

(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
2016年1月14日(14.01.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/006378 A1

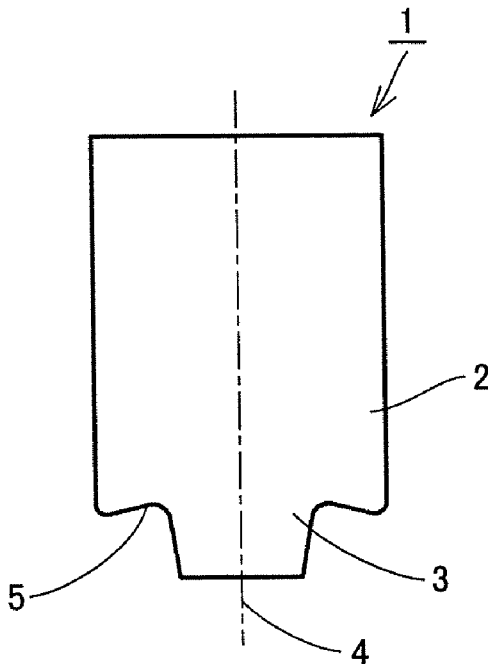
- (51) 国際特許分類:
B23K 20/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/066555
- (22) 国際出願日: 2015年6月9日(09.06.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-142352 2014年7月10日(10.07.2014) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 内海 慶春 (UTSUMI, Yoshiharu); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 青山 博香 (AOYAMA, Hiroka); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP). 津田 圭一 (TSUDA, Keiichi); 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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).

[続葉有]

(54) Title: ROTARY TOOL AND WELDING METHOD

(54) 発明の名称: 回転ツールおよび接合方法

FIG. 1



(57) Abstract: A friction stir spot-welding tool (1) for friction stir spot-welding a first member and a second member by superposing the first member and the second member and applying pressure from the first-member side. The first member and the second member are steel plates having a tensile strength of 270-370 MPa or greater. The friction stir spot-welding tool (1) is capable of rotating around an axis of rotation (4). The friction stir spot-welding tool (1) is equipped with: a columnar section (2) having at its tip end a shoulder (5); and a cylindrical or truncated conical probe (3) protruding from the shoulder (5) in the direction of elongation of the axis of rotation (4). When t (mm) is the thickness of the second member and the second member insertion volume V (mm³) is the volume of the insertion into the second member when the probe (3) is pressed from the first-member side, the relationship between V and t satisfies the equation (1). $V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56$ ($t \geq 0.5$ mm) . . . (1)

(57) 要約: 摩擦攪拌点接合ツール (1) は、第1部材と第2部材とを重ね合わせて第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合させるものである。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツール (1) は、回転軸 (4) を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツール (1) は、先端にショルダー (5) を備える柱状部 (2) と、ショルダー (5) から回転軸

(4) を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブ (3) とを備える。第2部材の厚さを t (mm) とし、プローブ (3) が押圧時に第2部材側に挿入される体積を第2部材挿入体積 V (mm³) とするとき、 V は t との関係において以下の式 (1) を満たす。 $V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56$ ($t \geq 0.5$ mm) . . . (1)

WO 2016/006378 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：回転ツールおよび接合方法

技術分野

[0001] 本発明は、摩擦攪拌点接合ツールおよびそれを用いた接合方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、二枚以上の薄板を接合するための接合法として、たとえば特開2001-314982号公報（以下、特許文献1）において摩擦攪拌点接合（Spot Friction WeldingもしくはFriction Spot Joining）と呼ばれる接合法が考案され、自動車車体等に対して当該接合法の実用化が始まっている。この技術は、先端に小径突起部（プローブもしくはピンと呼ばれる）が形成された円柱状のツールを回転させながら接合箇所を押圧することにより摩擦熱が発生することを利用したものであり、当該摩擦熱によって接合箇所の金属材料を軟化させて塑性流動させることにより金属材料同士を接合させるというものである。

[0003] 摩擦攪拌点接合は、自動車車体の接合方法として現在主流となっている抵抗スポット溶接とは異なり、被接合材を溶融させずに固相接合させるというものである。そのため、摩擦攪拌点接合では、低い温度での接合が可能である。よって、摩擦攪拌点接合は、抵抗スポット溶接に比べて、接合箇所におけるスパッタまたはヒュームの発生がなく、被接合材の変形が少なく、省電力であり、異種材料間の接合が可能である、といったメリットを有する。

[0004] 摩擦攪拌点接合を行なう接合ツール（以下「摩擦攪拌点接合ツール」とも記す）を改良することによってより強度の高い継手を得る試みが、たとえば特開2009-131891号公報（以下、特許文献2）において提案されている。特許文献2には、横断面形状が非円形（例えば三角形等）なプローブを有する摩擦攪拌点接合ツールを使用することによって、接合時の攪拌効率を高くでき、攪拌領域における垂直方向のフックラインと呼ばれる未接合領域の形成を防止でき、接合強度が向上することが記載されている。

[0005] また、特開2013-086175号公報（以下、特許文献3）には、円錐台状のプローブを有する摩擦攪拌点接合ツールについて次に示すことが記載されている。プローブの側面が回転軸となす角度と、プローブの高さと、プローブが貫通する鋼板の厚さとが一定の関係式を満たすように、摩擦攪拌点接合ツールを設計する。これにより、接合箇所に対して加える十字引張荷重を大きくしてフッキングによる未接合領域の拡大を抑制し、接合強度が向上する。

[0006] 摩擦攪拌点接合ツールは、軟化温度が低く攪拌が容易であるアルミニウム合金の接合において既に適用されており、自動車車体の製造ラインへの適用が拡大している。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2001-314982号公報

特許文献2：特開2009-131891号公報

特許文献3：特開2013-086175号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 鋼は、高温においても硬度が高く、アルミニウム合金などの軟質金属に比べ塑性流動が困難であるので、広い攪拌領域を得ることが困難である。また、鋼板を重ね合わせて形成された界面には、フックラインと呼ばれる未接合領域が生じる。このため、鋼板（特に高張力鋼板）を摩擦攪拌点接合により接合するに際し、高い接合強度を得ることは困難である。

[0009] なお、鋼板の摩擦攪拌点接合において、特許文献2に記載のように、横断面形状が非円形なプローブを有する摩擦攪拌点接合ツールを使用することによって接合強度を向上させることが考えられる。しかし、プローブの横断面形状は、非円形であるので、角部を有する。そのため、摩擦攪拌点接合ツールにおいては、上記角部（プローブの横断面形状が有する角部）への負荷に

よる欠損および摩耗が生じやすく、プローブの十分な耐久性が確保されないおそれがある。

[0010] また、特許文献3には、上記のとおり、プローブの形状を特定し且つプローブと被接合材との関係を規定することによって、接合強度を向上させることが記載されている。しかし、特許文献3においては、接合強度の指標を十字引張荷重としている。そのため、接合強度の指標としてより重要な引張せん断荷重が考慮されていないという問題がある。

[0011] 詳細には、JIS Z 3140:1989において、鋼板等の継手の機械的性質について引張せん断荷重を基準とした等級が定められている。そのため、鋼板の継手の接合強度の指標としては、引張せん断荷重が適切である。しかしながら、十分な耐久性を有する摩擦攪拌点接合ツールであって鋼板の継手に要求されている程度の高い引張せん断荷重を有する継手を形成可能な摩擦攪拌点接合ツールは、いまだ提供されていない。

[0012] そこで、鋼板の接合において高い引張せん断荷重が得られる摩擦攪拌点接合ツールを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明の一態様に係る摩擦攪拌点接合ツールは、第1部材と第2部材とを重ね合わせて第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合させるものである。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツールは、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備える。第2部材の厚さを t (mm)とし、プローブが押圧時に第2部材側に挿入される体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とすると、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \cdots (1)$$

。

[0014] また、本発明の一態様に係る接合方法は、第1部材と第2部材とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツールを第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合する接合方法である。本発明の一態様に係る接合方法は、第1部材と第2部材とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツールを第1部材側から押圧する押圧工程を含む。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツールは、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備える。押圧工程は、回転軸を中心に摩擦攪拌点接合ツールを回転させながら、第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブを挿入させることによって、第1部材と第2部材とを接合させる工程である。第2部材の厚さを t (mm)とし、押圧工程においてプローブを第2部材側に挿入させる体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とするとき、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \quad \dots (1)$$

発明の効果

[0015] 上記によれば、鋼板の接合において高い引張せん断荷重が得られる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の一態様に係る摩擦攪拌点接合ツールの一例を示す概略断面図である。

[図2]本発明の一態様に係る摩擦攪拌点接合ツールを用いて第1部材と第2部材とを接合する場合において、押圧時にプローブが最も深く挿入された状態を示す概略断面図である。

[図3]引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板を用いて継手を形成する場合において、JIS Z 3140:1989での定義に基づいてJIS A級最小値と認められるために要する継手の引張せん断荷重 F_1 (k

N) および J I S Z 3 1 4 0 : 1 9 8 9 での定義に基づいて J I S A 級平均値と認められるために要する継手の引張せん断荷重 F_2 (k N) と被接合材である鋼板厚さ t との関係を示す相関図である。

