(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年8月9日(09.08.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/143333 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 20/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/003390

(22) 国際出願日： 2018年2月1日(01.02.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2017-017995 2017年2月2日(02.02.2017) JP

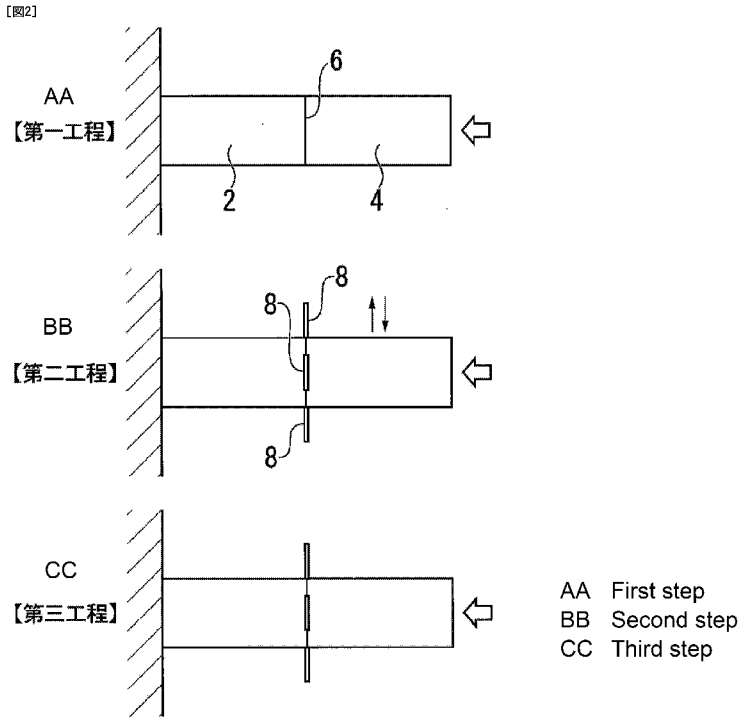
(71) 出願人: 国立大学法人大阪大学 (OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 藤井 英俊 (FUJII Hidetoshi); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 森貞 好昭 (MORISADA Yoshiaki); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 青木 祥宏 (AOKI Yasuhiro); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 泰山 正則 (YASUYAMA Masanori); 〒1008071 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 Tokyo (JP). 村山 元 (MURAYAMA Gen); 〒1008071 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 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人ＩＰＲコンサルタント (IPR CONSULTANT PPC); 〒5300001 大阪

(54) **Title:** LINEAR FRICTION WELDING METHOD AND LINEAR FRICTION WELDING DEVICE

(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) **Abstract:** Provided are a simple linear friction welding method and linear friction welding method with which it is possible to minimize the amount of burrs discharged, while forming suitable joints. This method comprises a first step in which one member (2) is brought into contact with another member (4) to form an interface to be welded (6), a second step in which, with pressure being applied approximately perpendicularly with respect to the interface to be welded (6), one member (2) and another member (4) are repeatedly made to slide on the same path, discharging burrs (8) from the

WO 2018/143333 A1

［続葉有］

府大阪市北区梅田１丁目１２番１２号東京建物梅田ビル１０階 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て：
一　不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て（規則4.17(v)）

添付公開書類：
一　国際調査報告（条約第21条(3)）

interface to be welded, approximately in parallel and approximately perpendicular to the direction of sliding, and a third step in which the sliding is stopped, forming a welding surface, and is characterized in that in the second step, the interface to be welded (6) is observed from a direction approximately perpendicular to the direction of sliding, and that the stop is executed in the third step at the moment when burrs (8) are discharged approximately in parallel with the direction of sliding.

