

(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
2023年8月31日(31.08.2023)



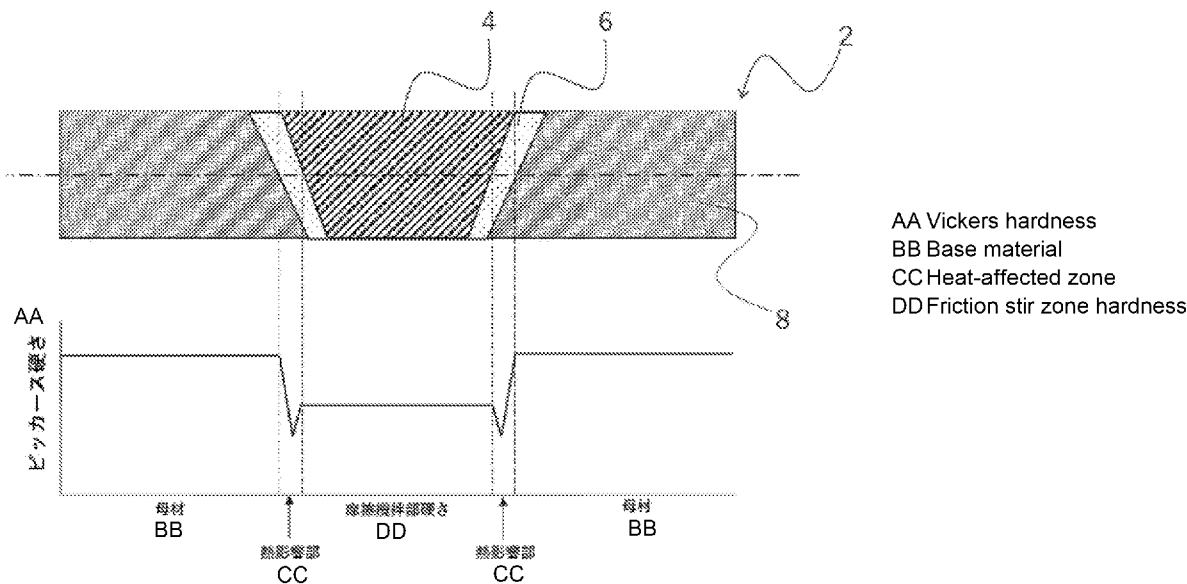
(10) 国際公開番号
WO 2023/162502 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 20/12 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) C22C 38/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/000938
- (22) 国際出願日: 2023年1月16日(16.01.2023)
- (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 2022-027713 2022年2月25日(25.02.2022) 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). 潮田 浩作(USHIODA Kohsaku); 〒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).
- (74) 代理人: 弁理士法人 I P R コンサルタント (IPR CONSULTANT PPC); 〒5300001 大阪府大阪市北区梅田1丁目12番12号 東京建物梅田ビル 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,

(54) Title: SOLID-PHASE WELDING METHOD AND SOLID-PHASE WELDING JOINT

(54) 発明の名称: 固相接合方法及び固相接合継手

[図1]



(57) Abstract: The problem of the present invention is to provide a solid-phase welding method which easily and efficiently suppresses the softening of a heat-affected zone when steel is used as a material to be welded and a solid-phase welding joint which is obtained by the solid-phase welding method and in which the softening of the heat-affected zone is suppressed. The present invention provides a solid-phase welding method for steel which uses steel as at least one of materials to be welded, the solid-phase welding method being characterized in that the steel has an additive element for causing secondary hardening and forms a region in which the maximum temperature of the steel reaches the A₁ temperature of the steel during the welding with the A₁ temperature set as a

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

temperature that causes secondary hardening.

(57) 要約 : 本発明の課題は、鋼材を被接合材とした場合の熱影響部の軟化を簡便かつ効率的に抑制する固相接合方法、及び当該固相接合方法によって得られる熱影響部の軟化が抑制された固相接合継手を提供することにある。本発明は、被接合材の少なくとも一方を鋼材とする固相接合方法であって、当該鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、接合中に鋼材の最高到達温度が当該鋼材の A_1 点温度となる領域を形成し、 A_1 点温度を二次硬化が発現する温度とすること、を特徴とする鋼材の固相接合方法を提供する。

明 細 書

発明の名称： 固相接合方法及び固相接合継手

技術分野

[0001] 本発明は鋼材の固相接合方法及び当該固相接合方法によって得られる固相接合継手に関する。

背景技術

[0002] 従来の溶融溶接よりも接合部の強度低下を小さくできる固相接合方法が注目されており、特に、摩擦発熱現象や金属材の塑性変形を利用した固相接合方法が盛んに検討されている。当該固相接合方法としては、例えば、高速で回転する円柱状のツールを被接合材に圧入して接合する「摩擦攪拌接合（FSW）」、回転する円柱状の被接合材を固定された被接合材に当接させて接合する「摩擦圧接」、及び被接合材を当接させた状態で往復運動させて接合する「線形摩擦接合」等が挙げられる。

[0003] 従来の鉄鋼材は溶融溶接の使用を前提とした合金設計となっていることが多いが、近年では摩擦接合法に適した鉄鋼材に関する検討も進められており、例えば、特許文献1（特開2008-31494号公報）では、低合金構造用鋼であって、600℃以上の平衡状態においてフェライト単相となる温度域幅とオーステナイト相とフェライト相の2相となる温度域幅の合計が200℃以上であることを特徴とする摩擦攪拌接合用の低合金構造用鋼、が開示されている。

[0004] 上記特許文献1に記載の低合金構造用鋼においては、接合部の到達温度付近における、フェライト単相域及びオーステナイト相-フェライト2相域を拡大することにより、摩擦攪拌接合における鋼の変形抵抗が大幅に低減し、その結果、回転ツールの耐久性が向上し、接合速度等の接合条件の制限が緩和される、としている。加えて、ツールの損耗、破損による交換作業の頻度が抑えられ、接合時間が短縮されるので施工能率が向上する、としている。

[0005] また、本願発明者も、特許文献2（特開2018-16866号公報）に

において、鋼組成が、質量%で、C：0.20～0.45%、及びCr：1.00～3.50%を含有し、かつA式によって定義される炭素当量CEが0.40～1.00質量%であること、を特徴とする摩擦攪拌接合用鋼、を開示している。 $CE = C + Mn / 6 + (Cu + Ni) / 15 + (Cr + Mo + V) / 5 \dots (A)$ 式中に記載された元素記号は、摩擦攪拌接合用鋼材における各成分の含有量を単位質量%で示す。

[0006] 上記特許文献2に記載の摩擦攪拌接合用鋼においては、摩擦攪拌接合によって従来の高張力鋼と同等以上の継手特性（攪拌部の引張強度及び破壊靱性等）を得ることができる鋼であり、比較的安価な合金元素のみを最小限添加した鋼及び、当該鋼を被接合材とする摩擦攪拌接合方法を提供することができる、としている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2008-31494号公報

特許文献2：特開2018-16866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に開示されている低合金構造用鋼は、プロセス時の鋼の変形抵抗を低減することで鋼に対する摩擦攪拌接合の適用を容易にするものであり、継手の機械的特性や信頼性に関しては殆ど考慮されていない。

[0009] また、上記特許文献2に開示されている摩擦攪拌接合用鋼では、一般的な高張力鋼と同等以上の継手特性を得ることができるものの、比較的高価なクロム（Cr）が主要な添加元素として使用されていることに加え、母材及び継手の機械的性質についても更なる高強度化が求められている。近年では引張強度が1000MPa以上となる超高張力鋼に対する需要が増加しているところ、上記特許文献2に開示されている摩擦攪拌接合用鋼の引張特性は超

高張力鋼の水準には達していない。

[0010] 更に、継手の特性を決定するのは全体で最も弱い領域の機械的性質である。一般的には接合部の外縁に形成される熱影響部が軟化することから、当該熱影響部の軟化を抑制することが切望されている。しかしながら、鋼材の高強度化に伴い、材料を溶かさないう相接合であっても、熱影響部の軟化を抑制することは極めて困難になってきている。

[0011] 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、鋼材を被接合材とした場合の熱影響部の軟化を簡便かつ効率的に抑制する固相接合方法、及び当該固相接合方法によって得られる熱影響部の軟化が抑制された固相接合継手を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明者は上記目的を達成すべく、鋼の組成と固相接合条件との関係について鋭意研究を重ねた結果、接合部における最軟化領域は接合中の最高到達温度が鋼の A_1 点温度となる領域であることを見出した。より具体的には、固相接合部における軟化はマルテンサイトからの炭化物の析出で生じ、温度が高い程顕著になるが、 A_1 点を超えると接合中に生成したオーステナイトが接合後にマルテンサイトとなるため、軟化の程度は減少する。また、これに対し、当該 A_1 点温度を鋼材の二次硬化が発現する温度とすることで、熱影響部における軟化を効果的に抑制できること等を見出し、本発明に到達した。