[図4]摩擦攪拌点接合ツールを用いて鋼板に対し継手を形成する実験によって得られた、第2部材挿入体積 V と継手の引張せん断荷重 F との関係を示す相関図である。

発明を実施するための形態

[0017] [本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施態様を以下の [1] ~ [10] に列記して説明する。

[0018] [1] 本発明の一態様に係る摩擦攪拌点接合ツールは、第1部材と第2部材とを重ね合わせて第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合させるものである。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が 270MPa 以上 370MPa 以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツールは、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備える。第2部材の厚さを t (mm) とし、プローブが押圧時に第2部材側に挿入される体積を第2部材挿入体積 V (mm³) とするとき、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。これにより、鋼板の接合において高い引張せん断荷重が得られる。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0019] [2] なお、第2部材挿入体積 V (mm³) は、第2部材の厚さ t (mm) との関係において以下の式(2)を満たすことが好ましい。これにより、鋼板の接合においてより高い引張せん断荷重が得られる。

$$V \geq 2.03t^2 + 6.01t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (2)$$

。

[0020] [3] また、プローブは、ショルダーへとつながる側面を備えることが好

ましい。その側面は、回転軸に対し 0° 以上 15° 以下の角度 θ を有することが好ましい。これにより、プローブを被接合材に挿入するために必要な荷重を低減できる。また、本発明の摩擦攪拌点接合ツールは、ショルダーを通じて第1部材に対して十分な面圧を加えるツールとして適したものとなる。

[0021] [4] また、プローブが第2部材側に挿入される深さを h (mm) とするとき、 h と第2部材の厚さ t (mm) との比 h/t は、 0.25 以上 0.75 以下であることが好ましい。これにより、プローブ先端直径およびフッキング高さが大きくなりすぎることなく、上記式(1)または上記式(2)が満たされることとなる。

[0022] [5] また、プローブは、ショルダーへとつながる側面を備えることが好ましい。ショルダーは、その外縁からプローブの上記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有することが好ましい。これにより、押圧による接合時には、プローブにより押し出された第1部材および第2部材がショルダーからはみ出すことを防止できる。よって、形成される接合部の外観が良くなる。また、ショルダーの外縁が第1部材を押さえることにより、接合中に摩擦攪拌点接合ツールがぶれることを防止できる。

[0023] [6] 本発明の一態様に係る接合方法は、第1部材と第2部材とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツールを第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合する接合方法である。本発明の一態様に係る接合方法は、第1部材と第2部材とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツールを第1部材側から押圧する押圧工程を含む。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が 270MPa 以上 370MPa 以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツールは、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備える。押圧工程は、回転軸を中心に摩擦攪拌点接合ツールを回転させながら、第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブを挿入させることによって、第1部材と第2部材とを接合させる工程であ

る。第2部材の厚さを t (mm)とし、押圧工程においてプローブを第2部材側に挿入させる体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とするとき、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。これにより、鋼板の接合において高い引張せん断荷重が得られる。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0024] [7] なお、第2部材挿入体積 V (mm³)は、第2部材の厚さ t (mm)との関係において以下の式(2)を満たすことが好ましい。これにより、鋼板の接合においてより高い引張せん断荷重が得られる。

$$V \geq 2.03t^2 + 6.01t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (2)$$

。

[0025] [8] また、プローブは、ショルダーへとつながる側面を備えることが好ましい。その側面は、回転軸に対し 0° 以上 15° 以下の角度 θ を有することが好ましい。これにより、プローブを被接合材に挿入するために必要な荷重を低減できる。また、ショルダーを通じて第1部材に対して十分な面圧を加えることができる。

[0026] [9] また、プローブが第2部材側に挿入される深さを h (mm)とするとき、 h と第2部材の厚さ t (mm)との比 h/t は、 0.25 以上 0.75 以下であることが好ましい。これにより、プローブ先端直径およびフッキング高さが大きくなりすぎることなく、上記式(1)または上記式(2)が満たされることとなる。

[0027] [10] また、プローブは、ショルダーへとつながる側面を備えることが好ましい。ショルダーは、その外縁からプローブの上記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有することが好ましい。これにより、押圧による接合時には、プローブにより押し出された第1部材および第2部材がショルダーからはみ出すことを防止できる。よって、形成される接合部の外観が良くなる。また、ショルダーの外縁が第1部材を押さえることにより、接合中に摩擦攪拌点接合ツールがぶれることを防止できる。

[0028] [本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の実施形態を、図面を参照しつつより詳細に説明する。

[0029] <摩擦攪拌点接合ツール>

本発明の実施形態（以下「本実施形態」とも記す）の摩擦攪拌点接合ツールは、第1部材と第2部材とを重ね合わせて第1部材側から押圧することにより、第1部材と第2部材とを摩擦攪拌点接合させるものである。第1部材および第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツールは、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備える。第2部材の厚さを t （mm）とし、プローブが押圧時に第2部材側に挿入される体積を第2部材挿入体積 V （ mm^3 ）とするとき、 V は t との関係において以下の式（1）を満たす。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0030] 本実施形態の摩擦攪拌点接合ツールは、上記の構成を備える限り、他の構成を含んでもよい。このような他の構成としては、摩擦攪拌点接合ツールの表面に形成される各種コーティング膜などを挙げることができる。

[0031] 図1は、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツールの概略断面図である。本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1は、図1に示される回転軸4を中心に回転可能である。なお、ここでいう「回転軸」とは、その軸を中心として摩擦攪拌点接合ツールが回転する軸をいう。また、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1は、少なくとも、先端にショルダー5を備える柱状部2と、ショルダー5から回転軸4を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブ3とを備える。なお、本実施形態において特に断りがない限り、「摩擦攪拌点接合ツール」は上記柱状部と上記プローブとを少なくとも有する摩擦攪拌点接合ツールを意味する。

[0032] 以下、各構成要素についてさらに詳細に説明する。

(柱状部)

本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1は、先端にショルダー5を備える柱状部2を有する。ここで「ショルダー」とは、柱状部の先端部分であって、その中央部に後述のプロープが形成されている面をいう。

[0033] プロープ3は、ショルダー5へとつながる側面を備えることが好ましく、ショルダー5は、その外縁からプロープ3の側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有することが好ましい。なお、ここでいう「プロープの側面」とは、プロープの円柱状または円錐台状という外形（すなわち円柱または円錐台）の側面にあたる面を意味する。また、ここでいう「外縁」とは、ショルダーを備えた柱状部においてショルダーを構成する面の外周を意味する。

[0034] ショルダー5を上記形状（ショルダー5の外縁からプロープ3の側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状）とすることにより、押圧時には、プロープ3により押し出された第1部材6および第2部材7（以下、第1部材6および第2部材7の両者またはいずれか一方を単に「被接合材」と記すことがある）がショルダー5からはみ出すことを防止できる。よって、形成される接合部の外観が良くなる。また、ショルダー5の外縁が被接合材（例えば第1部材6）を押さえることにより、押圧中に摩擦攪拌点接合ツール1がぶれることを防止できる。

[0035] なお、ショルダー5の面積は、 60 mm^2 以上 80 mm^2 以下であることが好ましい。これにより、押圧時には、ショルダー5を通じて被接合材に対して加わる面圧が十分に大きくなる。よって、被接合材同士の間隙が空きにくくなる。ショルダー5の面積は、 65 mm^2 以上 70 mm^2 以下であることがより好ましい。

[0036] (プロープ)

本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1は、ショルダー5から回転軸4を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプロープ3を備える。なお、ここでいう「円錐台状」とは、円錐から、頂点を共有し相似に縮小した円錐

を取り除いた形状をいう。また、「円柱状」および「円錐台状」の形状における「円」とは、必ずしも真円に限られるものではなく、略円を含むものとする。また、「プローブ」とは、押圧時に第1部材および第2部材に対して挿入されることによって被接合材を攪拌する部分であって摩擦攪拌点接合ツールの突出部分である。摩擦攪拌点接合ツール1では、プローブ3は、円柱状または円錐台状である。そのため、プローブ3の横断面形状は、円形であり、よって、角部を有さない。したがって、摩擦攪拌点接合ツール1では、プローブ3の角部への負荷による欠損および摩耗が生じるおそれがなく、その結果、その耐久性は高いものとなる。

[0037] 図2は、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1を用いて第1部材6（被接合材）と第2部材7（被接合材）とを押圧して接合する場合において、押圧時にプローブ3が最も深く挿入された状態を示す概略断面図である。なお、図2にはプローブ3が最も深く挿入された状態を示しているが、本実施形態はこれに限られるものではなく、押圧時に第1部材6と第2部材7との接触面8よりもさらに第2部材7側の厚み方向に深くなる深さまでプローブ3が挿入されるものであればよい。図2中、プローブ先端半径 r およびプローブ長 l は、後述の通り押圧時における第2部材挿入体積 V を調整するために適宜決定されるものであり、特に制限されるものではない。たとえば厚さ1.2mmの鋼板を接合する場合、プローブ先端半径 r は1.4mm以上1.8mm以下であることが好ましく、プローブ長 l は2.0mm以上2.4mm以下であることが好ましい。これにより、より一層高い引張せん断荷重を得ることができる。なお、ここでいう「プローブ先端半径 r 」とは、プローブの先端面（すなわち円）の半径をいう。また、「プローブ長 l 」とは、プローブの先端面と、プローブの側面とショルダーとが交差する線を含む面とが平行であると仮定した場合の両面間の距離をいう。