(57) 要約：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。本発明は、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、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、第三工程における停止を実行すること、を特徴とする線形摩擦接合方法、である。

明　細　書

発明の名称 ： 線形摩擦接合方法及び線形摩擦接合装置

技術分野

[0001] 本発明は金属材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（ＬＦＷ：Ｌｉｎｅａｅｒ　Ｆｒｉｃｔｉｏｎ　Ｗｅｌｄｉｎｇ）は、摩擦攪拌接合（ＦＳＷ：Ｆｒｉｃｔｉｏｎ　Ｓｔｉｒ　Ｗｅｌｄｉｎｇ）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２０１５－１６４７３８号公報）では、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、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。

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。

[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。しなしながら、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。

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着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、

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、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。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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、不要なバリを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。

[0017] 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。

[0018] 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も提供する。

[0019] 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。

[0020] 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。

[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、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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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

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、被接合面同士を当接させ、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。

[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的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。

[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。

[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。

[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。

[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] 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。

[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。

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。

[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。

[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。

[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に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。

実施例

[0053] ≪実施例１≫

被接合材に２０ｍｍ×２０ｍｍ×６５ｍｍ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。

[0054] 高速度ビデオカメラを用い、フレームレート２５００ｆｐｓ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。

[0055] 高速度ビデオカメラを用い、フレームレート２５００ｆｐｓ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。

[0056] 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。

[0057] ≪実施例２≫

周波数を１５Ｈｚ、印加圧力を２００ＭＰａ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。

[0058] 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。

[0059] ≪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。

[0060] ≪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。

[0061] ≪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。

[0062] ≪比較例３≫

加振（摺動）を３．７５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、３．７５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。

[0063] ≪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。

[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] 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が、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。

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。

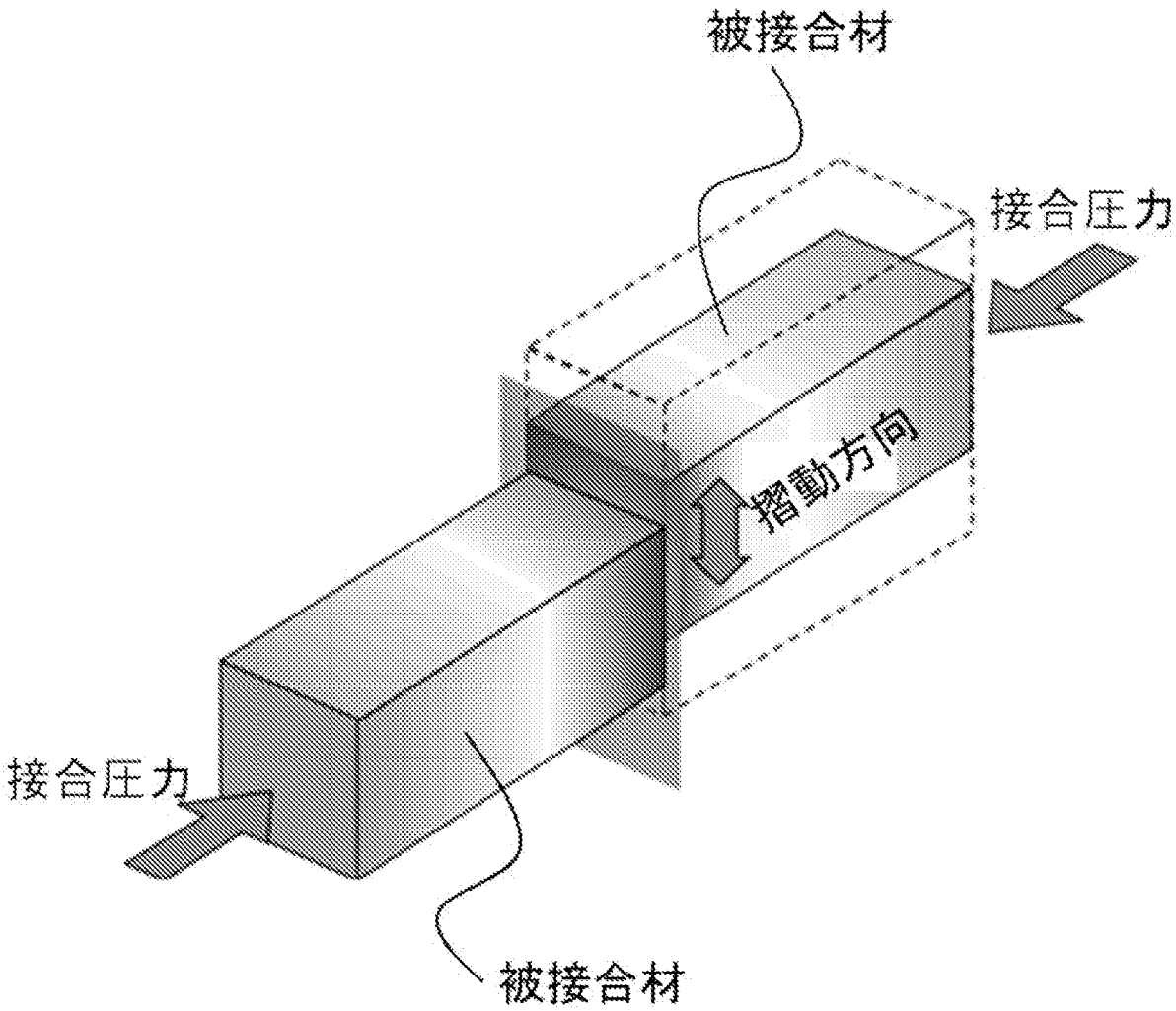
[請求項7] 更に、前記摺動の方向に対して略平行の方向から前記被接合界面を観察するための観察装置を備えること、