[0013] 即ち、本発明は、
被接合材の少なくとも一方を鋼材とする固相接合方法であって、
前記鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、
接合中に前記鋼材の最高到達温度が前記鋼材の A_1 点温度となる領域を形成し、
前記 A_1 点温度を前記二次硬化が発現する温度とすること、
を特徴とする鋼材の固相接合方法、を提供する。

[0014] 本発明に用いる固相接合方法は、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、従来公知の種々の固相接合方法を用いることができる。固

相接合方法には、摩擦攪拌接合、摩擦圧接及び線形摩擦接合等の摩擦接合、圧接、爆着、超音波接合及び拡散接合等が存在するが、接合温度を正確に制御することができる摩擦攪拌接合、摩擦圧接及び線形摩擦接合を用いることが好ましく、大型部材の接合にも適用できる摩擦攪拌接合を用いることがより好ましい。

[0015] 鋼材の A_1 点温度は変態点測定試験等によって実験的に測定してもよく、市販の熱力学計算ソフトウェアを用いて組成から求めてもよい。また、鋼材の組成に対応する A_1 点温度のデータベース等が存在する場合は、当該値を用いてもよい。

[0016] また、二次硬化を発現する添加元素は、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、鋼を二次硬化させる従来公知の種々の添加元素を用いることができるが、Vを用いることが好ましい。Vを含有する鋼は微細なVCの析出により顕著な二次硬化が発現するため、熱影響部における軟化を効果的に抑制することができる。

[0017] また、添加元素をVとする場合、鋼材の A_1 点温度を $400\sim 650^{\circ}\text{C}$ とすることが好ましく、 $575\sim 625^{\circ}\text{C}$ とすることがより好ましい。鋼材の A_1 点温度を 400°C 以上とすることで（二次硬化の温度を 400°C 以上とすることで）、微細なVCを確実に析出させることができ、熱影響部の軟化を抑制することができる。また、鋼材の A_1 点温度を 650°C 以下とすることで（二次硬化の温度を 650°C 以下とすることで）、析出したVCの粗大化を抑制でき、熱影響部の軟化を効果的に抑制することができる。これらの作用効果は、鋼材の A_1 点温度を（二次硬化の最適温度範囲を） $575\sim 625^{\circ}\text{C}$ とすることで、より顕著に得ることができる。

[0018] また、本発明の固相接合方法においては、前記鋼材のMnの添加量によって、前記 A_1 点温度を制御すること、が好ましい。鋼材の A_1 点温度は組成によって決定されるが、Mnの添加量によって制御することで、簡便かつ効率的に任意の A_1 点温度とすることができる。

[0019] また、本発明の固相接合方法においては、最軟化領域とマルテンサイト組

織を基本とする母材のビッカース硬度差を100HV以下とすること、が好ましい。最軟化領域と母材のビッカース硬度差を100HV以下とすることで、母材の機械的性質を十分に活用した固相接合継手を得ることができる。最軟化領域と母材のビッカース硬度差は75HV以下とすることがより好ましく、50HV以下とすることが最も好ましい。

[0020] 更に、本発明の固相接合方法は、前記最軟化領域のビッカース硬度を450HV以上とすること、が好ましい。最軟化領域のビッカース硬度を450HV以上とすることで、超高張力鋼と同等以上の引張強度を接合部に付与することができる。最軟化領域のビッカース硬度は500HV以上とすることがより好ましく、550HV以上とすることが最も好ましい。

[0021] また、本発明は、
被接合材の少なくとも一方が鋼材であり、
前記鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、
前記鋼材の A_1 点温度が400~650℃であり、
最軟化領域と母材のビッカース硬度差が100HV以下であること、
を特徴とする固相接合継手、も提供する。

[0022] 二次硬化を発現させるための添加元素はV、W及びMoとすることが好ましく、Vとすることがより好ましい。鋼材がこれらの元素を有していることで、最軟化領域の軟化が微細な析出物によって抑制されている。

[0023] 本発明の固相接合継手は本発明の固相接合方法によって好適に得ることができ、最軟化領域と母材のビッカース硬度差が100HV以下となっていることから、母材の機械的性質を十分に活用した固相接合継手となっている。最軟化領域と母材のビッカース硬度差は75HV以下とすることがより好ましく、50HV以下とすることが最も好ましい。

[0024] 本発明の固相接合継手においては、前記最軟化領域のビッカース硬度が450HV以上であること、が好ましい。最軟化領域のビッカース硬度が450HV以上となっていることで、超高張力鋼材を被接合材とする場合であっても、当該被接合材の機械的性質を十分に活用した固相接合継手とすること

ができる。最軟化領域のビッカース硬度は500HV以上とすることがより好ましく、550HV以上とすることが最も好ましい。

[0025] また、本発明の固相接合継手においては、摩擦攪拌接合部を有すること、が好ましい。本発明の固相接合継手における固相接合部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、従来公知の種々の固相接合部とすることができるが、摩擦攪拌接合部とすることで任意の領域に固相接合部を形成させることができる。

発明の効果

[0026] 本発明によれば、鋼材を被接合材とした場合の熱影響部の軟化を簡便かつ効率的に抑制する固相接合方法、及び当該固相接合方法によって得られる熱影響部の軟化が抑制された固相接合継手を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]摩擦攪拌接合によって得られる接合部の断面のマクロ組織を示す模式図である。

[図2]線形摩擦接合によって得られる接合部の断面のマクロ組織を示す模式図である。

[図3]線形摩擦接合によって得られる接合部の断面のマクロ組織を示す模式図である。

[図4]摩擦攪拌接合で得られた固相接合継手の模式図である。

[図5]線形摩擦接合で得られた固相接合継手の模式図である。

[図6]得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布である（比較鋼板1）

。

[図7]得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布である（比較鋼板2）

。

[図8]得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布である（比較鋼板3）

。

[図9]得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布である（実施鋼板）。

[図10]比較鋼板1の熱影響部におけるSTEM観察像である。

[図11]比較鋼板2の熱影響部におけるSTEM観察像である。

[図12]図10のマルテンサイト組織のラス内における3D-APT元素分布測定結果である。

[図13]比較鋼板3の最軟化領域における3D-APT元素分布測定結果である。

[図14]比較鋼板3において接合中の最高到達温度が600℃となった領域における3D-APT元素分布測定結果である。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本発明の固相接合方法及び固相接合継手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限定されるものではない。なお、以下の説明では、重複する説明は省略する場合がある。

[0029] 1. 固相接合方法

以下、固相接合方法として摩擦攪拌接合及び線形摩擦接合を用いる場合を代表として、本発明の固相接合の実施形態を詳細に説明する。

[0030] (1) 摩擦攪拌接合を用いる場合

摩擦攪拌接合とは、FSW (Friction Stir Welding) と称され、接合しようとする二つの金属材からなる被接合材それぞれの端部を突き合わせ、回転ツールの先端に設けられた突起部 (プローブ) を両者の端部の間に挿入し、これら端部の長手方向に沿って回転ツールを回転させつつ移動させることによって、二つの金属部材を接合する方法である。

[0031] 摩擦攪拌接合には、(1) 金属板の端部同士を突き合わせて接合部とし、回転ツールをその加工部の長手方向に沿って回転させつつ移動させて金属板同士を接合する接合、(2) 金属板の端部同士を突き合わせて接合部とし、回転ツールをその接合部で移動させずに回転させて接合するスポット接合、(3) 金属板同士を接合部において重ね合わせ、接合部に回転ツールを挿入し、回転ツールをその箇所移動させずに回転させて金属板同士を接合するスポット接合、(4) 金属板同士を接合部において重ね合わせ、接合部に回転ツールを挿入し、回転ツールをその接合部の長手方向に沿って回転させつ

つ移動させて金属板同士を接合する接合の（１）～（４）の４つの態様およびこれらの組み合わせが含まれるが、以下、代表的な態様として、「（１）金属板の端部同士を突き合わせて接合部とし、回転ツールをその加工部の長手方向に沿って回転させつつ移動させて金属板同士を接合する接合」について詳細に説明する。なお、摩擦攪拌接合の原理を金属材の表面改質に適用する摩擦攪拌プロセスも本発明の範囲に含まれる。

[0032] 摩擦攪拌接合によって得られる接合部の断面（接合線に対して垂直な断面）のマクロ組織を模式的に図１に示す。また、図１の下部には、断面マクロ組織に対応した硬度分布も模式的に示している。当該硬度分布は、断面の一点鎖線に沿った硬度分布である。