[0038] 本実施形態においては、プローブ3は、ショルダー5へとつながる側面を備えることが好ましく、その側面は、回転軸4に対し 0° 以上 15° 以下の角度 θ を有することが好ましい。なお、ここで「角度 θ 」とは、摩擦攪拌点

接合ツールの回転軸を含む断面においてプローブの側面を延長した直線と回転軸を延長した直線とが交差する角度であり、図2における θ に相当する。この角度 θ は、以下「プローブテーパ角 θ 」とも記す。角度 θ は、上記の通り 0° 以上 15° 以下であることが好ましい。 θ が 15° よりも大きいと、プローブの側面とショルダーとが交差する線を含む面であって回転軸に対して垂直な面を断面とするプローブ断面（形状は円形）において、当該円の直径が大きくなることがある。そのため、プローブを被接合材に挿入するために必要な荷重が大きくなり過ぎることがある。また、 θ が 15° よりも大きいと、ショルダーの面積が相対的に小さくなることがある。そのため、ショルダーを通じて第1部材に加わる面圧が小さくなることがあるので、第1部材と第2部材との間に隙間が生じることがある。

[0039] 角度 θ が 0° 以上 15° 以下であれば、プローブ3を被接合材に挿入するために必要な荷重を抑えることができる。また、ショルダー5を通じて第1部材6に十分な面圧を加えることができる。なお、角度 θ は 5° 以上 10° 以下であることがより好ましい。

[0040] 本実施形態においては、プローブ3の側面において溝が形成されていても良い。また、プローブ3は、プローブ3の先端面からプローブ3の側面にかけて斜めにカットされた斜面（いわゆる面取り）を備えていても良い。なお、ここで「プローブの先端面」とは、回転軸を延長する方向におけるプローブの先端に位置する円形の面をいう。プローブ3が上記形状を有することによって、摩擦攪拌点接合ツール1の攪拌力をより大きなものとすることができる。

[0041] また、プローブ3は、プローブ3の先端面とプローブ3の側面とが交差する領域に対してR面取りが施されたものであっても良い。これにより、プローブ3の先端は押圧時に欠損しにくくなる。

[0042] （摩擦攪拌点接合ツールの素材）

本実施形態においては、摩擦攪拌点接合ツール1の素材には、たとえば摩擦攪拌点接合ツールまたは摩擦攪拌線接合ツールなどの各種接合ツールの素

材として知られる従来公知のものを特に限定なく使用することができる。摩擦攪拌点接合ツール1の素材の例としては、たとえば、超硬合金（たとえばWC基超硬合金。上記「WC基超硬合金」には、WCとCoまたはNiとを含む超硬合金、および、WCとCoまたはNiとともにTi、TaまたはNb等の炭窒化物等とを含有する超硬合金が含まれる）、サーメット（TiC、TiNまたはTiCN等を主成分とするもの）、高速度鋼、工具鋼、セラミックス（炭化チタン、炭化硅素、窒化硅素、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、サイアロンまたはこれらの混合体など）、立方晶窒化硼素焼結体、ダイヤモンド焼結体、立方晶窒化硼素粒子が分散した硬質材料、または、耐熱合金等を挙げることができる。

[0043] これらの中でも、超硬合金は、比較的安価であり、ツール寿命を長くすることが可能である。よって、摩擦攪拌点接合ツール1の素材として超硬合金を使用することが好ましい。摩擦攪拌点接合ツール1の素材として超硬合金を使用する場合、かかる超硬合金は、組織中において遊離炭素または η 相と呼ばれる異常相を含んでいても良い。

[0044] （コーティング膜）

本実施形態においては、摩擦攪拌点接合ツール1の表面の一部または全体に対してコーティング膜が形成されていてもよい。これにより、摩擦攪拌点接合ツール1の耐酸化性または耐摩耗性を向上させることができる。コーティング膜としては、切削工具または摩擦攪拌点接合ツールのコーティング膜として用いられる従来公知のものを用いることができる。また、コーティング膜は、1層であってもよいし、2層以上が積層されて構成されてもよい。

[0045] （第1部材および第2部材）

本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1は、引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である第1部材6と第2部材7との摩擦攪拌点接合において用いられるものである。たとえば自動車車体には、燃費向上またはCO₂排出量低減を実現するための車体の軽量化と衝突安全性とを両立させるために、より引張強度の高い鋼板が使用されるようになってきている。引張強

度の高い鋼板の継手には、鋼板自体の引張強度が高いことを活かすために、高い引張せん断荷重が要求されている。しかし、引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板を溶融接合（たとえば抵抗スポット溶接等）によって接合しようとする、接合箇所においてスパッタ（溶滴）が発生しやすくなる。そのため、飛散したスパッタが車体に付着して外観不良の原因になる、または、作業環境が悪化するなどの問題が生じる。一方、本実施形態においては、非溶融接合である摩擦攪拌点接合により引張強度の高い鋼板を接合する。そのため、第1部材6および第2部材7の引張強度が270MPa以上370MPa以下であっても、接合箇所におけるスパッタの発生を防止しつつ、引張せん断荷重が高く且つ強度が高い継手を得ることができる。

[0046] 本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1による接合において用いることのできる第1部材6の厚さについては特に限定されるものではない。しかし、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1による接合において用いることのできる第2部材7の厚さについては、次に示すことが言える。第2部材挿入深さがある程度以上の値にしなければ、第2部材挿入深さの制御が難しく、よって、継手の引張せん断荷重のばらつきが大きくなる。そのため、第2部材7の厚さは0.5mm以上であることが好ましい。第1部材6および第2部材7の厚さはともに0.8mm以上1.5mm以下であればより好ましい。

[0047] （第2部材挿入体積Vと第2部材の厚さtとの関係）

本実施形態においては、第2部材7の厚さをt（mm）とし、プローブ3が押圧時に第2部材7側に挿入される体積を第2部材挿入体積V（mm³）とするとき、Vはtとの関係において以下の式（1）を満たす。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0048] なお、本実施形態においては、第2部材挿入体積V（mm³）は、第2部材7の厚さt（mm）との関係において以下の式（2）を満たすことがより好ましい。

$$V \geq 2.03t^2 + 6.01t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (2)$$

。

[0049] ここで「第2部材挿入体積 V 」とは、押圧時に第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブが挿入された状態において、プローブの側面とプローブの先端面とで囲まれた領域であって、プローブの先端面から後述の第2部材挿入深さと等しくなる高さまでの領域が占める体積をいい、図2における V に相当する体積を表す。

[0050] なお、第2部材挿入体積 V は、プローブ先端半径 r とプローブテーパ角 θ と第2部材挿入深さとから計算することができる。ここで、「第2部材挿入深さ」とは、押圧時に第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブが挿入された状態において、第1部材と第2部材との接触面とプローブの先端面とが平行であると仮定した場合における両面間の距離をいい、図2における h に相当する。第2部材挿入深さは、接合後の第2部材残厚を計測し、第2部材の厚さと第2部材残厚との差により求めることができる。ここで、「第2部材残厚」とは、押圧時に、第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブが挿入された状態における、プローブと接触していない方の第2部材の表面からプローブの先端面までの垂直距離をいい、図2における t' に相当する。

[0051] 本実施形態は、第2部材挿入体積 V (mm^3)と第2部材7の厚さ t (mm)とが上記式(1)または上記式(2)を満たすことによって、継手の強度が高くなるものであるが、以下、その理由について説明する。

[0052] 2枚の鋼板を抵抗スポット溶接して接合したときの継手の強度については、JIS Z 3140:1989において、継手が耐えることのできる引張せん断荷重の上限値(以下「継手の引張せん断荷重」とも記す)を基準とした等級が定められている。その中でも、「特に強さを要求される溶接部」と認められるために要する継手の引張せん断荷重の最小値および平均値は、それぞれJIS A級最小値およびJIS A級平均値として規定されている。図3は、引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板を用いて

継手を形成した場合において、JIS Z 3140 : 1989での定義に基づいてJIS A級最小値と認められるために要する継手の引張せん断荷重 F_1 (kN) (以下「引張せん断荷重 F_1 」とも記す) およびJIS Z 3140 : 1989での定義に基づいてJIS A級平均値と認められるために要する継手の引張せん断荷重 F_2 (kN) (以下「引張せん断荷重 F_2 」とも記す) と、被接合材である鋼板のうちの薄い方の鋼板の厚さ t との関係を示す相関図である。

[0053] 図3から、引張せん断荷重 F_1 (kN) および引張せん断荷重 F_2 (kN) と鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t との相関関係について数式を導くため、最小二乗法を用いてそれぞれ二次関数に近似する。