を特徴とする請求項６に記載の線形摩擦接合装置。

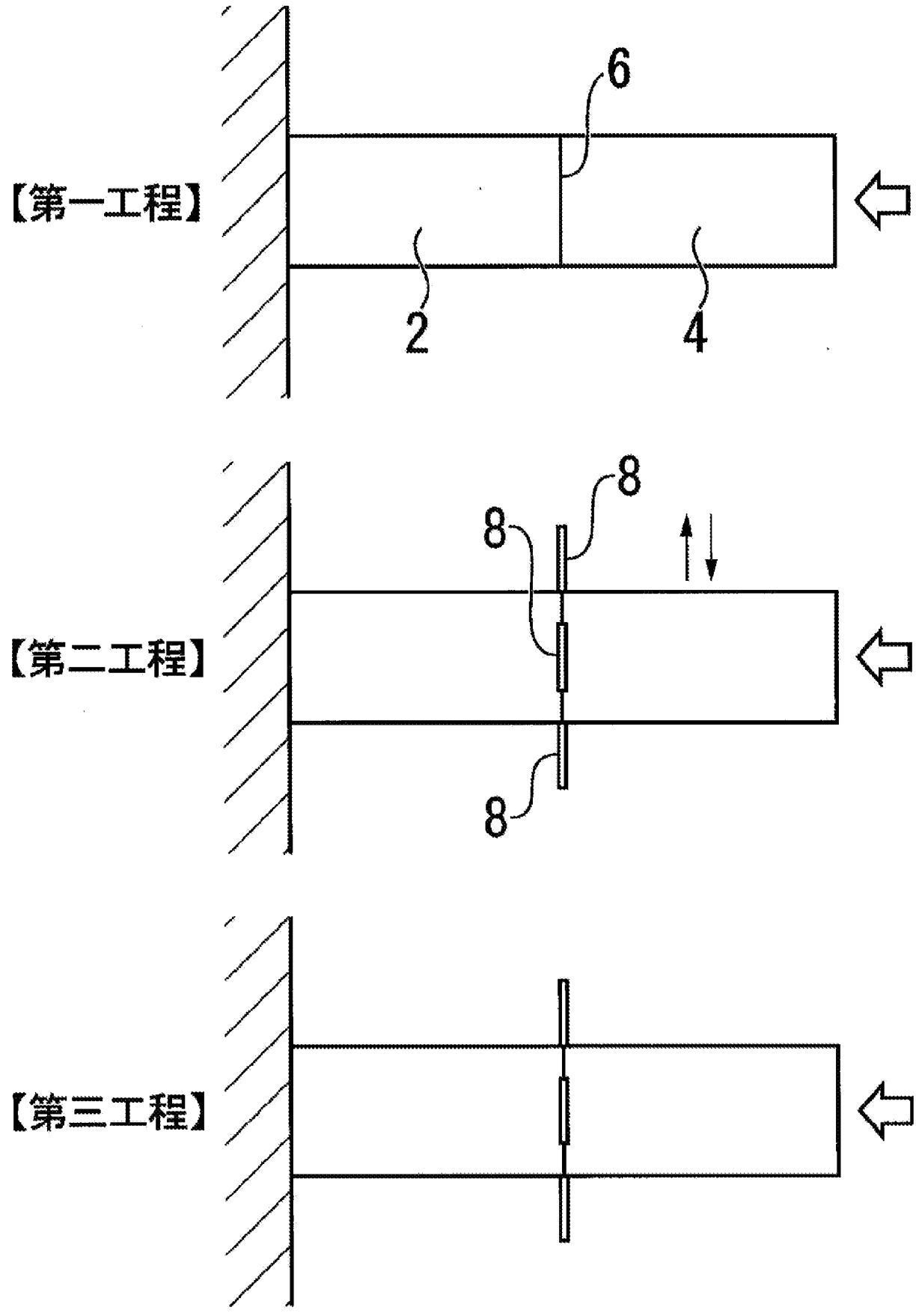
[請求項8] 前記観察装置が高速度ビデオカメラであること、

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。

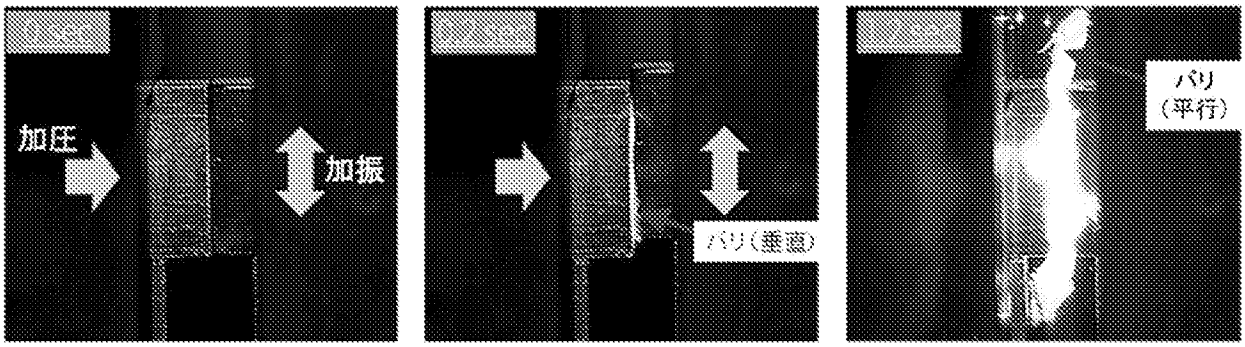
[図1]