[0033] 摩擦攪拌接合継手２には、摩擦攪拌部４が形成され、摩擦攪拌部４の外縁には熱影響部６が存在し、その外側が母材部８となっている。摩擦攪拌部４の硬度は被接合材とする鋼材の種類や摩擦攪拌接合条件によって変化し、母材部８よりも低くなる場合と高くなる場合が存在するが、熱影響部６の硬度は母材部８よりも低下する。特に、熱影響部６の硬度低下は鋼材の硬度が高い場合（高強度の場合）に顕著になる。

[0034] ここで、摩擦攪拌接合継手２の温度履歴と硬度の関係について、発明者らが鋭意検討した結果、摩擦攪拌接合継手２における最軟化領域は、熱影響部６において、接合中の最高到達温度が鋼の A_1 点温度となる領域であることが明らかとなった。本発明の固相接合方法においては、被接合材に二次硬化を発現する添加元素を有する鋼材を用い、当該鋼材の A_1 点温度を二次硬化が発現する温度とすることで、熱影響部６における軟化を効果的に抑制することができる。

[0035] 被接合材とする鋼材の A_1 点温度は変態点測定試験等によって実験的に測定してもよく、市販の熱力学計算ソフトウェアを用いて組成から求めてもよい。また、鋼材の組成に対応する A_1 点温度のデータベース等が存在する場合は、当該値を用いてもよい。なお、鋼材の A_1 点（℃）は、例えば、「 $A_1 = 750.8 - 26.6C + 17.6Si - 11.6Mn - 22.9Cu - 23$

$Ni + 24.1Cr + 22.5Mo - 39.7V - 5.7Ti + 232.4Nb - 169.4Al - 894.7B$ 」で知ることができる（C、Si等には各元素の質量%を代入する）。

[0036] また、二次硬化を発現する添加元素は、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、鋼を二次硬化させる従来公知の種々の添加元素を用いることができるが、Vを用いることが好ましい。Vを含有する鋼は微細なVCの析出により顕著な二次硬化が発現するため、熱影響部における軟化を効果的に抑制することができる。

[0037] また、添加元素をVとする場合、鋼材のA₁点温度を400～650℃とすることが好ましく、575～625℃とすることがより好ましい。鋼材のA₁点温度を400℃以上とすることで（二次硬化の温度を400℃以上とすることで）、微細なVCを確実に析出させることができ、熱影響部の軟化を抑制することができる。また、鋼材のA₁点温度を650℃以下とすることで（二次硬化の温度を650℃以下とすることで）、析出したVCの粗大化を抑制でき、熱影響部の軟化を効果的に抑制することができる。これらの作用効果は、鋼材のA₁点温度を（二次硬化の最適温度範囲を）575～625℃とすることで、より顕著に得ることができる。

[0038] また、V以外の添加元素としては、W及びMoを用いることが好ましい。二次炭化物を生成する合金元素は他にも存在するが、V、W及びMoは適度な炭化物生成傾向を有しており、固相接合部の外縁における熱影響部6の温度履歴によって効率的に二次炭化物が生成され、当該領域の硬度低下を極めて効果的に抑制することができる。なお、一般的に知られている各合金元素の炭化物生成傾向は、 $Ti > Ta > Nb > V > W > Mo > Cr > Mn > (Fe) > Ni, Co, Al, Si$ となっている。Ti、Ta及びNbは炭化物生成傾向が強過ぎるため、例えば、オーステナイト中にも容易に炭化物を生成し、熱影響部6に生成する二次炭化物量が低下するため、熱影響部6を効果的に二次硬化させることができない。一方で、Cr及びMnは炭化物生成傾向が弱過ぎることに加え、炭化物の硬度も比較的低いいため、熱影響部6を

効果的に二次硬化させることができない。

[0039] また、鋼材の A_1 点温度はMnの添加量によって制御することが好ましい。鋼材の A_1 点温度は組成によって決定されるが、Mnの添加量によって制御することで、簡便かつ効果的に任意の A_1 点温度とすることができる。ここで、鋼材の機械的性質の観点から、強度を重視する場合はMn含有量を3.0～5.0質量%とすることが好ましく、延性を重視する場合は2.00質量%以上3.00質量%未満とすることが好ましい。Mnの添加によって、例えば、0.2C-3Mn-2Si-1V-Feの A_1 点温度は734℃、0.2C-3.6Mn-2Si-1V-Feの A_1 点温度は625℃、0.2C-4Mn-2Si-1V-Feの A_1 点温度は572℃、0.2C-4.4Mn-2Si-1V-Feの A_1 点温度は498℃、0.2C-5Mn-2Si-1V-Feの A_1 点温度は380℃となる。

[0040] また、熱影響部6における最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差を100HV以下とすることが好ましい。最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差を100HV以下とすることで、母材部8の機械的性質を十分に活用した固相接合継手を得ることができる。最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差は75HV以下とすることがより好ましく、50HV以下とすることが最も好ましい。

[0041] また、熱影響部6における最軟化領域のビッカース硬度を450HV以上とすることが好ましい。最軟化領域のビッカース硬度を450HV以上とすることで、超高張力鋼と同等以上の引張強度を摩擦攪拌接合継手2に付与することができる。最軟化領域のビッカース硬度は500HV以上とすることがより好ましく、550HV以上とすることが最も好ましい。

[0042] 熱影響部6における最軟化領域（接合中の最高到達温度が鋼材の A_1 点温度となる領域）は、摩擦攪拌接合条件によって制御することができる。具体的には、回転ツールの回転速度の増加、印加圧力（接合圧力）の増加、及び移動速度の低下等によって摩擦攪拌部4の温度が高くなり、最軟化領域は母材部8側にシフトする。一方で、回転ツールの回転速度の低下、印加圧力（接

合圧力)の低下、及び移動速度の増加等によって摩擦攪拌部4の温度が低くなり、最軟化領域は摩擦攪拌部4側にシフトする。また、摩擦攪拌部4における最高到達温度を鋼材のA₁点温度以上とすることで、熱影響部6の最高到達温度が鋼材のA₁点温度となる領域が形成される。

[0043] (2) 線形摩擦接合を用いる場合

線形摩擦接合は被接合材同士を線形摺動させて接合する固相接合法であり、一方の被接合材を他方の被接合材に当接させて被接合界面を形成する第一工程と、被接合界面に対して略垂直に圧力を印加した状態で、一方の被接合材と他方の被接合材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。

[0044] 線形摩擦接合によって得られる接合部の断面(接合線に対して垂直な断面)のマクロ組織を模式的に図2に示す。また、図2の下部には、断面マクロ組織に対応した硬度分布も模式的に示している。当該硬度分布は、断面の一点鎖線に沿った硬度分布である。

[0045] 線形摩擦接合継手10には、接合界面12が形成され、接合界面12の外縁には熱影響部6が存在し、その外側が母材部8となっている。接合界面12近傍の硬度は被接合材とする鋼材の種類や線形摩擦接合条件によって変化し、母材部8よりも低くなる場合と高くなる場合が存在するが、熱影響部6の硬度は母材部8よりも低下する。特に、熱影響部6の硬度低下は鋼材の硬度が高い場合(高強度の場合)に顕著になる。

[0046] ここで、線形摩擦接合を用いる場合であっても、被接合材に二次硬化を発生する添加元素を有する鋼材を用い、当該鋼材のA₁点温度を二次硬化が発生する温度とすることで、熱影響部6における軟化を効果的に抑制することができる。

[0047] 好ましい鋼材のA₁点温度、二次硬化を発生する添加元素及び線形摩擦接合継手10の硬度分布等は摩擦攪拌接合の場合と同様であるが、線形摩擦接合においては、接合圧力によって接合温度(接合界面12の最高到達温度)を

正確に制御することができる。即ち、接合圧力によって熱影響部6における最軟化領域（接合中の最高到達温度が鋼のA₁点温度となる領域）を制御することができる。また、接合界面12における最高到達温度を鋼材のA₁点温度以上とすることで、熱影響部6の最高到達温度が鋼材のA₁点温度となる領域が形成される。

[0048] 具体的には、線形摩擦接合時の接合圧力を、所望する接合温度における被接合材の降伏応力以上かつ引張強度以下に設定することで、接合温度を制御することができる。接合圧力を被接合材の降伏応力以上とすることで被接合界面からのバリの排出が開始され、引張強度までの間で接合圧力を増加させると、バリの排出が加速されることになる。降伏応力と同様に、特定の温度における引張強度も被接合材によって略一定であることから、設定した接合圧力に対応する接合温度を実現することができる。接合温度の上昇を抑制する観点からは、接合圧力を引張強度以下に設定することが好ましい。

[0049] 線形摩擦接合時の接合圧力により、接合界面12における接合中の最高到達温度を鋼材のA₁点温度とした場合に得られる接合部の断面（接合線に対して垂直な断面）のマクロ組織を模式的に図3に示す。また、図3の下部には、断面マクロ組織に対応した硬度分布も模式的に示している。当該硬度分布は、断面の一点鎖線に沿った硬度分布である。接合界面12における接合中の最高到達温度を鋼材のA₁点温度とした場合、接合界面12が最軟化領域となる。