[0054] すると、引張せん断荷重 F_1 (kN) と鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t (mm) との関係について、以下の式(3)が得られる。

$$F_1 = 1.26t^2 + 3.74t - 0.76 \dots (3)$$

[0055] また、引張せん断荷重 F_2 (kN) と鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t (mm) との関係について、以下の式(4)が得られる。

$$F_2 = 1.48t^2 + 4.39t - 0.89 \dots (4)$$

[0056] 上記式(3)から、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1を用いて得られる継手の引張せん断荷重 F (kN) を引張せん断荷重 F_1 (kN) 以上とするためには、 F (kN) と本実施形態において接合される鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t (mm) との関係が以下の式(5)を満たすものとすればよいことになる。

$$F \geq 1.26t^2 + 3.74t - 0.76 \dots (5)$$

[0057] また、上記式(4)から、本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1を用いて得られる継手の引張せん断荷重 F (kN) を引張せん断荷重 F_2 (kN) 以上とするためには、 F (kN) と本実施形態において接合される鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t (mm) との関係が以下の式(6)を満たすものとすればよいことになる。

$$F \geq 1.48t^2 + 4.39t - 0.89 \dots (6)$$

[0058] ここで、本実施形態においては、第2部材の厚さは第1部材の厚さと同じ又は第1部材の厚さより薄いと仮定し、上記式(5)および上記式(6)において、「接合される鋼板のうち薄い方の鋼板の厚さ t 」を「第2部材の厚さ t 」に置き換える。

[0059] 本発明者らは、引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である第1部材と第2部材との摩擦攪拌点接合においてJIS A級最小値またはJIS A級平均値と認められるために要する引張せん断荷重以上の引張せん断荷重を有する継手を得ることができる接合手段としての摩擦攪拌点接合ツールを得るために、プローブ形状またはプローブの寸法を種々に変更して複数種の摩擦攪拌点接合ツールを試作し、試作された摩擦攪拌点接合ツールを用いて種々の引張強度または種々の寸法を有する鋼板に対して接合試験を行なった。その結果、第2部材挿入体積 V が継手の引張せん断荷重を支配する重要な因子であることを見出した。図4は、本発明者らによる実験によって得られた第2部材挿入体積 V と継手の引張せん断荷重 F との関係を示す相関図である。本発明者らは、引張強度が270MPa以上980MPa以下の範囲内にあり厚さが0.6mm以上2.0mm以下の範囲内にある複数種の鋼板を第1部材および第2部材として用い、プローブ形状またはプローブの寸法が互いに異なる摩擦攪拌点接合ツールを用いて第1部材と第2部材とを接合し、第2部材挿入体積 V と継手の引張せん断荷重 F との関係を調べた。その結果を図4に示す。

[0060] 図4より、プローブ形状、プローブの寸法、被接合材(第1部材および第2部材)の引張強度、および、被接合材の寸法等の因子に関わらず、第2部材挿入体積 V (mm^3)と引張せん断荷重 F (kN)とは正の相関関係にあることがわかる。この相関関係を最小二乗法を用いて一次関数に近似することにより、第2部材挿入体積 V (mm^3)と引張せん断荷重 F (kN)との関係について以下の近似式(7)が得られる。なお、図4中の線分は、上記式(7)が表す直線の一部を示したものである。

$$F = 0.73V + 1.84 \dots (7)$$

- [0061] 上記式(5)に上記式(7)を代入して計算することにより、上記式(1) (本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1を用いて得られる継手の引張せん断荷重 F (kN)が引張せん断荷重 F_1 (kN)以上となるときの第2部材挿入体積 V (mm³)と第2部材7の厚さ t (mm) ($t \geq 0.5$ mm)との関係を示す関係式)を得ることができる。
- [0062] よって、摩擦攪拌点接合において第2部材挿入体積 V (mm³)と第2部材の厚さ t (mm)とが上記式(1)を満たすことにより、継手の引張せん断荷重としてJIS A級最小値と認められるために要する引張せん断荷重以上の引張せん断荷重を得ることができる。これにより、接合強度の大きな継手を作製することができる。
- [0063] また、上記式(6)に上記式(7)を代入して計算することにより、上記式(2) (本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1を用いて得られる継手の引張せん断荷重 F (kN)が引張せん断荷重 F_2 (kN)以上となるときの第2部材挿入体積 (mm³)と第2部材7の厚さ t (mm) ($t \geq 0.5$ mm)との関係を示す関係式)を得ることができる。
- [0064] よって、摩擦攪拌点接合において第2部材挿入体積 V (mm³)と第2部材の厚さ t (mm)とが上記式(2)を満たすことにより、継手の引張せん断荷重としてJIS A級平均値と認められるために要する引張せん断荷重以上の引張せん断荷重を得ることができる。これにより、接合強度のより大きな継手を作製することができるため好ましい。
- [0065] (第2部材挿入深さ h と第2部材の厚さ t との比 h/t)
- 本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール1において、プローブ3が第2部材7に挿入される深さ h は、第2部材7の厚さ t との比 h/t が0.25以上0.75以下となることが好ましい。なお、プローブが第2部材に挿入される深さ h を本明細書では「第2部材挿入深さ h 」とも記す。 h/t が0.25よりも小さいと、上記式(1)または上記式(2)を満たすためにはプローブ先端直径 d が大きくなる傾向にあり、その結果、プローブを被接合材に挿入するために必要な荷重が大きくなり過ぎることがある。なお、ここでいう

「プローブ先端直径 d 」とは、プローブ先端面の直径であって、上記プローブ先端半径 r を 2 倍にした値に相当する。また、 h/t が 0.75 よりも大きいと、フッキング高さが大きくなりすぎることがあり、その結果、継手の引張せん断荷重が低くなることがある。なお、ここでいう「フッキング高さ」とは、第 1 部材と第 2 部材との接触面から未接合領域であるフックラインの上端までの垂直方向の距離をいい、図 2 における H に相当する。 h/t を 0.25 以上 0.75 以下とすることによって、プローブ先端直径 d およびフッキング高さ H が大きくなり過ぎることなく上記式 (1) または上記式 (2) が満たされることとなる。なお、 h/t は 0.4 以上 0.75 以下であることがより好ましい。

[0066] <摩擦攪拌点接合ツールの製造方法>

本実施形態の摩擦攪拌点接合ツール 1 としては、以下に示すようにして作製されたものを用いることが好ましい。まず、原料粉末を混合する。原料粉末としては、摩擦攪拌点接合ツールまたは摩擦攪拌線接合ツールなどの各種接合ツールの素材として知られる従来公知のもの（たとえば超硬合金）を特に限定なく用いることができる。次に、混合した原料粉末にエタノールを添加して、アトライターを用いて 4～10 時間程度攪拌する。エタノールを揮発させた後、100 MPa の圧力にて単軸加圧し、1200～1700℃にて 1～3 時間程度焼結する。このようにして得られた焼結体をダイヤモンド砥石などによって研削加工し、摩擦攪拌点接合ツールとする。

[0067] なお、本実施形態においては、摩擦攪拌点接合ツールの表面の一部または全体に対してコーティング膜を作製してもよい。コーティング膜の成膜プロセスとしては、従来公知のいかなる成膜プロセスをも用いることができ、たとえば PVD (physical vapor deposition) (物理蒸着) 法 (たとえば真空アーク蒸着法) または CVD (chemical vapor deposition) (化学蒸着) 法等を用いることができる他、2 以上の従来公知の成膜プロセスを組み合わせてもよい。

[0068] <接合方法>

以下、本実施形態の接合方法について説明する。

[0069] 本実施形態の接合方法は、上記で説明した摩擦攪拌点接合ツール1を用いた接合方法である。具体的には、本実施形態の接合方法は、第1部材6と第2部材7とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツール1を第1部材6側から押圧することにより、第1部材6と第2部材7とを摩擦攪拌点接合する接合方法である。本実施形態の接合方法は、第1部材6と第2部材7とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツール1を第1部材6側から押圧する押圧工程を含む。第1部材6および第2部材7は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。摩擦攪拌点接合ツール1は、回転軸4を中心に回転可能である。摩擦攪拌点接合ツール1は、先端にショルダー5を備える柱状部2と、ショルダー5から回転軸4を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブ3とを備える。押圧工程は、回転軸4を中心に摩擦攪拌点接合ツール1を回転させながら、プローブ3を第1部材6および第2部材7側に挿入させることによって、第1部材6と第2部材7とを接合させる工程である。第2部材7の厚さを t (mm)とし、押圧工程においてプローブ3を第2部材7側に挿入する体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とすると、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0070] 本実施形態の接合方法は、上記押圧工程を含む限り、他の工程を含んでもよい。このような他の工程としては、第1部材6および第2部材7を準備する工程などを挙げることができる。

[0071] (第1部材および第2部材を準備する工程)

本実施形態の接合方法は、第1部材6および第2部材7を準備する工程(以下「準備工程」とも記す)を含むことができる。この準備工程は、押圧工程に用いられる第1部材6および第2部材7を準備する工程であるが、第1部材6と第2部材7との接合箇所を形成する工程を含んでいてもよい。接合箇所の形成方法としては、第1部材6の一部と第2部材7の一部とを重ねて

