【0017】

前者のオフラインによる方法では、実際に摩擦攪拌接合を行ったサンプルの接合状態を組織観察等で調べ、接合の開始部位から終了部位までを適当に区切った部位毎の最適な入熱条件を試行錯誤的に求め、判明した入熱条件に基づいて接合時の入熱制御を既述の制御手段によって行えばよい。10

#### 【0018】

後者のオンラインによる方法では、図4に示すように、接合中のワーク(W)の接合部又はその近傍の温度を温度計測部で継続的に計測し、この計測値を制御部へ逐一入力し、制御部において予め設定した基準温度と計測値との差から必要とする入熱の加減量を求めると共に、前記制御手段の駆動部へ入熱を加減するための駆動信号を出力し、この駆動部の作動によって接合中のワーク(W)に対する入熱量を補正する。なお、このような自動制御によらず、前記温度の計測値に基づいて人為的に前記制御手段の駆動部を調整して、接合中のワーク(W)に対する入熱量を補正するようにしてもよい。しかして、上記の温度計測には、熱放射を測定するセンサー等を利用した非接触型の温度計測装置が好適であるが、接触型の温度計測装置も利用可能である。20

#### 【0019】

かくして摩擦攪拌接合におけるワークへの入熱量を均一化すれば、入熱状況の変化に起因した接合部位による接合状態の変動が抑えられるから、塑性流動化した素材の硬化による摩擦攪拌組織の違いが少なくなり、接合の始端から終端まで均等な接合品位となり、とりわけ小径のパイプ材や棒材等の周方向接合において好結果が得られる。

#### 【0020】

一方、ワークへの入熱量を摩擦攪拌接合ツールの回転数の変化にて制御する方式を採用する場合、該ツールの先端部(プローブ)をワークに埋入させる際、ならびに埋入後に接合のためにツール側又はワーク側の送りを開始する際に、ツールの回転数を上げることにより、上記埋入の速度及び接合開始速度が速まるから、この時間短縮によって加工能率が向上する。またワークへの入熱量の制御に上記ツールの回転数又は接合速度を変化させ方30式を採用すれば、加熱や冷却を行うための格別な外部装置が不要であるから、設備コスト的に有利である。

#### 【0021】

##### 【実施例】

6063-T5のアルミニウム材からなる直径50mm、厚さ4.0mmのパイプを接合対象とし、摩擦攪拌接合ツールとしてプローブ径が4mmのものを使用し、該ツールの回転数を接合の開始部位における1300rpmから終了部位における1000rpmまで漸減することにより、接合部位の温度を常時約480℃に維持してパイプの周方向に沿う摩擦攪拌接合を行った。そして、得られた接合品の接合部の組織を調べたところ、接合部の全体にわたって均質な摩擦攪拌組織を有しており、接合部位による品位の差がないことが確認された。40

#### 【0022】

##### 【比較例】

前記実施例と同様のパイプ及び摩擦攪拌接合ツールを用い、該ツールの回転数を接合の開始部位から終了部位まで1100rpmで一定として、該パイプの周方向に沿う摩擦攪拌接合を行ったところ、接合部位の温度は開始部位の460℃から終了部位の490℃まで変化した。そして、得られた接合品の接合部の組織を調べたところ、接合の開始部位と終50

了部位とで摩擦攪拌組織に大きな違いがあり、接合品位が不均一であることが判った。

【0023】

【発明の効果】

請求項1の発明によれば、摩擦攪拌接合において、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を略一定に制御することから、接合部の全体にわたって安定した摩擦攪拌組織で均等な接合品位が得られ、特に小径のパイプ材や棒材の周方向接合に好適な方法が提供される。

【0024】

請求項2の発明によれば、上記の摩擦攪拌接合方法において、ワークへの入熱量を摩擦攪拌接合ツールの回転数の変化にて制御することから、該入熱量の制御を加熱や冷却を行う場合のような格別な外部装置が不要で設備コスト的に有利である上、該ツールの先端部をワークに埋入させる際や、その埋入後にツール側又はワーク側の送りを開始する際の速度を速めて加工能率を向上できる。