[0050] 2. 固相接合継手

以下、固相接合方法として摩擦攪拌接合及び線形摩擦接合を用いて得られる固相接合継手を代表として、本発明の固相接合継手の実施形態を詳細に説明する。

[0051] 摩擦攪拌接合で得られた固相接合継手及び線形摩擦接合で得られた固相接合継手の模式図を図4及び図5にそれぞれ示す。

[0052] 摩擦攪拌接合継手2には、摩擦攪拌部4が形成され、摩擦攪拌部4の外縁には熱影響部6が存在し、その外側が母材部8となっている。また、線形摩

擦接合継手10には、接合界面12が形成され、接合界面12の外縁には熱影響部6が存在し、その外側が母材部8となっている。これらの継手においては、被接合材の少なくとも一方が鋼材となっており、当該鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、当該鋼材のA₁点温度が400~650℃であり、熱影響部6における最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差が100HV以下となっている。

[0053] 最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差は75HV以下とすることがより好ましく、50HV以下とすることが最も好ましい。最軟化領域と母材部8のビッカース硬度差を小さくすることで、被接合材の機械的性質を十分に活用することができる。

[0054] また、最軟化領域のビッカース硬度が450HV以上であることが好ましい。最軟化領域のビッカース硬度が450HV以上となっていることで、超高張力鋼材等を被接合材とする場合であっても、当該被接合材の機械的性質を十分に活用した固相接合継手とすることができる。最軟化領域のビッカース硬度は500HV以上とすることがより好ましく、550HV以上とすることが最も好ましい。

[0055] 固相接合された鋼材には二次硬化を発現する添加元素が含まれており、最軟化領域は当該二次硬化によって軟化が抑制されている。添加元素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、鋼を二次硬化させる従来公知の種々の添加元素を用いることができるが、V、W及びMoを用いることが好ましい。これらの元素を含有する鋼は微細な析出物により顕著な二次硬化が発現するため、熱影響部6における軟化を効果的に抑制することができる。より好ましい添加元素はVである。

[0056] 以上、本発明の代表的な実施形態について説明したが、本発明はこれらにのみ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。

[0057] 以下、実施例において本発明の固相接合方法及び固相接合継手について更に説明するが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

実施例

- [0058] 二次硬化を発現する添加元素を含んでいないC（0.2質量%）－Si（2.0質量%）－Mn（3.0質量%）－Fe（Bal.）の組成を有する板厚3mmの鋼板（比較鋼板1）に対して摩擦攪拌接合を施した。熱間圧延を施した鋼材を空冷し、1000℃で10分の溶体化処理を施した後に水冷して鋼板を得た。摩擦攪拌接合には超合金製のツールを用い、接合条件は回転速度400rpm、接合速度150mm/min、接合荷重2.5tonとした。使用したツールのショルダ径は15mm、プローブ径は6mm、プローブ長は2.9mmである。
- [0059] 得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布を図6に示す。母材のビッカース硬度（約500HV）に対し、熱影響部における最軟化領域の硬度は340HVとなっており、著しい軟化が認められる。ここで、当該最軟化領域における摩擦攪拌接合中の温度履歴を熱電対で測定したところ、当該鋼材のA₁点温度である658℃が最高到達温度となっていた。
- [0060] 次に、比較鋼板1に二次硬化を発現する添加元素であるVを0.5質量%添加し、C（0.2質量%）－Si（2.0質量%）－Mn（3.0質量%）－V（0.5質量%）－Fe（Bal.）の組成を有する板厚3mmの鋼板（比較鋼板2）を製造し、当該鋼板に対して、比較鋼板1の場合と同様の条件で摩擦攪拌接合を施した。なお、鋼板の製造条件は比較鋼板1と同様である。
- [0061] 得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布を図7に示す。母材のビッカース硬度（約500HV）は比較鋼板1と同等であるが、熱影響部における最軟化領域の硬度は435HVとなっており、軟化が抑制されていることが分かる。なお、図7には比較として比較鋼板1の結果も示している。
- [0062] 次に、二次硬化を発現する添加元素であるVの添加量を1.0質量%に増加させ、C（0.2質量%）－Si（2.0質量%）－Mn（3.0質量%）－V（1.0質量%）－Fe（Bal.）の組成を有する板厚3mmの鋼板（比較鋼板3）を製造し、当該鋼板に対して、比較鋼板1の場合と同様の

条件で摩擦攪拌接合を施した。ここで、Vを完全に固溶させるために、鋼板の溶体化温度を1125℃とした。その他の鋼板の製造条件は比較鋼板1と同様である。

[0063] 得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布を図8に示す。熱影響部における最軟化領域の硬度は420HVとなっており、比較鋼板2と大差なく、V添加量の増加による軟化抑制効果の向上は認められなかった。なお、図8には比較として比較鋼板1及び比較鋼板2の結果も示している。

[0064] ここで、比較鋼板3のA₁点温度は734℃であるが、Vによる二次硬化が顕著に発現する温度は約600℃であるとされている（牧正志，鉄鋼の組織制御，内田老確園（2015）98－101）。そこで、比較鋼板3のMn量を4.0質量%に増加させて、C（0.2質量%）－Si（2.0質量%）－Mn（4.0質量%）－V（1.0質量%）－Fe（Bal.）の組成を有する板厚3mmの鋼板（実施鋼板）を製造し、当該鋼板に対して、比較鋼板1の場合と同様の条件で摩擦攪拌接合を施した。ここで、実施鋼板のA₁点温度はMn量の増加に伴って低下し、572℃となった。なお、鋼板の製造条件は比較鋼板3と同様である。

[0065] 得られた継手の接合部に直交する断面の硬度分布を図9に示す。熱影響部における最軟化領域の硬度は465HVとなっており、軟化が顕著に抑制されていることが分かる。当該結果は、1.5GPa級の高張力鋼板において、約90%の継手効率が得られることを示している。なお、図9には比較として比較鋼板3の結果も示している。

[0066] 比較鋼板1及び比較鋼板2の熱影響部における走査型透過型電子顕微鏡（STEM）観察像を図10及び図11にそれぞれ示す。比較鋼板1の熱影響部では、マルテンサイト組織のラス境界にMnが固溶したセメントイトが存在している。これに対し、比較鋼板2の熱影響部では、ラス内に極めて微細な析出物が分散しており、軟化の抑制に寄与していることが分かる。

[0067] 図11のラス内における微細析出物の組成を明らかにするために、3D-APT（3次元アトムプローブ）を用いて元素分布を測定した。得られた結

果を図12に示す。VとCが重複して存在する微細領域が多数存在していることから、析出物はV炭化物であることが確認された。

[0068] 比較鋼板3の最軟化領域について、3D-APT（3次元アトムプローブ）を用いて元素分布を測定した。得られた結果を図13に示す。VとCが直径～25nmの板状に重複して存在しており、析出物は V_4C_3 炭化物であると考えられる。また、比較鋼板3において接合中の最高到達温度が600℃となった領域についても同様に測定を行った。得られた結果を図14に示す。VとCが直径～10nmの板状に重複して存在している領域が多数存在しており、当該領域には微細なVCが大量に析出していることから、図8や図9に示されているように、比較鋼板3では熱影響部に硬さのピークが生じたと考えられる。

[0069] 以上の結果より、鋼材の固相接合部における最軟化領域は、接合中の最高到達温度が当該鋼材の A_1 点温度となる領域であり、当該鋼材に二次硬化を発現する元素を添加し、当該 A_1 点温度で二次硬化が発現するように接合することで、熱影響部の軟化が極めて効果的に抑制されることが明らかとなった。