重ね代を形成し、当該重ね代を接合箇所としてもよい。なお、第1部材6の全体と第2部材7の全体とを重ねて重ね代を形成してもよいし、第1部材6の全体と第2部材7の一部とを重ねて重ね代を形成してもよいし、第1部材6の一部と第2部材7の全体とを重ねて重ね代を形成してもよい。重ね代を接合箇所とする場合には、重ね代の幅はショルダー5の直径以上である必要がある。

[0072] 第1部材6および第2部材7は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板である。

[0073] 本実施形態の接合方法は、非溶融接合である摩擦攪拌点接合による接合方法である。そのため、上記のように引張強度が270MPa以上370MPa以下の第1部材6および第2部材7を接合の対象とする場合においても、接合箇所におけるスパッタの発生を防止しつつ、強度が高い継手を得ることができる。

[0074] (押圧工程)

本実施形態の接合方法は、第1部材6と第2部材7とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツール1を第1部材6側から押圧する工程(押圧工程)を含む。

[0075] 押圧工程は、回転軸4を中心に摩擦攪拌点接合ツール1を回転させながら、第1部材6と第2部材7との接触面8よりもさらに第2部材7側の厚み方向に深くなる深さまでプローブ3を挿入させることによって、第1部材6と第2部材7とを接合させる工程である。この工程により、第1部材6と第2部材7とが接合し、継手が形成される。

[0076] 押圧工程においては、プローブ3を回転させながら被接合材に挿入することにより、摩擦熱が発生する。その摩擦熱によって、接合箇所では、第1部材6と第2部材7とが軟化し塑性流動する。これにより、第1部材6と第2部材7とが接合され、継手が形成される。

[0077] 本実施形態においては、第2部材7の厚さを t (mm)とし、押圧工程においてプローブ3を第2部材7側に挿入させる体積を第2部材挿入体積 V (mm^3)とすると、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす。

$$V \geq 1.73 t^2 + 5.12 t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (1)$$

。

[0078] Vがtとの関係において上記式(1)を満たすように第1部材6と第2部材7との接合箇所に対してプローブ3を挿入し、押圧による接合を行って継手を形成する。これにより、継手の引張せん断荷重を高くすることができ、接合強度を高くすることができる。

[0079] 本実施形態においては、第2部材挿入体積V(mm³)が、第2部材の厚さt(mm)との関係において以下の式(2)を満たすことが好ましい。

$$V \geq 2.03 t^2 + 6.01 t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots (2)$$

。

[0080] これにより、継手の引張せん断荷重をより高くすることができ、接合強度をより高くすることができる。なお、上記式(1)および上記式(2)の説明および導入理由は前述した通りであるので、繰り返しは避ける。

[0081] 本実施形態においては、プローブ3が第2部材7側に挿入される深さをh(mm)とすると、hと第2部材7の厚さt(mm)との比h/tは、0.25以上0.75以下であることが好ましい。これにより、プローブ先端直径dおよびフッキング高さHが大きくなりすぎることなく上記式(1)または上記式(2)が満たされることとなる。なお、比h/tの詳細も前述の通りであるので、繰り返さない。

[0082] 本実施形態にて使用される摩擦攪拌点接合ツール1において、プローブ3は、ショルダー5へとつながる側面を備えることが好ましく、この側面は、回転軸4に対し0°以上15°以下の角度θを有することが好ましい。これにより、摩擦攪拌点接合ツール1の形状を、プローブ3を被接合材に挿入するために必要な荷重を低減可能な形状であってショルダー5を通じて第1部材6に対して十分な面圧を加えることが可能な形状とすることができる。なお、角度θの詳細も前述の通りであるので、繰り返さない。

[0083] 本実施形態にて使用される摩擦攪拌点接合ツール1において、プローブ3は、ショルダー5へとつながる側面を備えることが好ましく、ショルダー5

は、その外縁からプローブ3の上記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有することが好ましい。これにより、押圧時には、プローブ3により押し出された第1部材6および第2部材7がショルダー5からはみ出すことを防止できる。よって、形成される継手の外観が良くなる。また、ショルダー5の外縁が第1部材6を押さえることにより、接合中に摩擦攪拌点接合ツール1がぶれることを防止できる。

[0084] 押圧工程における摩擦攪拌点接合ツール1の回転数（以下「ツール回転数」とも記す）、摩擦攪拌点接合ツール1によって接合箇所に対して加えられる荷重（以下「接合荷重」とも記す）および摩擦攪拌点接合ツール1により押圧された時間（以下「接合時間」とも記す）は、特に制限されるものではなく、プローブ3の形状、プローブ3の寸法、および、接合の対象である第1部材6および第2部材7の各寸法等に応じて適宜決定すればよい。ツール回転数、接合荷重、接合時間のいずれかもしくは全てが小さすぎる場合は、プローブ3が被接合材に対して十分に押し込まれないために高い接合強度を得ることが難しいことがある。一方、ツール回転数、接合荷重、接合時間のいずれかもしくは全てが大きすぎる場合は、接合部の温度が上がり過ぎるために継手の強度が低下することがある。また、摩擦攪拌点接合ツールが破損することがある。

実施例

[0085] 以下、実施例を挙げて本発明をより詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0086] <実施例1>

№. 1-1~1-6において、摩擦攪拌点接合ツールを作製し、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて第1部材と第2部材とを接合することによって当該摩擦攪拌点接合ツールを評価した。

[0087] (柱状部)

№. 1-1~1-6において作製された摩擦攪拌点接合ツールは、いずれも、先端にショルダーを備える柱状部と、ショルダーから回転軸を延長す

る方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備えていた。プローブは、ショルダーへとつながる側面を備えていた。ショルダーは、その外縁からプローブの上記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有しており、ショルダーの直径（すなわち柱状部の直径）は、10mmであった。

[0088] （プローブ）

No. 1-1~1-6において作製された摩擦攪拌点接合ツールのプローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を表1に示す。なお、表1中「プローブ形状」とは、プローブ形状が円柱状であるか円錐台状であるかを示す。No. 1-1~1-6では、プローブ形状を表1に示す形状とし、且つ、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を表1に示す値とすることによって、上記式(1)が満たされた（表1中の欄「式(1)の成立」に「成立する」と示す）。また、No. 1-2~1-4においては、上記式(2)が満たされたが（表1中の欄「式(2)の成立」に「成立する」と示す）、No. 1-1、1-5、1-6においては、上記式(2)が満たされなかった（表1中の欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す）。

[0089] （摩擦攪拌点接合ツールの素材）

No. 1-1~1-6では、摩擦攪拌点接合ツールの素材として超硬合金を用いた。超硬合金は、平均径 $2\mu\text{m}$ のWC結晶粒を焼結して作製されたものであった。超硬合金の組成は、Coが3wt%であり、WCが97wt%であった。

[0090] （摩擦攪拌点接合ツールの製造方法）

No. 1-1~1-6では、摩擦攪拌点接合ツールは、以下のようにして作製した。すなわち、上記WC結晶粒を混合し、さらにエタノールを添加して、アトライターを用いて8時間攪拌した。エタノールを揮発させた後、100MPaの圧力にて単軸加圧し、1500℃にて2時間焼結させた。このようにして得られた焼結体をダイヤモンド砥石などによって研削加工し、摩

擦攪拌点接合ツールを作製した。

[0091] (コーティング膜)

No. 1-1~1-6では、摩擦攪拌点接合ツールの酸化防止および耐摩耗性改善のために、真空アーク蒸着法により、摩擦攪拌点接合ツールの表面全体に、膜厚が4 μm のAl_{0.57}Ti_{0.38}Si_{0.05}N膜(コーティング膜)を形成した。

[0092] (準備工程)

No. 1-1~1-6では、厚さが1.2mmであり引張強度が370MPaである鋼板を第1部材(被接合材)および第2部材(被接合材)として1枚ずつ準備した(表1)。JIS Z 3136:1999の手法に従ってせん断試験による継手の引張せん断荷重の評価を行なうために、第1部材および第2部材の寸法は、ともに、幅を30mmとし、長さを100mmとした。準備した第1部材および第2部材を重ね、30mmの重ね代を形成して接合箇所とした。

[0093] (押圧工程)

回転軸を中心に摩擦攪拌点接合ツールを回転させながら、第1部材と第2部材との接触面よりもさらに第2部材側の厚み方向に深くなる深さまでプローブを挿入させた。これにより、第1部材と第2部材との接合を行った。ツール回転数を1000rpmとし、接合荷重を1000kgfとし、摩擦攪拌点接合ツールの形状に応じて接合時間を1.5s~3.0sの間に調整して、継手を形成した。

[0094] (第2部材挿入体積Vと第2部材の厚さtとの関係)

No. 1-1~1-6の摩擦攪拌点接合ツールを用いて第1部材と第2部材とを接合したときの第2部材残厚t'、第2部材挿入深さh、h/t、および、第2部材挿入体積Vを表1に示す。

[0095] 具体的には、まず、第2部材残厚t'をマイクロメータ(株式会社ミットヨ製の品番「CPM30-25MJ」)にて測定した。この測定結果(第2部材残厚t')と、第2部材の厚さtと、プローブ先端半径rと、プローブ