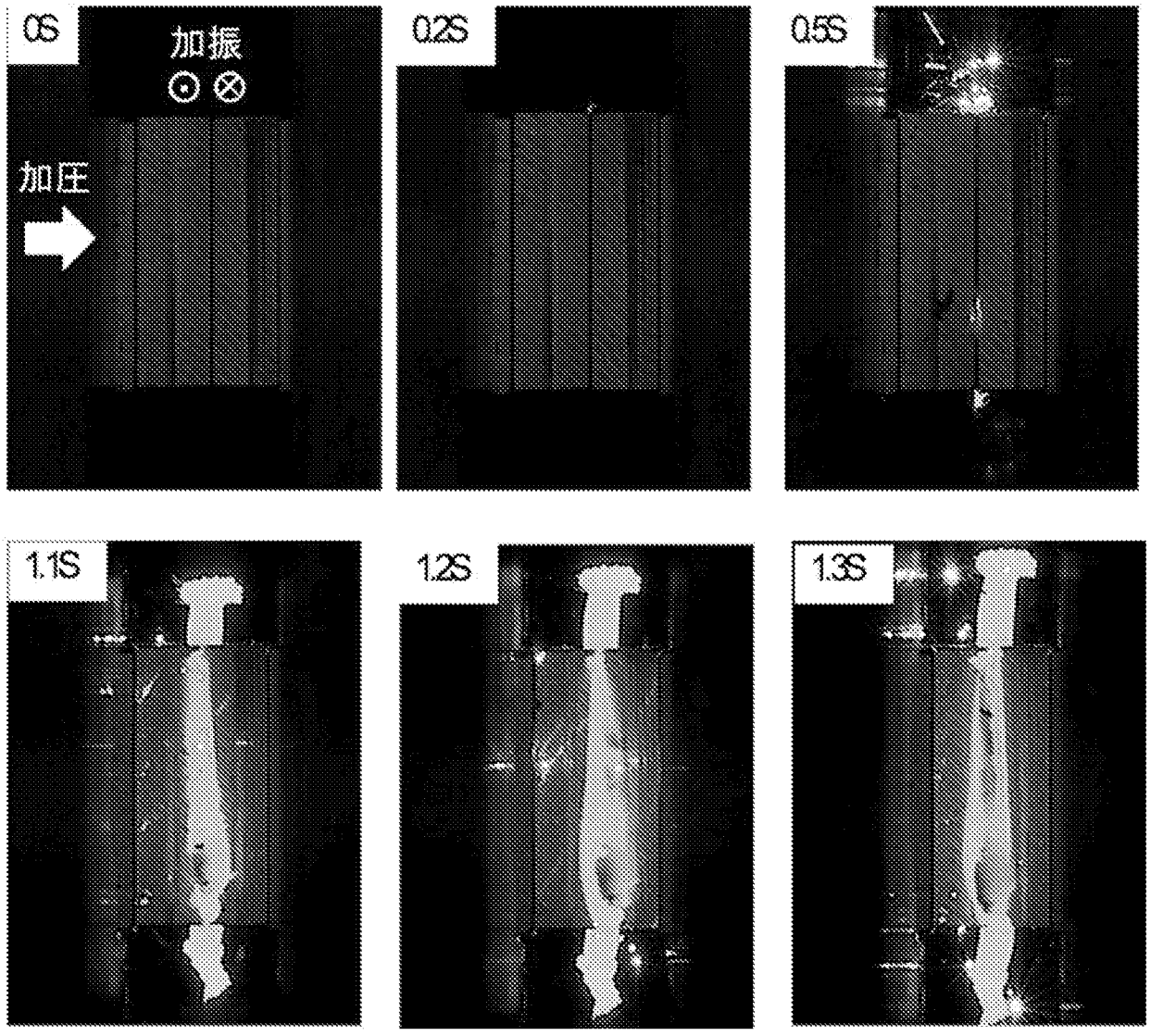
[図2]