符号の説明

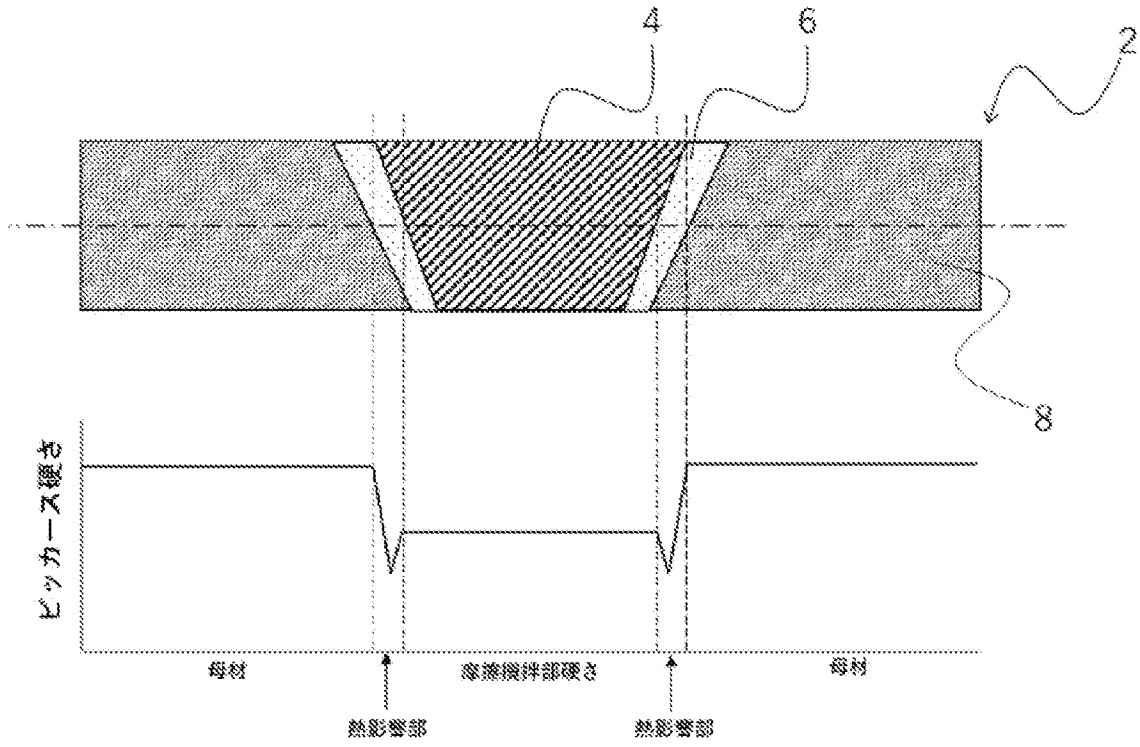
- [0070] 2・・・摩擦攪拌接合継手、
4・・・摩擦攪拌部、
6・・・熱影響部、
8・・・母材部、
10・・・線形摩擦接合継手、
12・・・接合界面。

請求の範囲

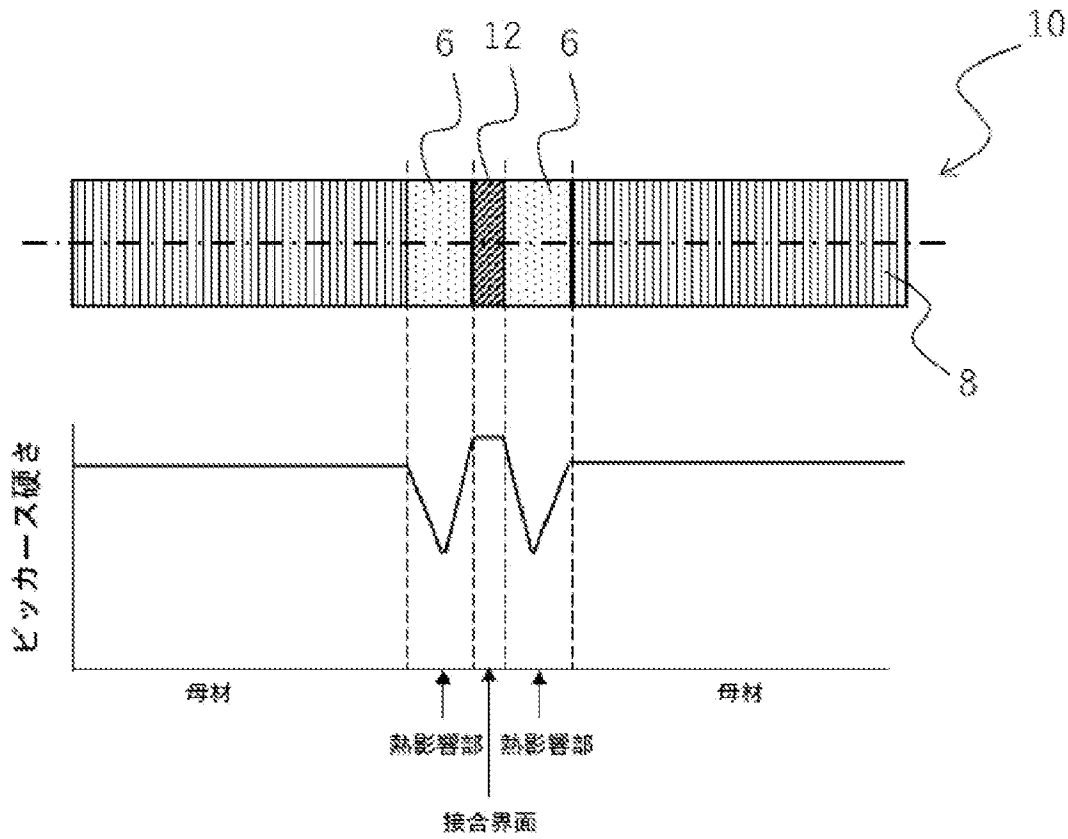
- [請求項1] 被接合材の少なくとも一方を鋼材とする固相接合方法であって、
前記鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、
接合中に前記鋼材の最高到達温度が前記鋼材のA₁点温度となる領域を形成し、
前記A₁点温度を前記二次硬化が発現する温度とすること、
を特徴とする鋼材の固相接合方法。
- [請求項2] 前記添加元素がVであり、
前記A₁点温度を400～650℃とすること、
を特徴とする請求項1に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項3] 前記A₁点温度を575～625℃とすること、
を特徴とする請求項2に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項4] 前記鋼材のMnの添加量によって、前記A₁点温度を制御すること
、
を特徴とする請求項1又は2に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項5] 最軟化領域と母材のビッカース硬度差を100HV以下とすること
、
を特徴とする請求項1又は2に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項6] 前記最軟化領域のビッカース硬度を450HV以上とすること、
を特徴とする請求項5に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項7] 摩擦攪拌接合を用いること、
を特徴とする請求項1又は2に記載の鋼材の固相接合方法。
- [請求項8] 被接合材の少なくとも一方が鋼材であり、
前記鋼材は二次硬化を発現する添加元素を有し、
前記鋼材のA₁点温度が400～650℃であり、
最軟化領域と母材のビッカース硬度差が100HV以下であること
、
を特徴とする固相接合継手。

- [請求項9] 前記A₁点温度が575～625℃であること、
を特徴とする請求項8に記載の固相接合継手。
- [請求項10] 前記最軟化領域のビッカース硬度が450HV以上であること、
を特徴とする請求項8又は9に記載の固相接合継手。
- [請求項11] 摩擦攪拌接合部を有すること、
を特徴とする請求項8又は9に記載の固相接合継手。

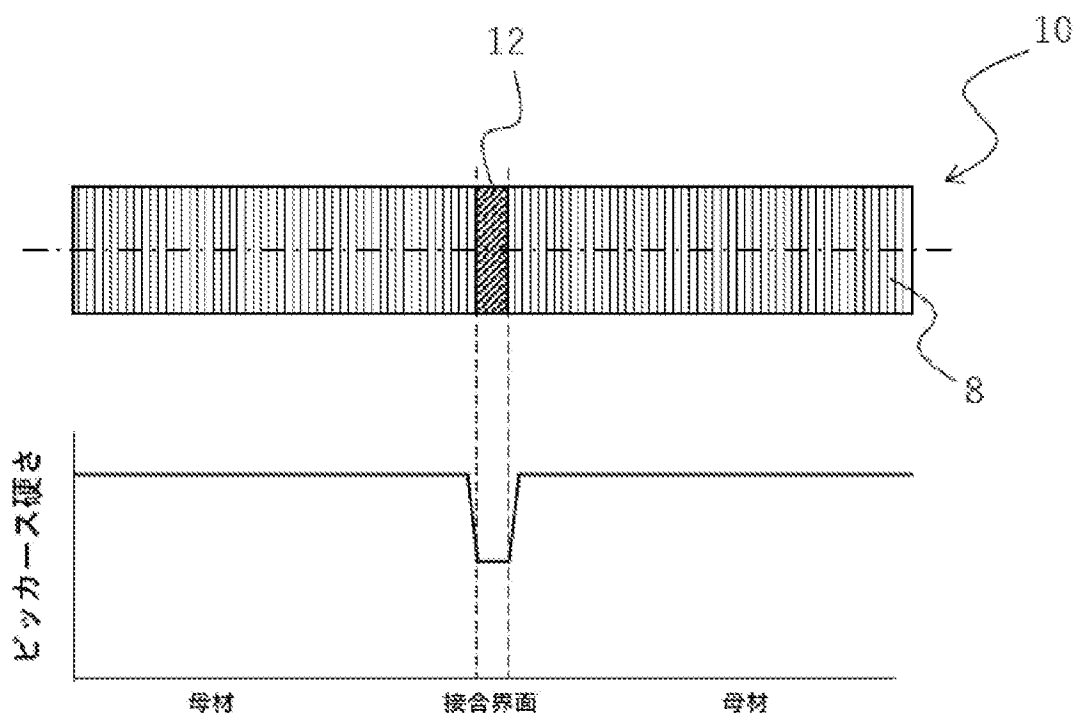
[図1]