テーパ角 θ とから、第2部材挿入体積 V を計算した。

[0096] <比較例1>

プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を変更したことにより第2部材挿入体積 V の値が第2部材の厚さ t との関係において上記式(1)と上記式(2)とを満たさなくなったことを除いては(表1中の欄「式(1)の成立」および欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す)No. 1-1~1-6と同様の方法によって、表1のNo. 1-11~1-14に示す摩擦攪拌点接合ツールを作製した。

[0097] また、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて実施例1と同様にして第1部材と第2部材との接合を行った。No. 1-11~1-14における第1部材および第2部材の引張強度、第2部材の厚さ t 、プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ 、プローブ長 l 、第2部材残厚 t' 、第2部材挿入深さ h 、 h/t 、および、第2部材挿入体積 V を表1に示す。

[0098] <実施例2>

プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を変更したこと、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて接合される第1部材および第2部材の厚さを1.5mm、幅を40mm、長さを125mm、重ね代を40mmに変更したこと、および、接合時間を2.0~3.4sの間にて調整したことを除いてはNo. 1-1~1-6と同様の方法によって、表1のNo. 2-1~2-6に示す摩擦攪拌点接合ツールを作製した。作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて実施例1と同様にして第1部材と第2部材との接合を行なった。

[0099] No. 2-1~2-6における第1部材および第2部材の引張強度、第2部材の厚さ t 、プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ 、プローブ長 l 、第2部材残厚 t' 、第2部材挿入深さ h 、 h/t 、および、第2部材挿入体積 V を表1に示す。No. 2-1~2-6では、プローブ形状を表1に示す形状とし、且つ、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ

角 θ およびプローブ長 l を表1に示す値とすることによって、上記式(1)が満たされた(表1中の欄「式(1)の成立」に「成立する」と示す)。また、No. 2-3、2-4においては、上記式(2)が満たされたが(表1中の欄「式(2)の成立」に「成立する」と示す)、No. 2-1、2-2、2-5、2-6においては、上記式(2)が満たされなかった(表1中の欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す)。

[0100] <比較例2>

プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を変更したことにより第2部材挿入体積 V の値が第2部材の厚さ t との関係において上記式(1)と上記式(2)とを満たさなくなったことを除いては(表1中の欄「式(1)の成立」および欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す) No. 2-1~2-6と同様の方法によって、表1のNo. 2-11~2-13に示す摩擦攪拌点接合ツールを作製した。

[0101] また、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて実施例2と同様にして第1部材と第2部材との接合を行った。No. 2-11~2-13における第1部材および第2部材の引張強度、第2部材の厚さ t 、プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ 、プローブ長 l 、第2部材残厚 t' 、第2部材挿入深さ h 、 h/t 、および、第2部材挿入体積 V を表1に示す。

[0102] <実施例3>

プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を変更したこと、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて接合する第1部材および第2部材の厚さを1.0mmに変更したこと、第1部材および第2部材を引張強度270MPaの鋼板に変更したこと、および、接合荷重を800kgfに変更したことを除いてはNo. 1-1~1-6と同様の方法によって、表1のNo. 3-1~3-6に示す摩擦攪拌点接合ツールを作製した。作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて実施例1と同様にして第1部材と第2部材との接合を行なった。

[0103] No. 3-1~3-6における第1部材および第2部材の引張強度、第2部材の厚さ t 、プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ 、プローブ長 l 、第2部材残厚 t' 、第2部材挿入深さ h 、 h/t 、および、第2部材挿入体積 V を表1に示す。No. 3-1~3-6では、プローブ形状を表1に示す形状とし、且つ、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を表1に示す値とすることによって、上記式(1)が満たされた(表1中の欄「式(1)の成立」に「成立する」と示す)。また、No. 3-1~3-4においては、上記式(2)が満たされたが(表1中の欄「式(2)の成立」に「成立する」と示す)、No. 3-5、3-6においては、上記式(2)が満たされなかった(表1中の欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す)。

[0104] <比較例3>

プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ およびプローブ長 l を変更したことにより第2部材挿入体積 V の値が第2部材の厚さ t との関係において上記式(1)と上記式(2)とを満たさなくなったことを除いては(表1中の欄「式(1)の成立」および欄「式(2)の成立」に「成立しない」と示す) No. 3-1~3-6と同様の方法によって、表1のNo. 3-11~3-13に示す摩擦攪拌点接合ツールを作製した。

[0105] また、作製された摩擦攪拌点接合ツールを用いて実施例3と同様にして第1部材と第2部材との接合を行なった。No. 3-11~3-13における第1部材および第2部材の引張強度、第2部材の厚さ t 、プローブ形状、プローブ先端半径 r 、プローブテーパ角 θ 、プローブ長 l 、第2部材残厚 t' 、第2部材挿入深さ h 、 h/t 、および、第2部材挿入体積 V を表1に示す。

[0106]

[表1]

第1部材および第2部材の引張強度(MPa)	第2部材の厚さ t(mm)	プローブ形状	プローブ先端半径 r(mm)	プローブテーパ角 $\theta(^{\circ})$	プローブ長 l(mm)	第2部材残厚 t'(mm)	第2部材挿入深さ h(mm)	h/t	第2部材挿入体積 V(mm ³)	式(1)の成立	式(2)の成立	引張せん断荷重 (kN)	引張せん断荷重につき JIS Z 3140:1989 に基づく等級
No.1-1	370	1.2 円柱状	1.5	0	2.2	0.42	0.78	0.65	5.51	成立する	成立しない	5.6	JIS A 級最小値以上
No.1-2	370	1.2 円柱状	1.8	0	2.0	0.50	0.70	0.58	7.13	成立する	成立する	7.0	JIS A 級平均値以上
No.1-3	370	1.2 円柱状	1.8	0	2.2	0.44	0.76	0.63	7.74	成立する	成立する	7.7	JIS A 級平均値以上
No.1-4	370	1.2 円錐台状	1.7	5	2.2	0.42	0.78	0.65	7.37	成立する	成立する	7.2	JIS A 級平均値以上
No.1-5	370	1.2 円錐台状	1.5	10	2.2	0.43	0.77	0.64	5.95	成立する	成立しない	6.1	JIS A 級最小値以上
No.1-6	370	1.2 円錐台状	1.4	15	2.2	0.41	0.79	0.66	5.64	成立する	成立しない	5.9	JIS A 級最小値以上
No.1-11	370	1.2 円柱状	1.8	0	1.6	0.83	0.37	0.31	3.77	成立しない	成立しない	4.6	JIS A 級最小値未満
No.1-12	370	1.2 円柱状	1.4	0	2.2	0.40	0.80	0.67	4.93	成立しない	成立しない	5.3	JIS A 級最小値未満
No.1-13	370	1.2 円錐台状	1.0	10	2.2	0.36	0.84	0.70	3.05	成立しない	成立しない	4.1	JIS A 級最小値未満
No.1-14	370	1.2 円錐台状	1.3	5	2.2	0.42	0.78	0.65	4.36	成立しない	成立しない	5.0	JIS A 級最小値未満
No.2-1	370	1.5 円柱状	1.6	0	2.8	0.45	1.05	0.70	8.44	成立する	成立しない	8.1	JIS A 級最小値以上
No.2-2	370	1.5 円柱状	1.8	0	2.6	0.61	0.89	0.59	9.06	成立する	成立しない	8.5	JIS A 級最小値以上
No.2-3	370	1.5 円柱状	1.8	0	2.8	0.46	1.04	0.69	10.59	成立する	成立する	9.6	JIS A 級平均値以上
No.2-4	370	1.5 円錐台状	1.7	5	2.8	0.44	1.06	0.71	10.16	成立する	成立する	9.3	JIS A 級平均値以上
No.2-5	370	1.5 円錐台状	1.5	10	2.8	0.43	1.07	0.71	8.55	成立する	成立しない	8.1	JIS A 級最小値以上
No.2-6	370	1.5 円錐台状	1.4	15	2.8	0.41	1.09	0.73	8.21	成立する	成立しない	7.9	JIS A 級最小値以上
No.2-11	370	1.5 円柱状	1.4	0	2.8	0.42	1.08	0.72	6.65	成立しない	成立しない	6.7	JIS A 級最小値未満
No.2-12	370	1.5 円錐台状	1.0	10	2.8	0.44	1.06	0.71	3.99	成立しない	成立しない	4.8	JIS A 級最小値未満
No.2-13	370	1.5 円錐台状	1.3	5	2.8	0.45	1.05	0.70	5.98	成立しない	成立しない	6.2	JIS A 級最小値未満
No.3-1	270	1.0 円柱状	1.6	0	1.8	0.35	0.65	0.65	5.23	成立する	成立する	5.8	JIS A 級平均値以上
No.3-2	270	1.0 円柱状	1.8	0	1.6	0.50	0.50	0.50	5.09	成立する	成立する	5.6	JIS A 級平均値以上
No.3-3	270	1.0 円柱状	1.8	0	1.8	0.42	0.58	0.58	5.90	成立する	成立する	6.1	JIS A 級平均値以上
No.3-4	270	1.0 円錐台状	1.7	5	1.8	0.41	0.59	0.59	5.52	成立する	成立する	5.9	JIS A 級平均値以上
No.3-5	270	1.0 円錐台状	1.4	10	1.8	0.39	0.61	0.61	4.05	成立する	成立しない	4.7	JIS A 級平均値以上
No.3-6	270	1.0 円錐台状	1.3	15	1.8	0.38	0.62	0.62	3.73	成立する	成立しない	4.5	JIS A 級最小値以上
No.3-11	270	1.0 円柱状	1.6	0	1.4	0.66	0.34	0.34	2.73	成立しない	成立しない	3.9	JIS A 級最小値未満
No.3-12	270	1.0 円柱状	1.2	0	1.8	0.33	0.67	0.67	3.03	成立しない	成立しない	4.0	JIS A 級最小値未満
No.3-13	270	1.0 円錐台状	1.1	10	1.8	0.32	0.68	0.68	2.88	成立しない	成立しない	3.9	JIS A 級最小値未満

