

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6796839号  
(P6796839)

(45) 発行日 令和2年12月9日(2020.12.9)

(24) 登録日 令和2年11月19日(2020.11.19)

(51) Int.Cl. F 1  
**B 2 3 K 20/12 (2006.01)** B 2 3 K 20/12 D

請求項の数 8 (全 12 頁)

|  |   |
|--|---|
| <p>(21) 出願番号 特願2017-17995 (P2017-17995)<br/>                 (22) 出願日 平成29年2月2日(2017.2.2)<br/>                 (65) 公開番号 特開2018-122342 (P2018-122342A)<br/>                 (43) 公開日 平成30年8月9日(2018.8.9)<br/>                 審査請求日 令和1年11月28日(2019.11.28)</p> | <p>(73) 特許権者 504176911<br/>                 国立大学法人大阪大学<br/>                 大阪府吹田市山田丘1番1号<br/>                 (73) 特許権者 000006655<br/>                 日本製鉄株式会社<br/>                 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号<br/>                 (74) 代理人 100106909<br/>                 弁理士 棚井 澄雄<br/>                 (74) 代理人 100064908<br/>                 弁理士 志賀 正武<br/>                 (74) 代理人 100175802<br/>                 弁理士 寺本 光生<br/>                 (74) 代理人 100134359<br/>                 弁理士 勝俣 智夫</p> |
|--|---|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成する第一工程と、  
 前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記摺動の方向と略平行及び略垂直に前記被接合界面からバリを排出させる第二工程と、  
 前記摺動を停止して接合面を形成する第三工程と、を有し、  
 前記第二工程において、前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察し、前記バリが前記摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に、前記第三工程における前記停止を実行すること、  
 を特徴とする線形摩擦接合方法。

【請求項2】

一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成する第一工程と、  
 前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記摺動の方向と略平行及び略垂直に前記被接合界面からバリを排出させる第二工程と、  
 前記摺動を停止して接合面を形成する第三工程と、を有し、  
 前記第二工程において、前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察し、前記摺動の方向に対して略垂直に排出される前記バリが前記被接合界面の両端に達した瞬間に、前記第三工程における前記停止を実行すること、

を特徴とする線形摩擦接合方法。

【請求項 3】

前記被接合界面が正方形又は長方形であること、  
を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の線形摩擦接合方法。

【請求項 4】

前記第二工程において、前記摺動の方向を前記一方の部材及び / 又は前記他方の部材の略短手方向とすること、

を特徴とする請求項 1 ~ 3 のうちのいずれかに記載の線形摩擦接合方法。

【請求項 5】

前記一方の部材及び / 又は前記他方の部材が鉄系金属、チタン又はチタン合金であること、

を特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちのいずれかに記載の線形摩擦接合方法。

【請求項 6】

一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成した後、前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記被接合界面からバリを排出した後に前記摺動を停止させる線形摩擦接合装置であって、

前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察するための観察装置と、前記バリが前記摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に前記摺動の停止を実行するプログラム、又は、前記摺動の方向に対して略垂直に排出される前記バリが前記被接合

界面の両端に達した瞬間に前記摺動の停止を実行するプログラムと、を備えること、

を特徴とする線形摩擦接合装置。

【請求項 7】

更に、前記摺動の方向に対して略平行の方向から前記被接合界面を観察するための観察装置を備えること、

を特徴とする請求項 6 に記載の線形摩擦接合装置。

【請求項 8】

前記観察装置が高速度ビデオカメラであること、  
を特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の線形摩擦接合装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は金属材料同士を固相接合する線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼やアルミニウム合金等の金属材料の高強度化に伴い、接合構造物の機械的特性を決定する接合部での強度低下が深刻な問題となっている。これに対し、近年、接合中の最高到達温度が被接合材の融点に達せず、接合部における強度低下が従来の溶融溶接と比較して小さい固相接合法が注目され、急速に実用化が進んでいる。

【0003】

特に、金属部材同士を線形軌跡で摺動させる線形摩擦接合 ( L F W : L i n e a e r F r i c t i o n W e l d i n g ) は、摩擦攪拌接合 ( F S W : F r i c t i o n S t i r W e l d i n g ) のようにツールを用いる必要がないことから、高融点金属にも容易に適用することができ、種々の産業における実用化が期待されている。