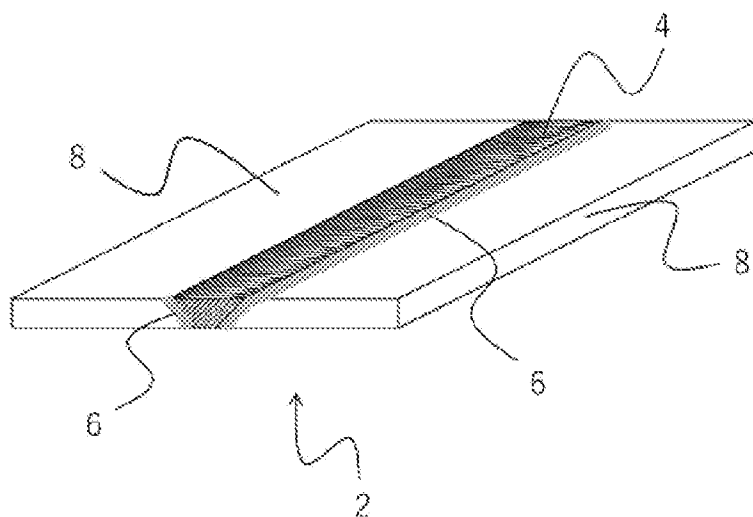
[図2]



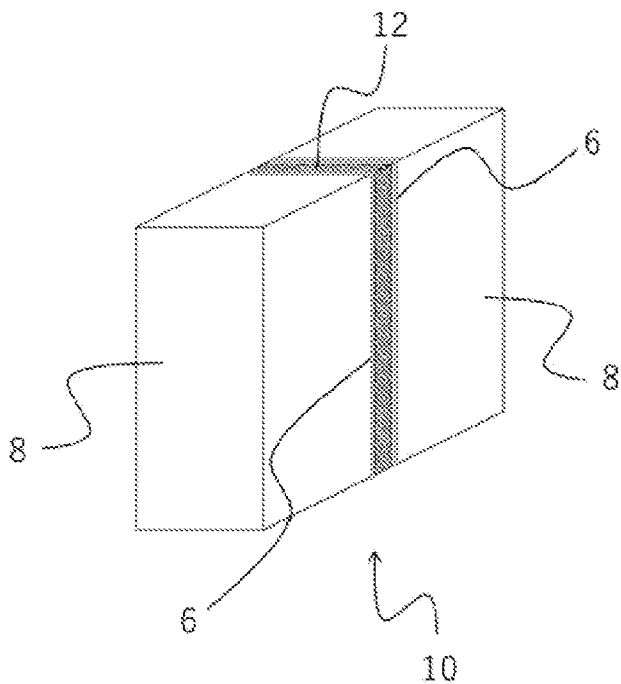
[図3]



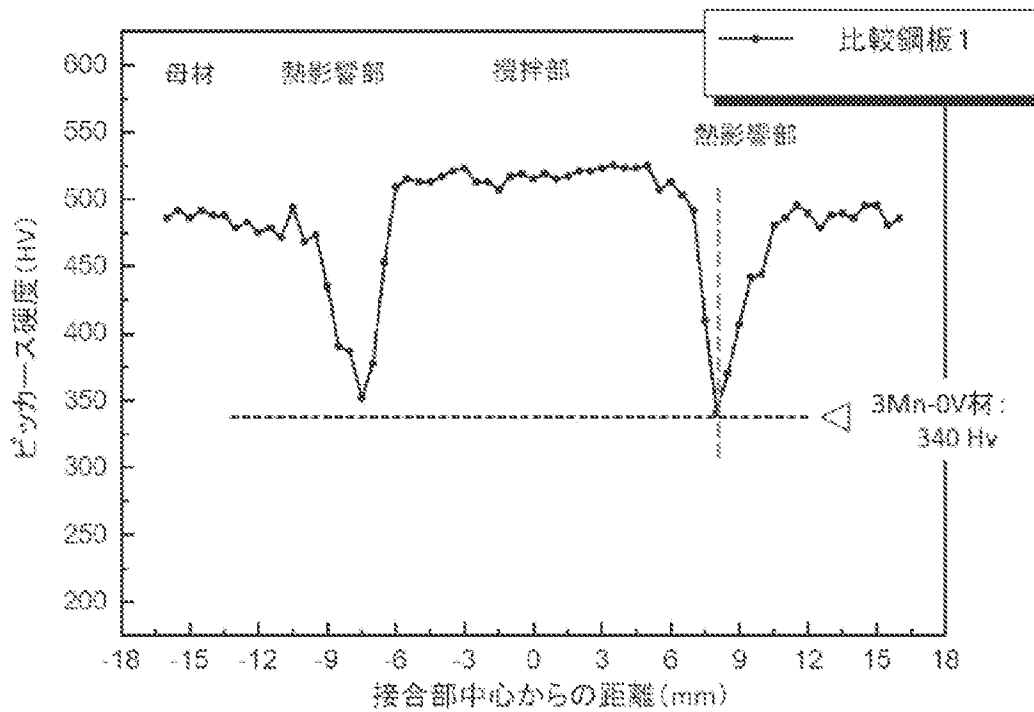
[図4]



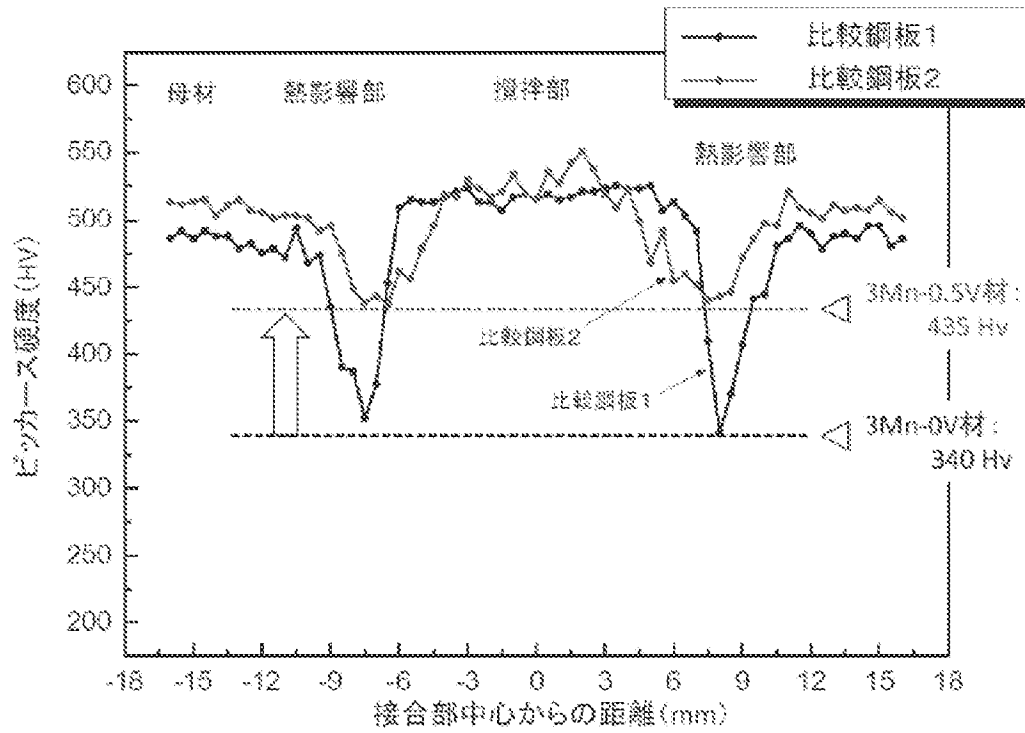
[図5]