[0107] <評価方法>

№. 1-1~1-6、2-1~2-6、3-1~3-6、および、№. 1-11~1-14、2-11~2-13、3-11~3-13において、摩擦攪拌点接合ツールを使用して形成された継手について、JIS Z 3136:1999の手法に従ってせん断試験を行い、引張せん断荷重(kN)を評価した。結果を表1に示す。

[0108] <評価結果>

表1より、第2部材挿入体積Vの値が第2部材の厚さtとの関係において上記式(1)を満たさない№. 1-11~1-14、2-11~2-13、および、3-11~3-13では、いずれも継手の引張せん断荷重がJIS A級最小値において要求される引張せん断荷重を下回った(表1中の欄「引張せん断荷重につきJIS Z 3140:1989に基づく等級」に「JIS A級最小値未満」と示す)。一方、上記式(1)を満たす№. 1-1~1-6、2-1~2-6、および、3-1~3-6では、いずれも継手の引張せん断荷重がJIS A級最小値において要求される値以上となった(表1中の欄「引張せん断荷重につきJIS Z 3140:1989に基づく等級」に「JIS A級最小値以上」または「JIS A級平均値以上」と示す)。よって、本実施例の摩擦攪拌点接合ツールによって、継手の引張せん断荷重を高くでき、接合強度の高い継手を形成可能であることが明らかとなった。

[0109] また、第2部材挿入体積Vの値が第2部材の厚さtとの関係において上記式(2)を満たす№. 1-2~1-4、2-3、2-4、および、3-1~3-4では、いずれも継手の引張せん断荷重がJIS A級平均値において要求される値以上となった(表1中の欄「引張せん断荷重につきJIS Z 3140:1989に基づく等級」に「JIS A級平均値以上」と示す)。よって、上記式(2)を満たす摩擦攪拌点接合ツールによって、継手の引張せん断荷重をより一層高くでき、より接合強度の高い継手を形成可能であることが明らかとなった。

[0110] 以上のように本発明の実施の形態および実施例について説明を行なったが、上述の各実施の形態および実施例の構成を適宜組み合わせることも当初から予定している。

[0111] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0112] 1 摩擦攪拌点接合ツール、2 柱状部、3 プローブ、4 回転軸、5 ショルダー、6 第1部材、7 第2部材、8 第1部材と第2部材との接触面。

請求の範囲

[請求項1] 第1部材と第2部材とを重ね合わせて該第1部材側から押圧することにより該第1部材と該第2部材とを摩擦攪拌点接合させる摩擦攪拌点接合ツールであって、

前記第1部材および前記第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板であり、

前記摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能であり、かつ、先端にショルダーを備える柱状部と、前記ショルダーから前記回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備え、

前記第2部材の厚さを t (mm)とし、前記プローブが押圧時に前記第2部材側に挿入される体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とするとき、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす、摩擦攪拌点接合ツール。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \quad \dots \quad (1)$$

[請求項2] 前記第2部材挿入体積 V (mm³)は、前記第2部材の厚さ t (mm)との関係において以下の式(2)を満たす、請求項1に記載の摩擦攪拌点接合ツール。

$$V \geq 2.03t^2 + 6.01t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \quad \dots \quad (2)$$

[請求項3] 前記プローブは、前記ショルダーへとつながる側面を備え、前記側面は、前記回転軸に対し0°以上15°以下の角度 θ を有する、請求項1または請求項2に記載の摩擦攪拌点接合ツール。

[請求項4] 前記プローブが前記第2部材側に挿入される深さを h (mm)とするとき、 h と前記第2部材の厚さ t (mm)との比 h/t は、0.25以上0.75以下である、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の摩擦攪拌点接合ツール。

[請求項5] 前記プローブは、前記ショルダーへとつながる側面を備え、
前記ショルダーは、その外縁から前記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有する、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の摩擦攪拌点接合ツール。

[請求項6] 第1部材と第2部材とを重ね合わせて摩擦攪拌点接合ツールを該第1部材側から押圧することにより該第1部材と該第2部材とを摩擦攪拌点接合する接合方法であって、

前記接合方法は、前記第1部材と前記第2部材とを重ね合わせて前記摩擦攪拌点接合ツールを前記第1部材側から押圧する押圧工程を含み、

前記第1部材および前記第2部材は、それぞれ引張強度が270MPa以上370MPa以下の鋼板であり、

前記摩擦攪拌点接合ツールは、回転軸を中心に回転可能であり、かつ、先端にショルダーを備える柱状部と、前記ショルダーから前記回転軸を延長する方向に突出した円柱状または円錐台状のプローブとを備え、

前記押圧工程は、前記回転軸を中心に前記摩擦攪拌点接合ツールを回転させながら、前記第1部材と前記第2部材との接触面よりもさらに前記第2部材側の厚み方向に深くなる深さまで前記プローブを挿入させることによって、前記第1部材と前記第2部材とを接合させる工程であり、

前記第2部材の厚さを t (mm)とし、前記押圧工程において前記プローブを前記第2部材側に挿入させる体積を第2部材挿入体積 V (mm³)とするとき、 V は t との関係において以下の式(1)を満たす、接合方法。

$$V \geq 1.73t^2 + 5.12t - 3.56 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \dots \dots (1)$$

[請求項7] 前記第2部材挿入体積 V (mm³)は、前記第2部材の厚さ t (m

m) との関係において以下の式 (2) を満たす、請求項 6 に記載の接合方法。

$$V \geq 2.03 t^2 + 6.01 t - 3.74 \quad (t \geq 0.5 \text{ mm}) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

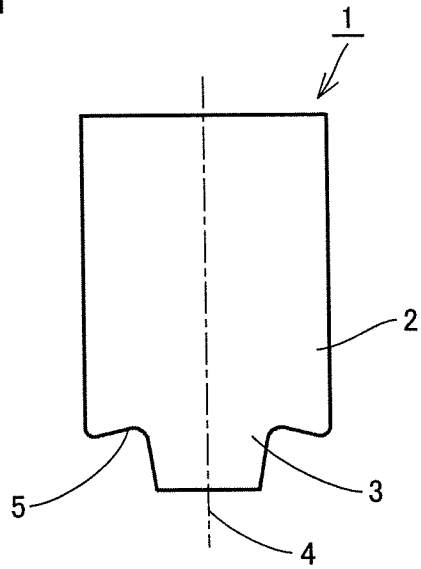
[請求項 8] 前記プローブは、前記ショルダーへとつながる側面を備え、
前記側面は、前記回転軸に対し 0° 以上 15° 以下の角度 θ を有する、請求項 6 または請求項 7 に記載の接合方法。

[請求項 9] 前記プローブが前記第 2 部材側に挿入される深さを h (mm) とするとき、 h と前記第 2 部材の厚さ t (mm) との比 h/t は、 0.25 以上 0.75 以下である、請求項 6 ~ 請求項 8 のいずれか 1 項に記載の接合方法。

[請求項 10] 前記プローブは、前記ショルダーへとつながる側面を備え、
前記ショルダーは、その外縁から前記側面と交わる部位にかけてすり鉢状に凹むような形状を有する、請求項 6 ~ 請求項 9 のいずれか 1 項に記載の接合方法。