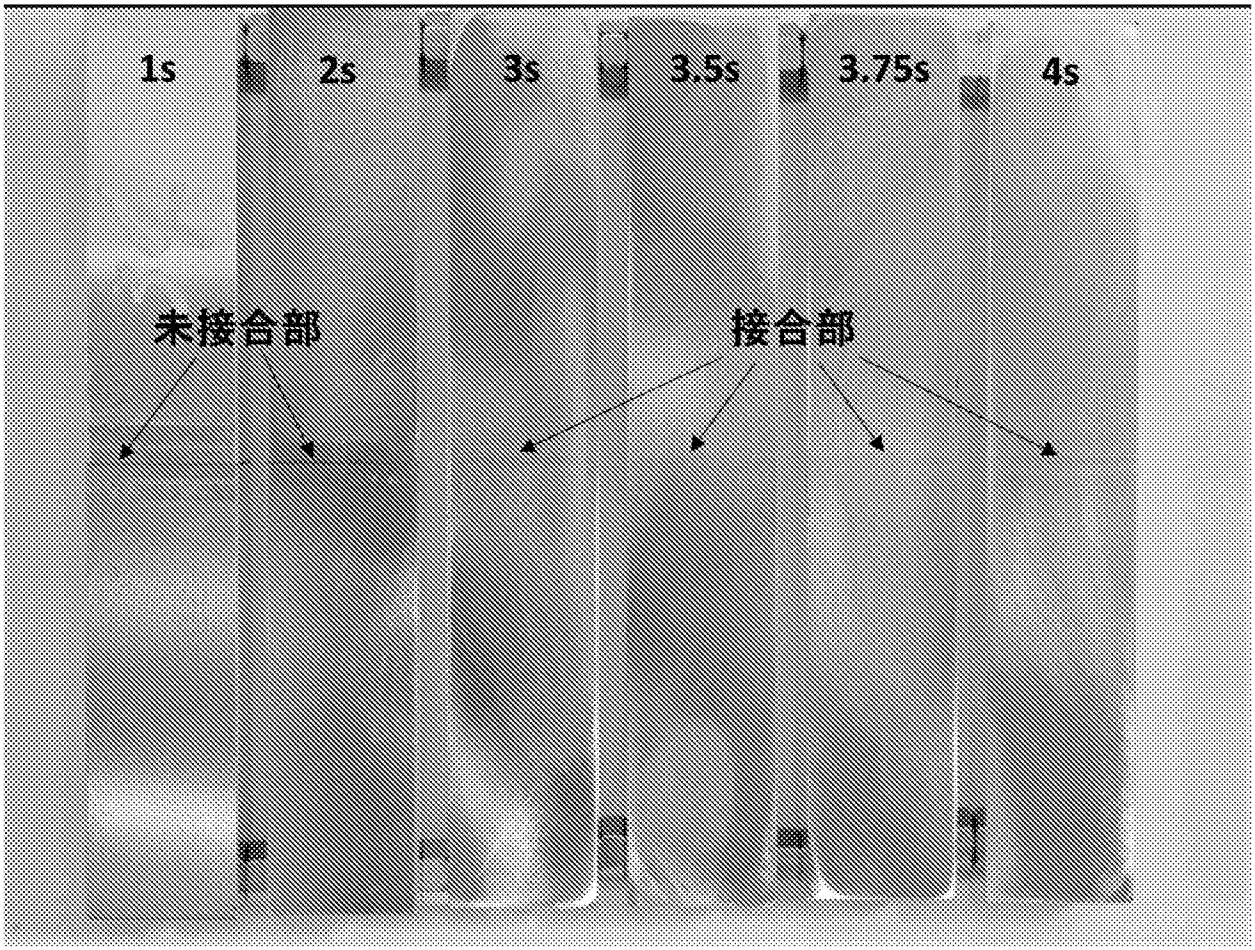
[図3]