【0004】

しかしながら、線形摩擦接合の接合機構や適切なプロセス制御方法等については必ずしも明らかになっておらず、多数の予備試験や経験等に基づき、各被接合材に対する接合条件の最適化が行われているのが実情である。

【0005】

これに対し、例えば、特許文献 1 ( 特開 2 0 1 5 - 1 6 4 7 3 8 号公報 ) では、一方の

10

20

30

40

50

部材を他方の部材に当接させた状態でそれらを同一軌跡上で繰り返し相対移動させて、前記一方の部材を前記他方の部材に摩擦接合する摩擦接合装置であって、前記一方の部材の前記他方の部材に対する相対移動の停止指令にしたがって、該停止指令の発生から前記一方の部材が前記他方の部材に対して前記軌跡を一回相対移動するまでの期間中に前記一方の部材の前記他方の部材に対する相対移動を停止させる停止手段を備えること、を特徴とする摩擦接合装置が開示されている。

【0006】

上記特許文献1に記載の摩擦接合装置においては、一方の部材を他方の部材に当接させた状態でそれらを同一軌跡上で繰り返し相対移動させて摩擦接合する際に、相対移動の停止命令をどのタイミングで発生させれば、2つの部材が適切な接合状態となるタイミングで両者の相対移動が丁度停止するかを、特定しやすくすることができる、としている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2015-164738号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、上記特許文献1に開示されている摩擦接合方法は、停止指令の発生からアクチュエータの停止までにかかる期間を短縮し、摩擦接合量を制御するものであり、最低限の摩擦接合量で十分な継手特性を有する接合部を形成させるものではない。

20

【0009】

線形摩擦接合においてはバリとして排出された分だけ被接合材が短くなることから、可能な限りバリの排出量を最低限に抑えつつ、良好な接合部が形成されるタイミングで接合を停止することが望まれる。しかしながら、当該停止のタイミングを決定する適当な方法は存在しない。

【0010】

以上のような従来技術における問題点に鑑み、本発明の目的は、バリの排出量を最低限に抑えつつ、良好な接合部を形成することができる、簡便な線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明者は上記目的を達成すべく、接合プロセスの進行を確認するための観察方法及び適当な摺動の停止タイミング等について鋭意研究を重ねた結果、バリが排出される状況等に注目することが極めて有効であることを見出し、本発明に到達した。

【0012】

即ち、本発明は、

一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成する第一工程と、

前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記摺動の方向と略平行及び略垂直に前記被接合界面からバリを排出させる第二工程と、

40

前記摺動を停止して接合面を形成する第三工程と、を有し、

前記第二工程において、前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察し、前記バリが前記摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に、前記第三工程における前記停止を実行すること、

を特徴とする線形摩擦接合方法を提供する。

【0013】

図1に線形摩擦接合中の状況を示す模式図を示す。線形摩擦接合は被接合材同士を線形運動で擦りあわせた際に生じる摩擦熱を主な熱源とする固相接合である。従来の線形摩擦接合においては、昇温によって軟化した材料を被接合界面からバリとして排出することで

50

、被接合界面に形成していた酸化被膜を除去し、新生面同士を当接させることで接合部が得られるとされている。

【 0 0 1 4 】

本発明者は線形摩擦接合の接合プロセス中におけるバリの排出量、方向及び順番について詳細に観察したところ、被接合界面からバリが最初に排出されるのは摺動の方向と略垂直方向であり、その後引き続いて略平行方向から排出されることが明らかとなった。一般的に想起される接合初期のバリ排出方向は摺動の方向と略平行方向であるが、実際には異なった現象が生じている。なお、本明細書において「摺動の方向と略垂直方向」及び「摺動の方向と略平行方向」は、共に印加圧力に対して略垂直の方向である。

【 0 0 1 5 】

被接合界面からバリが排出される方向及び順番には、被接合界面の温度分布が大きく影響していると考えられる。具体的には、被接合界面の中心は絶えず被接合材同士が当接しており、摩擦熱が蓄熱されやすい。その結果、当該領域において最初に被接合材の軟化が進行し、当該領域から最短距離の「摺動の方向と略垂直方向」からバリが排出されることになる。