10

【0025】

請求項3の発明によれば、上記の摩擦攪拌接合方法において、ワークへの入熱量を接合速度の変化にて制御することから、該入熱量の制御を加熱や冷却を行う場合のような格別な外部装置が不要となり、設備コスト的に有利になる。

【0026】

請求項4及び5の発明によれば、上記の摩擦攪拌接合方法において、ワークもしくは摩擦攪拌接合ツールの加熱又は冷却により、接合の開始部位から終了部位までのワークへの入熱量を略一定に制御できる。

20

【0027】

請求項6の発明によれば、上記の摩擦攪拌接合方法において、接合中のワークの接合部又はその近傍の温度の計測値から直接的にフィードバックして当該ワークへの入熱量を制御することから、接合状況に即応して入熱量を補正して接合開始から終了までの入熱量を均等化できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】摩擦攪拌接合による金属板同士の接合を示す斜視図である。

【図2】摩擦攪拌接合によるパイプ材の接合を示す縦断側面図である。

【図3】この発明の摩擦攪拌接合方法におけるワークへの入熱量の制御手段を例示するものであり、(イ)図はヒーターによる加熱方式の摩擦攪拌接合ツールの概略縦断側面図、(ロ)図は流体による加熱又は冷却を行う同ツールの概略縦断側面図である。

30

【図4】この発明の摩擦攪拌接合方法におけるワークへの入熱量の制御手段を例示する模式図である。

【符号の説明】

1 · · · · 金属板

2 · · · · 摩擦攪拌接合ツール

2 0 · · · 円筒部

2 1 · · · プローブ(先端部)

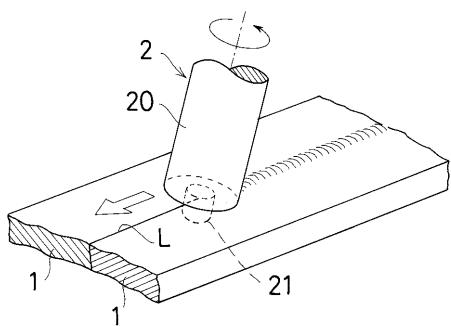
3 · · · · ジャケット

4 · · · · ヒーター

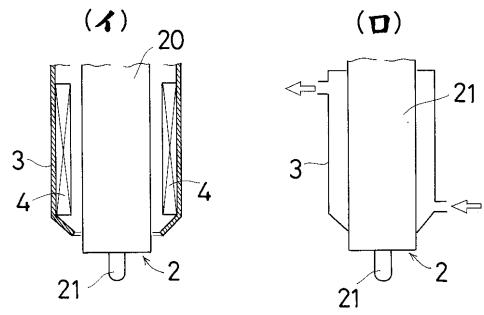
W · · · · ワーク

40

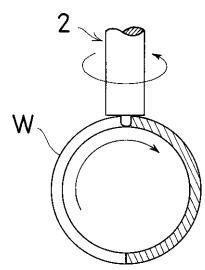
【図1】



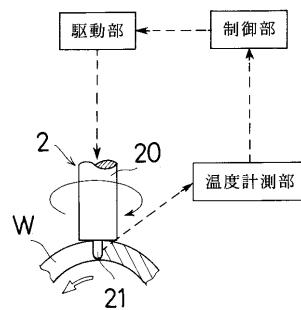
【図3】



【図2】



【図4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 栃木 雅晴  
堺市海山町6丁224番地 昭和アルミニウム株式会社内

審査官 松本 公一

(56)参考文献 特開平11-058040(JP,A)  
特開2000-202645(JP,A)  
特開2000-061663(JP,A)  
特開平11-291065(JP,A)  
特開平11-010367(JP,A)  
特開平09-085477(JP,A)  
特開平09-323178(JP,A)  
特開平10-052770(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 20/12  
B23K 26/00- 26/42