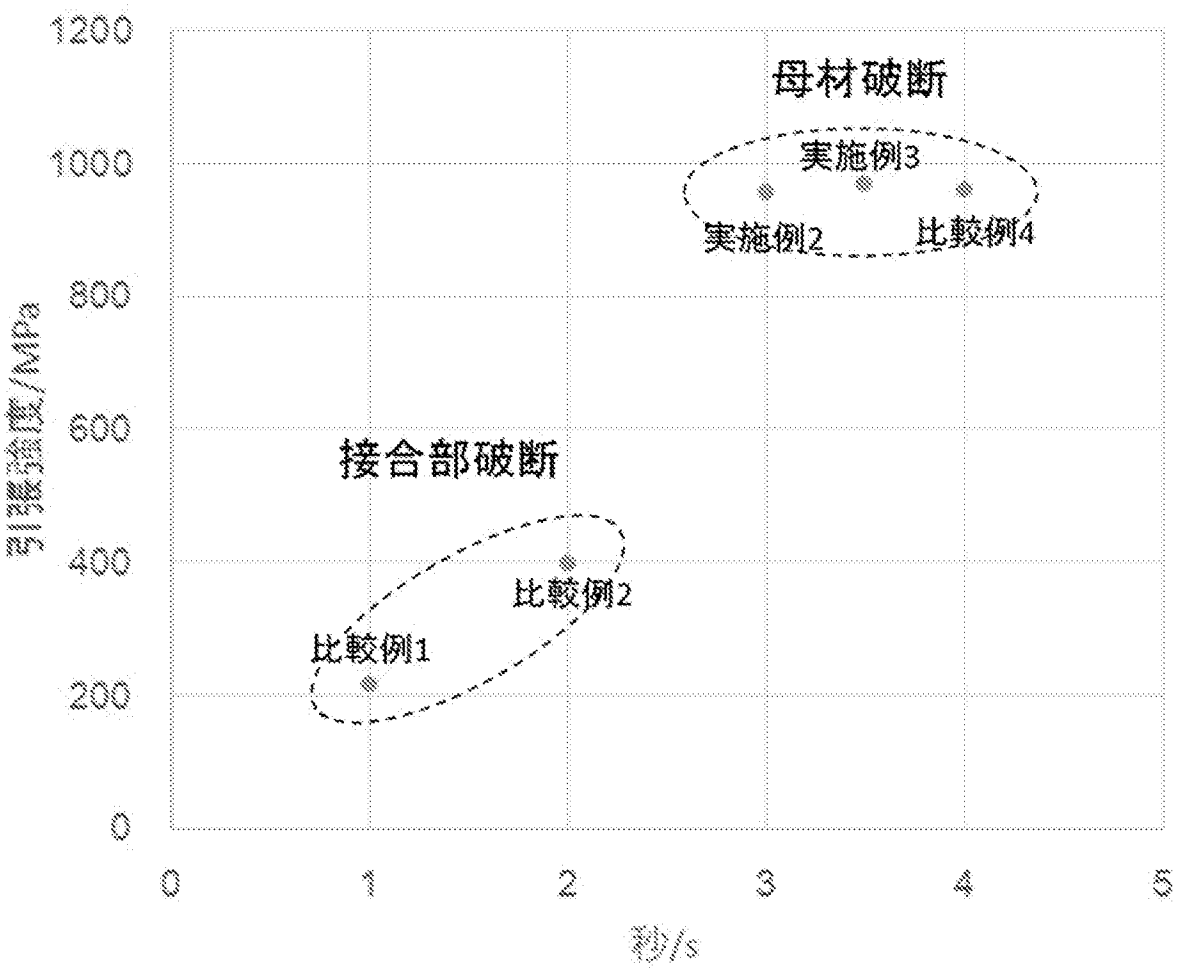
[図4]



[図5]



[図6]


1200
1000
800
600
400
200
0
引張強度/MPa
0
1
2
3
4
5
秒/s
母材破断
実施例3
実施例2
比較例4
接合部破断
比較例2
比較例1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/003390

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. B23K20/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. B23K20/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
DWPI(Derwent Innovation)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2010/0270359 A1 (YOUNG, S. A.) 28 October 2010, paragraphs [0003]-[0014], fig. 1 & EP 2243587 A1	6-8 1-5
Y A	JP 09-029464 A (TOYOTA MOTOR CORPORATION) 04 February 1997, paragraphs [0016]-[0035], [0043]-[0053], fig. 2-6, 10-15 (Family: none)	6-8 1-5
A	JP 2012-228703 A (IHI CORPORATION) 22 November 2012, entire text, all drawings & US 2014/0050519 A1 & US 2015/0190881 A1 & WO 2012/147723 A1 & EP 2703111 A1 & CA 2834021 A1 & CN 103547402 A	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20.03.2018	03.04.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/003390