【 0 0 1 6 】

ここで、線形摩擦接合では摺動の停止を実行した後、部材の動きが完全に止まるまでに0.2～0.5秒を要するのが一般的である。被接合界面の全方位から軟化した材料(バリ)が排出されることで、被接合界面の全面が接合されたことを把握することができるが、当該タイミングに合わせて部材の動きを停止すると、不要なバ리를排出してしまうことになる。これに対し、本発明者は様々なタイミングで摺動を停止させて得られた継手の接合部及び機械的特性を評価した結果、摺動の方向に対して略平行にバリが排出された瞬間に停止を実行することで、バリの排出量を最低限に抑えつつ、良好な接合部が形成されることが明らかとなった。

【 0 0 1 7 】

摺動の方向に対して略平行にバリが排出された瞬間を正確に観察するためには、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察する必要がある。よって、本発明の線形摩擦接合方法においては、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察することを構成要件としている。

【 0 0 1 8 】

また、本発明は、  
一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成する第一工程と、  
前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記摺動の方向と略平行及び略垂直に前記被接合界面からバ리를排出させる第二工程と、  
前記摺動を停止して接合面を形成する第三工程と、を有し、  
前記第二工程において、前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察し、前記摺動の方向に対して略垂直に排出される前記バリが前記被接合界面の両端に達した瞬間に、前記第三工程における前記停止を実行すること、  
を特徴とする線形摩擦接合方法も提供する。

【 0 0 1 9 】

線形摩擦接合の接合プロセス中におけるバリの排出挙動等については上述のとおりであるが、摺動の方向に対して略平行にバリが排出された瞬間に停止を実行すると、接合界面からの酸化物の除去等が不十分な場合が存在し、被接合材の種類、形状及び大きさによっては若干継手特性が低下する場合が存在する。

【 0 0 2 0 】

これに対し、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察し、摺動の方向に対して略垂直に排出されるバリが当該被接合界面の両端に達した瞬間に摺動を停止することで、摺動の方向に対して略平行にバリが排出された瞬間に摺動を停止する場合と比較して、バリの排出量は若干多くなるものの、より確実に酸化物の除去等を達成することがで

10

20

30

40

50

きる。

【0021】

ここで、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察することで、摺動の方向に対して略垂直に排出されるバリが当該被接合界面の両端に達した瞬間を容易に把握することができる。具体的には、バリの排出に伴い被接合界面が発光するため、当該発光が被接合界面の両端に達した瞬間を観察すればよい。

【0022】

本発明の線形摩擦接合方法においては、前記被接合界面が正方形又は長方形であること、が好ましい。バリの排出を観察することによって摺動を停止するタイミングを決定する方法は種々の形状を有する被接合材に適用することができるが、被接合界面が正方形又は長方形である場合、バリの排出方向及び排出のタイミングをより容易に観察することができる。

10

【0023】

また、本発明の線形摩擦接合においては、前記第二工程において、前記摺動の方向を前記一方の部材及び/又は前記他方の部材の略短手方向とすることで、が好ましい。摺動の方向を一方の部材及び/又は他方の部材の略短手方向とすることで、略長手方向とする場合と比較して、摺動プロセス中に絶えず接触している被接合界面の面積が小さくなる。即ち、摩擦熱の発生や抜熱に起因する温度勾配は略短手方向に摺動させる場合の方が大きくなり、その結果、バリが排出される方向依存性がより顕著になり、摺動を停止するための指標となるバリの排出をより容易に観察することができる。

20

【0024】

更に、本発明の線形摩擦接合においては、前記一方の部材及び/又は前記他方の部材が鉄系金属、チタン又はチタン合金であること、が好ましい。一方の部材及び/又は他方の部材を鉄系金属、チタン又はチタン合金とすることで、バリの発生又はバリの発生に伴う発光を容易に確認することができる。加えて、従来の固相接合方法及び溶融溶接方法では接合が困難な厚板に対応できると共に、入熱過剰による接合部の強度低下を効果的に抑制することができる。