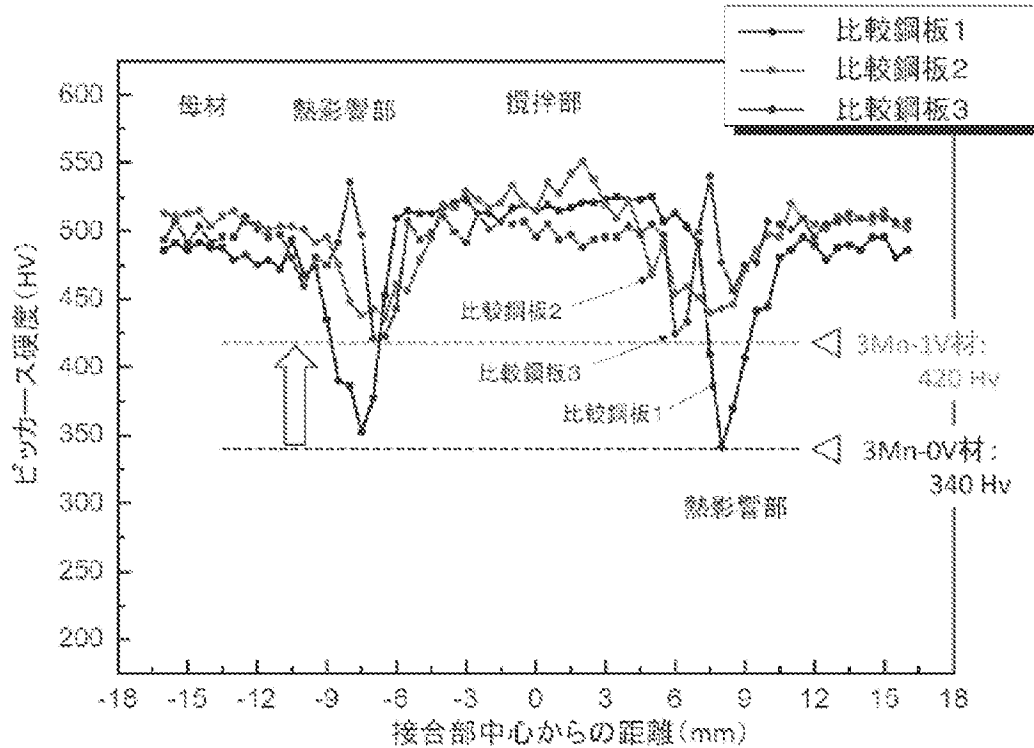
[図6]



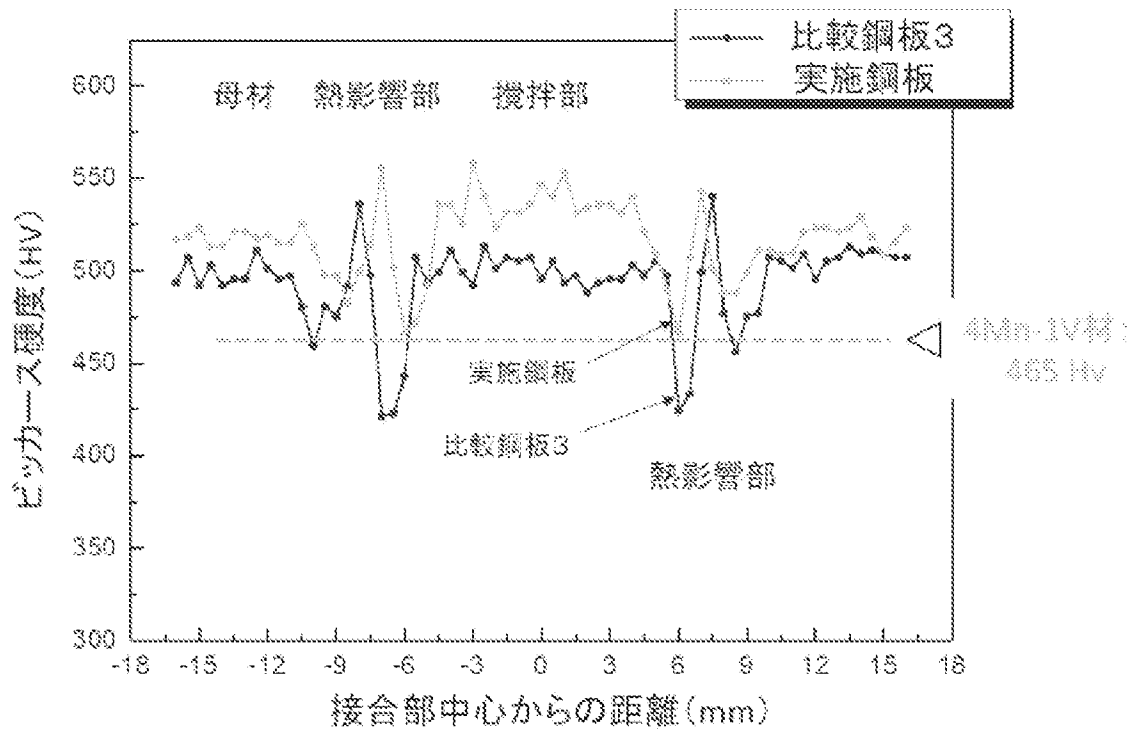
[図7]



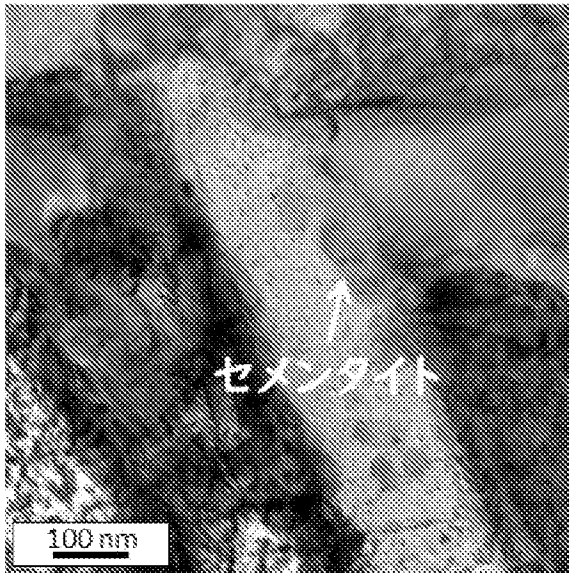
[図8]



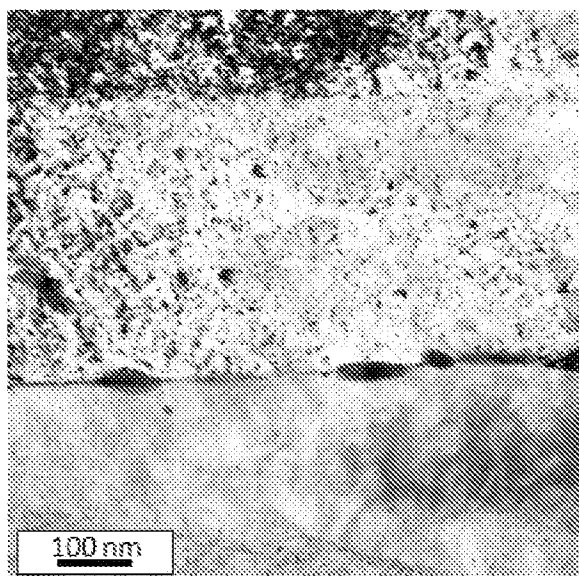
[図9]



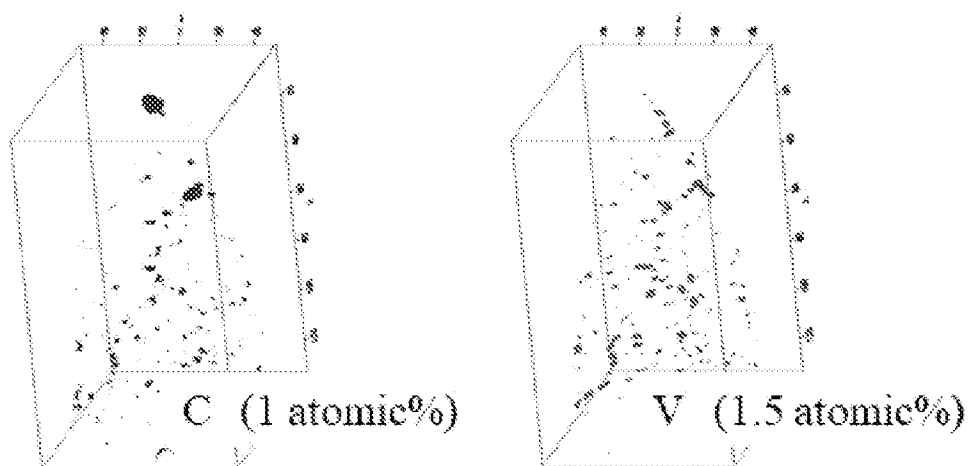
[図10]