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-516540 A (MERITOR LIGHT VEHICLE SYSTEMS, INC.) 12 December 2000, entire text, all drawings & US 5682677 A & WO 1998/006532 A1 & KR 10-2000-0023842 A	1-8
A	JP 48-068449 A (DENGENSHA MFG CO., LTD.) 18 September 1973, entire text, all drawings (Family: none)	1-8
X A	青木祥宏, 黒岩良祐, 藤井英俊, 線形摩擦接合におけるバリ生成, 一般社団法人溶接学会 平成28年度秋季全国大会概要第99集(2016) [オンライン], 16 August 2016, [retrieved on 20 March 2018], Internet: <URL:https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2016f.0_182> (AOKI, Yasuhiro, KUROIWA, Ryosuke, FUJII, Hidetoshi, Flash formation during linear friction welding), non-official translation (The 99th Summary of the National Meeting of Japan Welding Society (2016) [online])	6-8 1-5
A	黒岩良祐, 青木祥宏, 藤井英俊, 村山元, 泰山正則, 薄板鋼板の線形摩擦接合, 一般社団法人溶接学会 平成28年度秋季全国大会概要第99集 (2016) [オンライン], 16 August 2016, [retrieved on 20 March 2018], Internet: <URL:https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2016f.0_180> (KUROIWA, Ryosuke, AOKI, Yasuhiro, FUJII, Hidetoshi, MURAYAMA, Gen, YASUYAMA, Masanori, Linear friction welding of thin carbon steel plate), non-official translation (The 99th Summary of the National Meeting of Japan Welding Society (2016) [online])	1-8
A	黒岩良祐, 青木祥宏, 藤井英俊, 村山元, 泰山正則, 中炭素鋼の低温線形摩擦攪拌接合, 一般社団法人日本鉄鋼協会 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, 22 September 2016, p. 34 (KUROIWA, Ryosuke, AOKI, Yasuhiro, FUJII, Hidetoshi, MURAYAMA, Gen, YASUYAMA, Masanori, Linear friction stir welding of medium carbon steel at low temperature), non-official translation (Abstracts of Student Poster Session in the Autumn Lecture of the 172th ISIJ Meeting)	1-8
A	KUROIWA, Ryosuke, AOKI, Yasuhiro, FUJII, Hidetoshi, MURAYAMA, Gen, YASUYAMA, Masanori, Application of linear friction welding to the thin carbon steel plate, Program & Abstracts of 10th International Conference on Trends in Welding Research & 9th International Welding Symposium of Japan Welding Society (9WS), 11 October 2016, pp. 26, 862-865	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／００３３９０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K20/12(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23K20/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

DWPI (Derwent Innovation)

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y A	US 2010/0270359 A1 (YOUNG, Stuart A) 2010.10.28, 段落 0003-0014, 図 1 & EP 2243587 A1	6-8 1-5
Y A	JP 09-029464 A (トヨタ自動車株式会社) 1997.02.04, 段落 0016-0035, 0043-0053, 図 2-6, 10-15 (ファミリーなし)	6-8 1-5
A	JP 2012-228703 A (株式会社ＩＨＩ) 2012.11.22, 全文, 全図 & US 2014/0050519 A1 & US 2015/0190881 A1 & WO 2012/147723 A1 & EP 2703111 A1 & CA 2834021 A1 & CN 103547402 A	1-8

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２０．０３．２０１８	０３．０４．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｐ　３２２６
篠原　将之
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６３

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2000-516540 A (メリター　ライト　ヴィークル　システムズ　インコーポレイテッド) 2000.12.12, 全文,全図 & US 5682677 A & WO 1998/006532 A1 & KR 10-2000-0023842 A	1-8
A	JP 48-068449 A (株式会社　電元社製作所) 1973.09.18, 全文,全図 (ファミリーなし)	1-8
X	青木祥宏,黒岩良祐,藤井英俊, 線形摩擦接合におけるバリ生成, 一般社団法人溶接学会　平成２８年度秋季全国大会概要第９９集（２０１６）[オンライン], 2016.08.16, [検索日　2018.03.20], インターネット:<URL: https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2016f.0_182>	6-8
A		1-5
A	黒岩良祐, 青木祥宏, 藤井英俊, 村山元, 泰山正則, 薄板鋼板の線形摩擦接合, 一般社団法人溶接学会　平成２８年度秋季全国大会概要第９９集（２０１６）[オンライン], 2016.08.16, [検索日　2018.03.20], インターネット:<URL: https://doi.org/10.14920/jwstaikai.2016f.0_180>	1-8
A	黒岩良祐, 青木祥宏, 藤井英俊, 村山元, 泰山正則, 中炭素鋼の低温線形摩擦攪拌接合, 一般社団法人日本鉄鋼協会　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, 2016.09.22, p.34	1-8
A	KUROIWA,Ryosuke,AOKI,Yasuhiro,FUJII,Hidetoshi,MURAYAMA,Gen,YASUYAMA,Masanori, Application of Linear Friction Welding to the Thin Carbon Steel Plate, Program & Abstracts of 10th International Conference on Trends in Welding Research & 9th International Welding Symposium of Japan Welding Society (9WS), 2016.10.11, p.26,862-865	1-8