【0025】

また、本発明は、

一方の部材を他方の部材に当接させて被接合界面を形成した後、前記被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、前記一方の部材と前記他方の部材とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、前記被接合界面からバ리를排出した後前記摺動を停止させる線形摩擦接合装置であって、

30

前記摺動の方向に対して略垂直の方向から前記被接合界面を観察するための観察装置と、前記バリが前記摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に前記摺動の停止を実行するプログラム、又は、前記摺動の方向に対して略垂直に排出される前記バリが前記被接合界面の両端に達した瞬間に前記摺動の停止を実行するプログラムと、を備えること、

を特徴とする線形摩擦接合装置も提供する。

【0026】

摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察するための観察装置を用いることで、上述の本発明の線形摩擦接合方法を容易に使用することができる。

40

【0027】

本発明の線形摩擦接合装置においては、更に、前記摺動の方向に対して略平行の方向から前記被接合界面を観察するための観察装置を備えること、が好ましい。

【0028】

摺動の方向に対して略平行の方向から被接合界面を観察するための観察装置も用いることで、より確実にバリの排出挙動を観察することができる。

【0029】

更に、本発明の線形摩擦接合装置においては、前記観察装置が高速度ビデオカメラであることが好ましい。高速度ビデオカメラを用いることで、肉眼ではタイミングを計ること

50

が困難であるバリの排出タイミング等を正確に把握することができる。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、バリの排出量を最低限に抑えつつ、良好な接合部を形成することができる、簡便な線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の線形摩擦接合の一態様を示す模式図である。

【図2】本発明の線形摩擦接合の接合工程を示す模式図である。

【図3】摺動の方向に対して略垂直の方向から観察した高速度ビデオカメラ画像である。

10

【図4】摺動の方向に対して略平行の方向から観察した高速度ビデオカメラ画像である。

【図5】実施例2、3及び比較例1～4で得られた接合部の断面写真である。

【図6】実施例2、3及び比較例1、2、4で得られた継手の引張強度である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、図面を参照しながら本発明の線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置の代表的な実施形態について詳細に説明するが、本発明はこれらのみに限定されるものではない。なお、以下の説明では、同一または相当部分には同一符号を付し、重複する説明は省略する場合がある。また、図面は、本発明を概念的に説明するためのものであるから、表された各構成要素の寸法やそれらの比は実際のものとは異なる場合もある。

20

【0033】

(1) 線形摩擦接合方法

図2は本発明の線形摩擦接合の接合工程を示す模式図である。本発明の線形摩擦接合方法は、一方の部材2を他方の部材4に当接させて被接合界面6を形成する第一工程と、被接合界面6に対して略垂直に圧力を印加した状態で、一方の部材2と他方の部材4とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、摺動の方向と略平行及び略垂直に被接合界面からバリ8を排出させる第二工程と、摺動を停止して接合面を形成する第三工程と、を有している。以下、各工程について詳細に説明する。

【0034】

(1-1) 第一工程

30

第一工程は、一方の部材2を他方の部材4に当接させて被接合界面6を形成する工程である。接合部の形成を所望する箇所に一方の部材2及び/又は他方の部材4を移動させ、被接合同土を当接させ、被接合界面6を形成する。

【0035】

一方の部材2及び他方の部材4の材質は、本発明の効果を損なわない限りにおいて特に限定されず、線形摩擦接合によって接合可能な金属相を有していればよいが、鉄系金属、チタン又はチタン合金であること、が好ましい。一方の部材2及び/又は他方の部材4を鉄系金属、チタン又はチタン合金とすることで、バリ8の発生又はバリ8の発生に伴う発光を容易に確認することができる。加えて、従来の接合方法では接合が困難な厚板に対応することができると共に、入熱過剰による接合部の強度低下を効果的に抑制することができる。なお、本発明において鉄系金属とは、組成において鉄を主とする金属を意味し、例えば、種々の鋼や鋳鉄等が含まれる。

40

【0036】

また、アルミニウム、マグネシウム及び銅等の、鉄やチタンと比較して熱伝導率が高い金属は摩擦熱が抜熱されやすいため、線形摩擦接合が困難な場合が存在する。しかしながら、高い熱伝導率に起因してバリが排出される順番(方向)がより明確になることから、一方の部材2及び/又は他方の部材4をこれらの金属材とすることで、本発明の線形摩擦接合をよりの確に用いることができる。