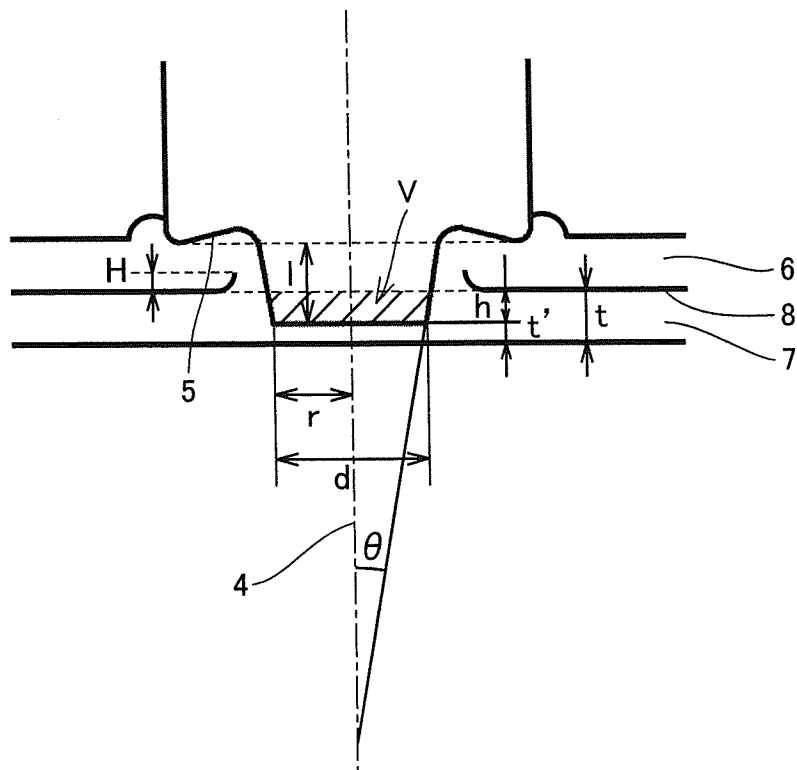
[図1]

FIG.1



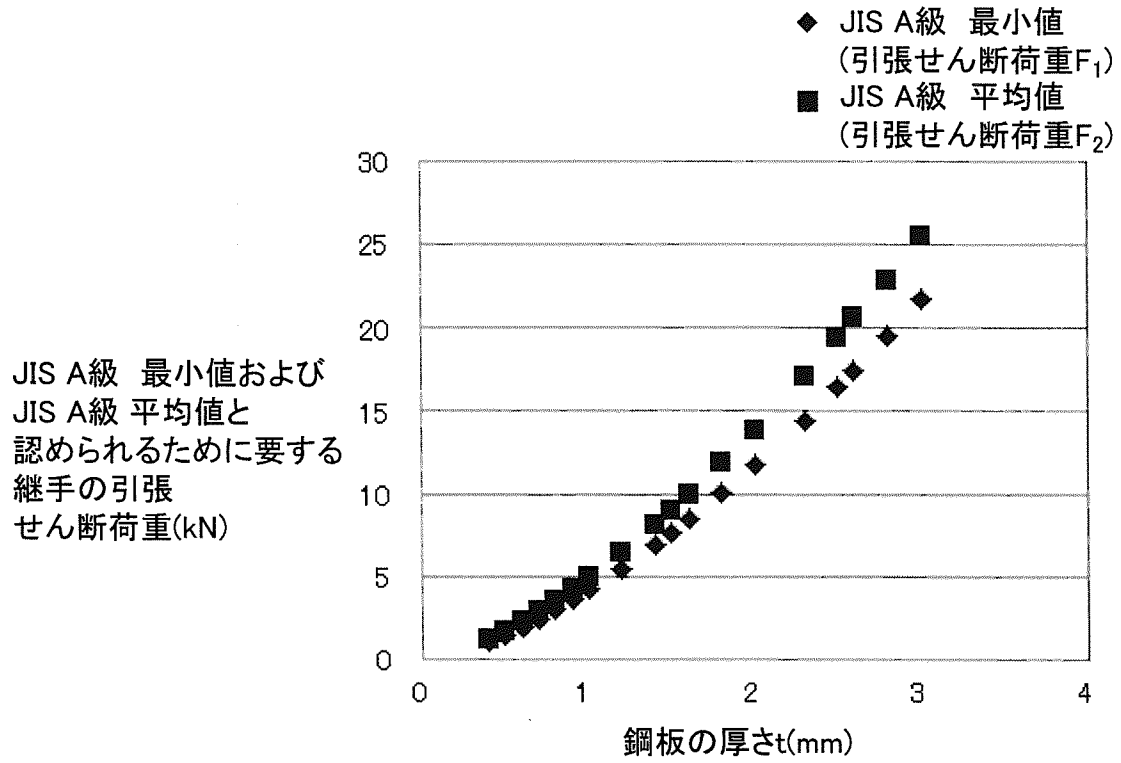
[図2]

FIG.2



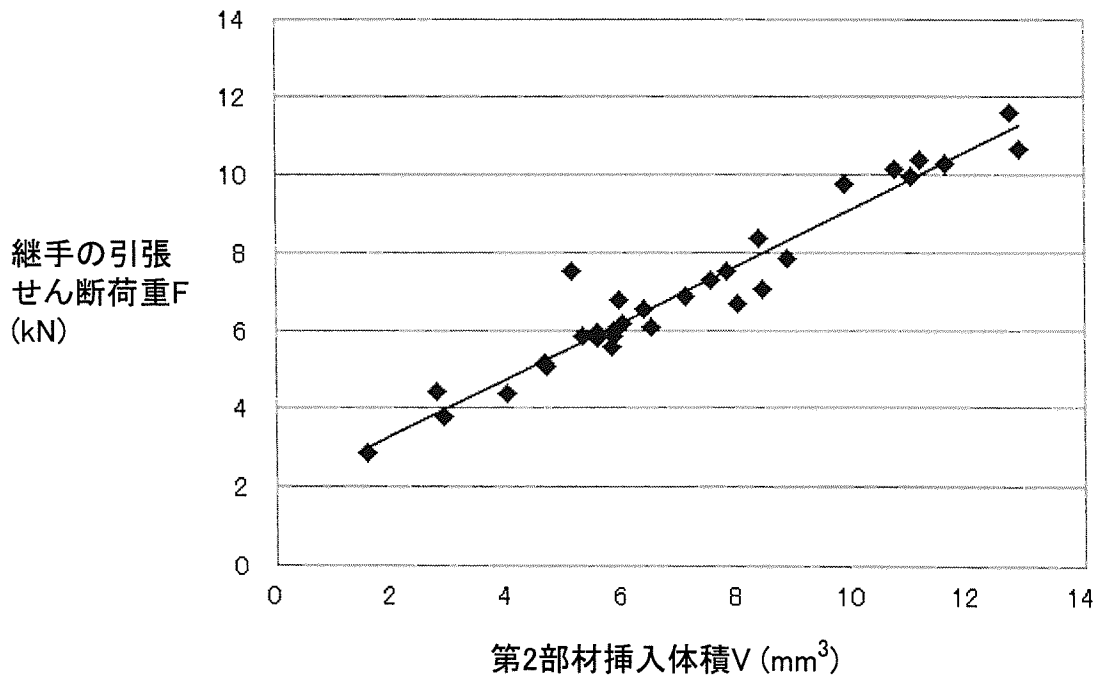
[図3]

FIG.3



[図4]

FIG.4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/066555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
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)
B23K20/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
Y	JP 2013-086175 A (JFE Steel Corp.), 13 May 2013 (13.05.2013), paragraphs [0034] to [0040]; fig. 2 to 3 (Family: none)	1-10
Y	JP 2009-241084 A (Nippon Steel Corp.), 22 October 2009 (22.10.2009), paragraphs [0018] to [0019]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-10
Y	JP 2004-136365 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 13 May 2004 (13.05.2004), paragraphs [0075], [0132], [0147]; fig. 10 (Family: none)	1-10

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 07 September 2015 (07.09.15)	Date of mailing of the international search report 15 September 2015 (15.09.15)
---	--

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/JP2015/066555

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-001441 A (Aisin Keikinzoku Co., Ltd.), 08 January 2003 (08.01.2003), paragraphs [0014], [0020]; fig. 4 (Family: none)	5, 10 1-4, 6-9
Y A	JP 2013-031863 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 February 2013 (14.02.2013), paragraphs [0019] to [0020], [0033] to [0034], [0039], [0047]; fig. 1 to 2 (Family: none)	5, 10 1-4, 6-9
A	US 8052029 B1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC), 08 November 2011 (08.11.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

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 <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>1971-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2015年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2015年	日本国実用新案登録公報	1996-2015年	日本国登録実用新案公報	1994-2015年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2015年									
日本国実用新案登録公報	1996-2015年									
日本国登録実用新案公報	1994-2015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)										
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	JP 2013-086175 A (J F E スチール株式会社) 2013. 05. 13, [0034]-[0040], 図 2-3 (ファミリーなし)	1-10								
Y	JP 2009-241084 A (新日本製鐵株式会社) 2009. 10. 22, [0018]-[0019], 図 1-3 (ファミリーなし)	1-10								
Y	JP 2004-136365 A (川崎重工業株式会社) 2004. 05. 13, [0075], [0132], [0147], 図 10 (ファミリーなし)	1-10								
<input checked="" type="checkbox"/> C 欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 07. 09. 2015	国際調査報告の発送日 15. 09. 2015									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 岩瀬 昌治 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3 P 9246								

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
Y A	JP 2003-001441 A (アイシン軽金属株式会社) 2003. 01. 08, [0014], [0020], 図 4 (ファミリーなし)	5, 10 1-4, 6-9
Y A	JP 2013-031863 A (住友電気工業株式会社) 2013. 02. 14, [0019]-[0020], [0033]-[0034], [0039], [0047], 図 1-2 (ファミリーなし)	5, 10 1-4, 6-9
A	US 8052029 B1 (GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC) 2011. 11. 08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10