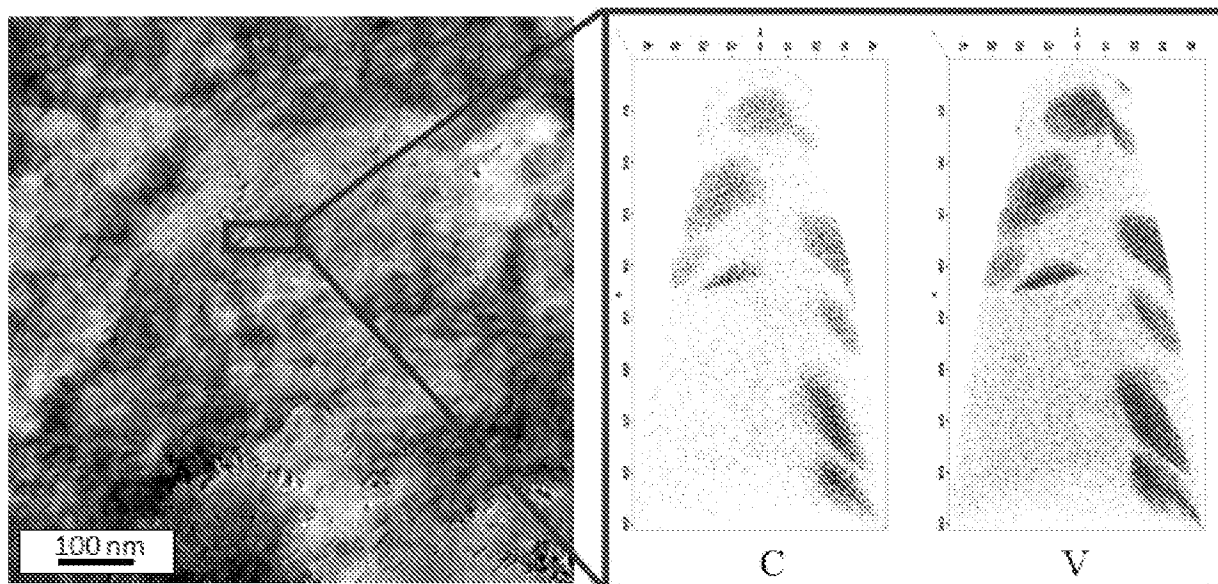
[図11]



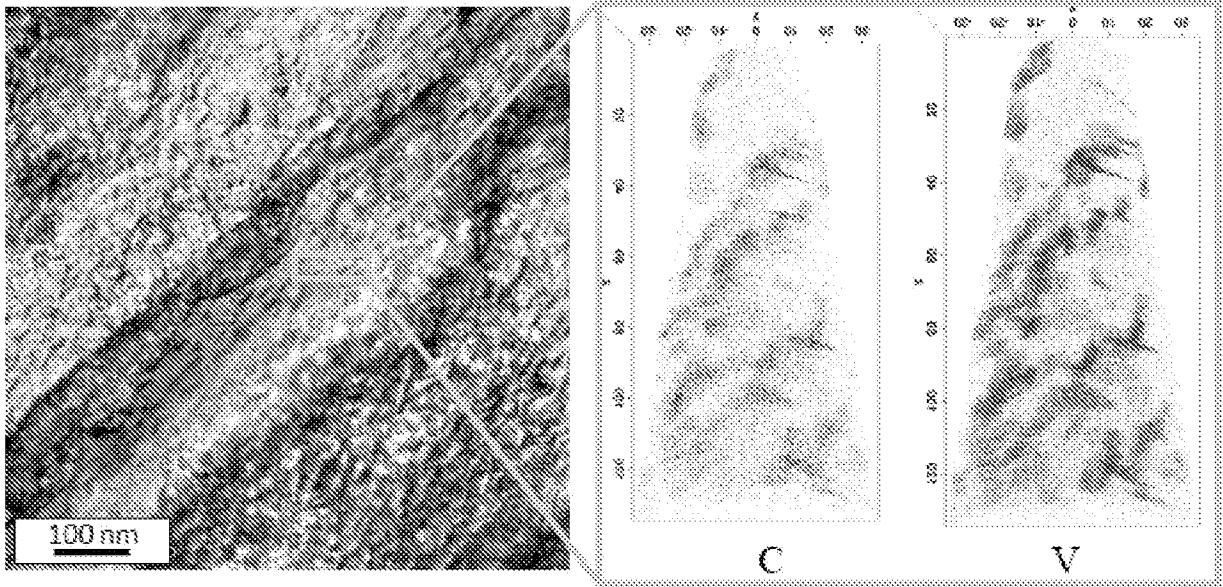
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/000938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B23K 20/12</i> (2006.01)i; <i>C21D 9/46</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/00</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/12</i> (2006.01)i FI: B23K20/12 320; C21D9/46 S; C22C38/00 301W; C22C38/12		
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) B23K20/12; C21D9/46; C22C38/00; C22C38/12		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-503903 A (SANDVIK AB) 04 April 2000 (2000-04-04) p. 5, line 19 to p. 7, line 28, fig. 1-4	1-6, 8-10
A		7, 11
A	JP 2012-172344 A (MITSUBISHI MATERIALS CORP) 10 September 2012 (2012-09-10) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2001-502021 A (SANDVIK AB (PUBL)) 13 February 2001 (2001-02-13) entire text, all drawings	1-11
A	JP 3-500025 A (FRICTEC LIMITED) 10 January 1991 (1991-01-10) entire text, all drawings	1-11
A	WO 2015/068386 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 14 May 2015 (2015-05-14) entire text, all drawings	1-11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 21 February 2023		Date of mailing of the international search report 07 March 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/000938

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2000-503903	A	04 April 2000	US 5919578 A column 2, line 12 to column 3, line 41, fig. 1-4	
JP	2012-172344	A	10 September 2012	US 2012/0211127 A1 entire text, all drawings	
JP	2001-502021	A	13 February 2001	WO 1997/049520 A1 entire text, all drawings	
JP	3-500025	A	10 January 1991	US 5077081 A entire text, all drawings	
WO	2015/068386	A1	14 May 2015	US 2016/0263697 A1 entire text, all drawings	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>B23K 20/12(2006.01)i; C21D 9/46(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/12(2006.01)i FI: B23K20/12 320; C21D9/46 S; C22C38/00 301W; C22C38/12</p>																							
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>B23K20/12; C21D9/46; C22C38/00; C22C38/12</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
日本国実用新案公報	1922 - 1996年																						
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年																						
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年																						
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年																						
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 2000-503903 A (サンドビック アクティエボラグ) 04.04.2000 (2000 - 04 - 04) 第5ページ第19行-第7ページ第28行, 図1-4</td> <td>1-6, 8-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>7, 11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2012-172344 A (三菱マテリアル株式会社) 10.09.2012 (2012 - 09 - 10) 全文, 全図</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2001-502021 A (サンドビック アクティエボラグ (プブル)) 13.02.2001 (2001 - 02 - 13) 全文, 全図</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 3-500025 A (フリクテック リミテッド) 10.01.1991 (1991 - 01 - 10) 全文, 全図</td> <td>1-11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2015/068386 A1 (JFEスチール株式会社) 14.05.2015 (2015 - 05 - 14) 全文, 全図</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>			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	X	JP 2000-503903 A (サンドビック アクティエボラグ) 04.04.2000 (2000 - 04 - 04) 第5ページ第19行-第7ページ第28行, 図1-4	1-6, 8-10	A		7, 11	A	JP 2012-172344 A (三菱マテリアル株式会社) 10.09.2012 (2012 - 09 - 10) 全文, 全図	1-11	A	JP 2001-502021 A (サンドビック アクティエボラグ (プブル)) 13.02.2001 (2001 - 02 - 13) 全文, 全図	1-11	A	JP 3-500025 A (フリクテック リミテッド) 10.01.1991 (1991 - 01 - 10) 全文, 全図	1-11	A	WO 2015/068386 A1 (JFEスチール株式会社) 14.05.2015 (2015 - 05 - 14) 全文, 全図	1-11
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																					
X	JP 2000-503903 A (サンドビック アクティエボラグ) 04.04.2000 (2000 - 04 - 04) 第5ページ第19行-第7ページ第28行, 図1-4	1-6, 8-10																					
A		7, 11																					
A	JP 2012-172344 A (三菱マテリアル株式会社) 10.09.2012 (2012 - 09 - 10) 全文, 全図	1-11																					
A	JP 2001-502021 A (サンドビック アクティエボラグ (プブル)) 13.02.2001 (2001 - 02 - 13) 全文, 全図	1-11																					
A	JP 3-500025 A (フリクテック リミテッド) 10.01.1991 (1991 - 01 - 10) 全文, 全図	1-11																					
A	WO 2015/068386 A1 (JFEスチール株式会社) 14.05.2015 (2015 - 05 - 14) 全文, 全図	1-11																					
<p>国際調査を完了した日</p> <p>21.02.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>07.03.2023</p>																						
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>岩見 勤 3P 6101</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3363</p>																						

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/000938

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2000-503903	A	04.04.2000	US	5919578	A	第2欄第12行-第3欄第41行, 図1-4
JP	2012-172344	A	10.09.2012	US	2012/0211127	A1	全文,全図
JP	2001-502021	A	13.02.2001	WO	1997/049520	A1	全文,全図
JP	3-500025	A	10.01.1991	US	5077081	A	全文,全図
WO	2015/068386	A1	14.05.2015	US	2016/0263697	A1	全文,全図