【0037】

また、一方の部材2及び他方の部材4の形状及びサイズは、本発明の効果を損なわない

50

限りにおいて特に限定されず、線形摩擦接合装置によって所望の加圧及び加振等を実現できるものであればよいが、被接合界面6を正方形又は長方形とすることが好ましい。バリ8の排出を観察することによって摺動を停止するタイミングを決定する方法は種々の形状を有する被接合材に適用することができるが、被接合界面6が正方形又は長方形である場合、第二工程においてバリ8の排出方向及び排出のタイミングをより容易に観察することができる。

【0038】

(1-2) 第二工程

第二工程は、被接合界面6に対して略垂直に圧力を印加した状態で、一方の部材2と他方の部材4とを同一軌跡上で繰り返し摺動させ、摺動の方向と略平行及び略垂直に被接合界面6からバリ8を排出させる工程である。

10

【0039】

一方の部材2と他方の部材4とを同一軌跡上で繰り返し摺動させる方法は、本発明の効果を損なわない限りにおいて特に限定されず、両方の部材を共に加振させても、一方を固定して他方を加振させてもよい。また、線形摩擦接合のプロセス条件(印加圧力、加振の周波数及び振幅等)も特に限定されず、被接合材の材質、形状及びサイズ等に応じて適宜設定すればよい。

【0040】

ここで、摺動の方向と略平行又は略垂直に被接合界面6から排出されるバリ8を別々に観察するという観点からは、摺動の方向を一方の部材2及び/又は他方の部材4の略短手方向とすること、が好ましい。摺動の方向を一方の部材2及び/又は他方の部材4の略短手方向とすることで、略長手方向とする場合と比較して、摺動プロセス中に絶えず接触している被接合界面6の面積が小さくなる。即ち、摩擦熱の発生や抜熱に起因する温度勾配は略短手方向に摺動させる場合の方が大きくなり、その結果、バリ8が排出される方向依存性がより顕著になり、摺動を停止するための指標となるバリ8の排出をより容易に観察することができる。

20

【0041】

第二工程におけるバリ8の排出挙動は、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面6を観察することで把握する。当該観察手法は特に限定されないが、例えば、高速度ビデオカメラを用いて、2500fps程度のフレームレートを用いることでバリ8が排出される挙動を正確に知ることができる。

30

【0042】

(1-3) 第三工程

第三工程は、第二工程における摺動を停止して接合面を形成する工程である。本発明の線形摩擦接合方法においては、バリ8が摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に、一方の部材2と他方の部材4との摺動を停止することで、接合を完了することができる。

【0043】

第二工程において、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面6を観察し、バリ8が摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に摺動の停止を実行することで、バリ8の排出量を最小限に抑えつつ(被接合材の消費を最小限に抑えつつ)、良好な接合部を形成することができる。

40

【0044】

線形摩擦接合の接合プロセスは高速で進行することに加え、摺動の停止を実行した後、完全に動作が停止するまでに0.2~0.5秒経過するのが一般的である。よって、バリ8の排出を最小限に抑えつつ、被接合界面の全面に良好な接合領域を形成することは極めて困難であるが、バリ8が摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間に摺動の停止を実行することで、これを実現することができる(バリ8が摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間から摺動が完全に停止する間に、被接合界面の全面に接合領域が形成される)。

【0045】

50

また、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面6を観察し、摺動の方向に対して略垂直に排出されるバリ8が被接合界面6の両端に達した瞬間に摺動を停止することで、摺動の方向に対して略平行にバリ8が排出された瞬間に摺動を停止する場合と比較して、バリ8の排出量は若干多くなるものの、より確実に酸化物の除去等を達成することができる。

【0046】

ここで、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面6を観察することで、摺動の方向に対して略垂直に排出されるバリ8が被接合界面6の両端に達した瞬間を容易に把握することができる。具体的には、バリ8の排出に伴い被接合界面6が発光するため、当該発光が被接合界面6の両端に達した瞬間を観察すればよい。

10

【0047】

(2) 線形摩擦接合装置

本発明の線形摩擦接合装置は、本体部と観察部から構成され、本体部は従来公知の一般的な線形摩擦接合装置と同様である。

【0048】

観察部は、一方の部材2と他方の部材4との摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面6を観察するための観察装置を備えており、接合プロセス中のバリ8の排出を観察することができる。ここで、摺動の方向に対して略垂直の方向に配置される観察装置のみでも本発明の線形摩擦接合方法を十分に実行することができるが、摺動の方向に対して略平行の方向にも観察装置を配置することで、より正確な観察を実現することができる。

20

【0049】

本発明の線形摩擦接合装置には、観察装置によってバリ8の排出状況を観察し、バリ8が摺動の方向に対して略平行に排出された瞬間又は、摺動の方向に対して略垂直に排出されるバリ8が被接合界面6の両端に達した瞬間に自動的に摺動の停止を実行するプログラムを有していることが好ましいが、接合開始(摺動開始)からこれらの瞬間までの時間を計測することで、次回以降の同条件での接合の接合時間とすることができる。

【0050】

また、本発明の線形摩擦接合装置においては、観察装置として高速度ビデオカメラを用いることが好ましい。高速度ビデオカメラを用いることで、バリ8の排出タイミング及び排出状況を正確に観察することができる。ここで、高速度ビデオカメラの仕様は、本発明の効果を損なわない限りにおいて特に限定されないが、例えば、観察のフレームレートを100~10000fpsとすることが好ましく、125~5000fpsとすることがより好ましい。フレームレートをこれらの値とすることで、バリ8の排出タイミングを正確に観察することができる。なお、観察装置としては、高速度ビデオカメラの他に、例えばフォトセンサーやラインセンサーを用いることができる。

30

【0051】

更に、本発明の線形摩擦接合装置においては、バリ8の排出状況を観察するためのミラーを備えることが好ましい。ミラーを適当な位置に配置することで、バリ8の排出タイミング及び排出状況を正確に観察することができる。

【0052】

以上、本発明の代表的な実施形態について説明したが、本発明はこれらのみで限定されるものではなく、種々の設計変更が可能であり、それら設計変更は全て本発明の技術的範囲に含まれる。

40

【実施例】

【0053】

実施例1

被接合材に20mm×20mm×6.5mmのチタン合金(Ti-6Al-4V)を用い、20mm×20mm面を接合面として線形摩擦接合を施した。ここで、線形摩擦接合は、一方の被接合材を固定して他方の被接合材を加振する方式で行い、周波数:50Hz、振幅:±2mm、印加圧力:50MPaとした。

50

## 【 0 0 5 4 】

高速度ビデオカメラを用い、フレームレート 2 5 0 0 f p s で被接合界面を摺動の方向に対して略垂直の方向から観察した画像を図 3 に示す。接合開始から 0 . 2 秒後の画像において、摺動の方向に対して略垂直の方向からバリの排出が開始されている様子が確認できる。この段階においては、摺動の方向に対して略平行の方向からのバリの排出は認められない。これに対し、接合開始から 1 . 2 秒が経過すると、摺動の方向に対して略垂直及び略平行の両方向から、大量にバリが排出されている。なお、図 3 におけるバリの排出状況を観察することで、バリの排出が被接合界面の両端に達した瞬間を把握することは容易であった。

## 【 0 0 5 5 】

高速度ビデオカメラを用い、フレームレート 2 5 0 0 f p s で被接合界面を摺動の方向に対して略平行の方向から観察した画像を図 4 に示す。略平行の方向から観察した場合、接合開始から 0 . 2 秒後の画像において、略垂直の方向から観察した場合では明瞭に観察された略垂直方向からのバリの排出を確認することが困難である。接合開始から 0 . 5 秒後になると垂直方向のバリの排出が確認できるが、この段階では略平行方向からもバリの排出が開始されている。1 . 1 秒後以降は略垂直方向及び略平行方向から排出されたバリの長さが増加するのみであり、それ以外に特段の変化は認められない。なお、図 4 からは、バリの排出が被接合界面の両端に達した瞬間を把握することは困難であった。

## 【 0 0 5 6 】

図 3 及び図 4 より、摺動の方向に対して略平行方向からバリが排出される瞬間及びバリの排出が被接合界面の両端に達した瞬間を把握するためには、被接合界面を摺動の方向に対して略垂直の方向から観察する必要があることが分かる。

## 【 0 0 5 7 】

## 実施例 2

周波数を 1 5 H z、印加圧力を 2 0 0 M P a としたこと以外は実施例 1 と同様にして、線形摩擦接合を施した。

## 【 0 0 5 8 】

なお、実施例 1 と同様にして高速度ビデオカメラを用い、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察した結果、加振（摺動）開始から 3 秒で摺動の方向に対して略平行の方向からバリの排出が認められたため、3 秒で加振（摺動）を停止させた。

## 【 0 0 5 9 】

## 実施例 3

加振（摺動）を 3 . 5 秒で停止させたこと以外は実施例 2 と同様にして、線形摩擦接合を施した。なお、3 . 5 秒はバリの排出が被接合界面の両端に達した瞬間の時間である。

## 【 0 0 6 0 】

## 比較例 1

加振（摺動）を 1 秒で停止させたこと以外は実施例 2 と同様にして、線形摩擦接合を施した。なお、1 秒ではバリの排出は全く認められなかった。

## 【 0 0 6 1 】

## 比較例 2

加振（摺動）を 2 秒で停止させたこと以外は実施例 2 と同様にして、線形摩擦接合を施した。なお、2 秒では摺動の方向に対して略垂直の方向からバリの排出が認められたが、摺動の方向に対して略平行の方向からのバリの排出は認められなかった。

## 【 0 0 6 2 】

## 比較例 3

加振（摺動）を 3 . 7 5 秒で停止させたこと以外は実施例 2 と同様にして、線形摩擦接合を施した。なお、3 . 7 5 秒では摺動の方向に対して略垂直及び略平行の両方向から大量のバリが排出され、被接合体の長さの減少が顕著であった。

## 【 0 0 6 3 】

## 比較例 4

加振（摺動）を4秒で停止させたこと以外は実施例2と同様にして、線形摩擦接合を施した。なお、4秒では摺動の方向に対して略垂直及び略平行の両方向から大量のバリが排出され、被接合体の長さの減少が顕著であった。

【0064】

[接合部の断面観察]

接合部における欠陥形成の有無及び接合界面の状況等を確認するため、接合部の断面を光学顕微鏡によって観察した。

【0065】

実施例2、3及び比較例1～4で得られた接合部の断面写真を図5に示す。接合時間が短い比較例1（図5中の1s）及び2（図5中の2s）では未接合部が確認されるが、実施例2（図5中の3s）、3（図5中の3.5s）及び比較例3（図5中の3.75s）、4（図5中の4s）では欠陥のない良好な接合部が形成されている。実施例2、3及び比較例3、4で接合部の厚さはほぼ同じであるが、比較例3、4では継手が短くなっていることが分かる。

10

【0066】

[引張試験]

実施例2、3及び比較例1、2、4で得られた継手に関して、引張試験を行った。測定には引張試験機（SHIMADZU Autograph AG-10TB）を用い、クロスヘッド速度は1mm/minとした。

【0067】

20

実施例2、3及び比較例1、2、4で得られた継手の引張強度を図6に示す。接合時間が短い比較例1、2で得られた継手は他の条件より強度が低い、実施例2、3及び比較例4では母材破断をしており、ほぼ同じ強度であった。

【0068】

以上の結果から、摺動の方向に対して略垂直の方向から被接合界面を観察し、バリの排出状況に着目して接合工程を完了させることで、バリの排出を最小限に抑えつつ良好な接合部が得られることが分かる。

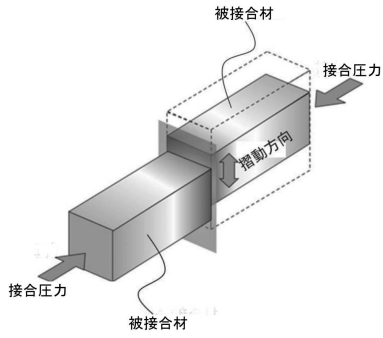
【符号の説明】

【0069】

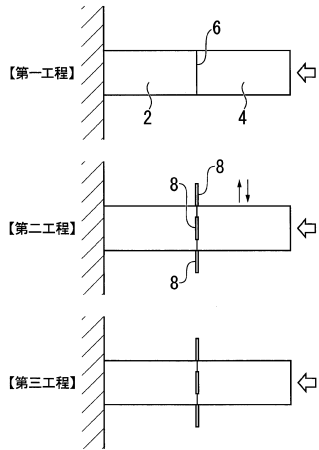
- 2・・・一方の部材、
- 4・・・他方の部材、
- 6・・・被接合界面、
- 8・・・バリ。

30

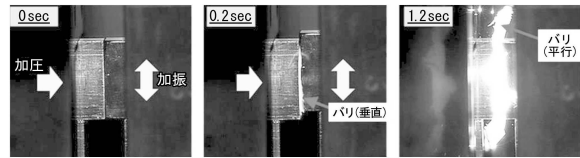
【 図 1 】



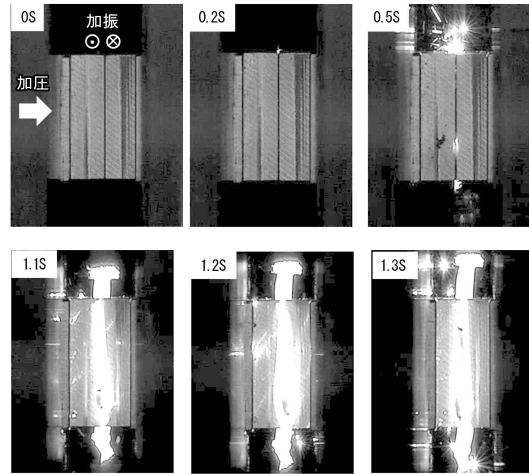
【 図 2 】



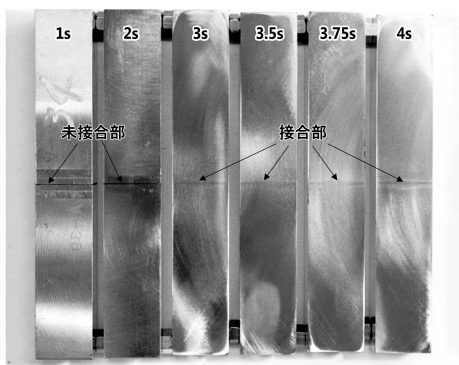
【 図 3 】



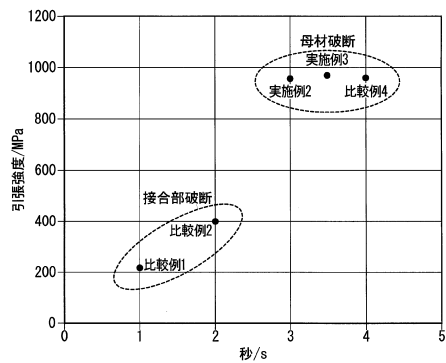
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



## フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 <https://jpp1.jp/jwstaikai/autumn/smr/lib/frame.html>, 2016年8月16日掲載 第172回秋季講演大会学生ポスターセッションアブストラクト集, 第34頁, 一般社団法人 日本鉄鋼協会, 2016年9月22日発行 10th International Conference on Trends in Welding Research & 9th International Welding Symposium of Japan Welding Society(9WS), p.26, 862-865, American Welding Society(AWS), Japan Welding Society(JWS), 2016年10月11日発行

(出願人による申告)平成28年度国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「革新的新構造材料等研究開発のうち中高炭素鋼/中高炭素鋼の摩擦接合共通基盤研究」に係る委託業務、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(74)代理人 100188592

弁理士 山口 洋

(72)発明者 藤井 英俊

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

(72)発明者 森貞 好昭

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

(72)発明者 青木 祥宏

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

(72)発明者 泰山 正則

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

(72)発明者 村山 元

東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内

審査官 藤田 和英

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0270359(US, A1)

特開平09-029464(JP, A)

特表2000-516540(JP, A)

特開2012-228703(JP, A)

特開昭48-068449(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 20/12