

(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
2024年1月18日(18.01.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/014146 A1

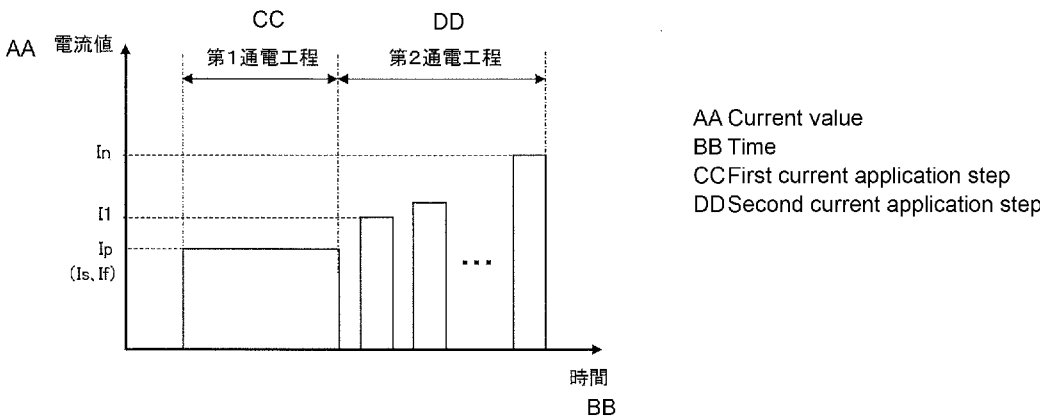
- (51) 国際特許分類:
B23K 11/16 (2006.01) *B23K 11/24* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/019968
- (22) 国際出願日: 2023年5月29日(29.05.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-112894 2022年7月14日(14.07.2022) JP
- (71) 出願人: J F E スチール株式会社(JFE STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 川邊 直雄(KAWABE Nao); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 澤西 央海(SAWANISHI Chikaumi); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). 谷口 公一(TANIGUCHI Koichi); 〒1000011 東京

都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP). ▲高▼島 克利(TAKASHIMA Katsutoshi); 〒1000011 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社知的財産部内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 熊坂 晃, 外(KUMASAKA Akira et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 J F E テクノリサーチ株式会社知的財産事業部内 Tokyo (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, 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, MU, 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,

(54) Title: RESISTANCE SPOT WELDING METHOD

(54) 発明の名称: 抵抗スポット溶接方法



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a resistance spot welding method. The present invention provides a resistance spot welding method for joining two or more steel sheets including at least one zinc-plated steel sheet, the method comprising: a first current application step in which a nugget that has a nugget diameter of $3.0 \sqrt{t}$ mm to $4.5 \sqrt{t}$ mm is formed; and a second current application step that is a multiple-stage step having n stages, each of which is composed of a cooling step for maintaining a current non-application state for not less than 10 ms but less than 160 ms and a current application step for applying a current for not less than 20 ms but less than 200 ms. In addition, the current value of the current application step in each stage of the multiple-stage step satisfies formula (1) and formula (2); and the current value I1 in the first stage is not less than the current value in the first current application step. (1): $I1 \leq I2 \leq \dots \leq In$ (2): $I1 < In$



WO 2024/014146 A1

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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 抵抗スポット溶接方法の提供を目的とする。本発明は、少なくとも1枚の亜鉛系めっき鋼板を含む2枚以上の鋼板を接合する抵抗スポット溶接方法であって、第1通電工程では $3.0\sqrt{t}$ mm以上 $4.5\sqrt{t}$ mm以下のナゲット径となるナゲットを形成し、第2通電工程では、10ms以上160ms未満の間、無通電状態を保持する冷却工程と、20ms以上200ms未満の間、通電する通電工程とからなるn段の多段階の工程とし、さらに、多段階の工程における各段の通電工程の電流値が(1)式および(2)式を満たし、かつ1段目の電流値 I_1 が第1通電工程の電流値以上とする。 $I_1 \leq I_2 \leq \dots \leq I_n \dots$ (1) $I_1 < I_n \dots$ (2)

明 細 書

発明の名称：抵抗スポット溶接方法

技術分野

[0001] 本発明は、抵抗スポット溶接方法に関する。

背景技術

[0002] 一般に、2枚以上の鋼板を重ね合わせた鋼板同士の接合には、重ね抵抗溶接方法の一種である抵抗スポット溶接方法が用いられている。この溶接方法は、図1に示すように、重ね合わせた2枚の鋼板1、2を板組とし、その板組の上下側を一对の電極3、4により挟み、その板組の上下側から一对の電極3、4で加圧しつつ、上下電極間に溶接電流を通电して鋼板同士を接合する方法である。溶接電流を流すことで発生する抵抗発熱を使用して、点状の溶接部5を得る。この点状の溶接部5はナゲットと呼ばれ、重ね合わせた鋼板に溶接電流を流した際に鋼板の接触箇所でも鋼板1、2が溶融し、凝固した部分であり、これにより鋼板同士が点状に接合される。なお、図1には、一例として2枚の鋼板を重ね合わせたものを示している。

[0003] しかしながら、表面処理鋼板を含む複数の鋼板を重ね合わせた板組の抵抗スポット溶接では、溶接部に割れが生じることがあるという問題がある。ここで、表面処理鋼板とは、電気亜鉛めっき、溶融亜鉛めっき（合金化溶融亜鉛めっきを含む）に代表される亜鉛めっきや、亜鉛のほかにアルミニウムやマグネシウムなどの元素を含んだ亜鉛合金めっきなどの金属めっき層を、母材（下地鋼板）の表面上に有する鋼板を言う。亜鉛めっきや亜鉛合金めっきの融点は、母材の融点よりも低いため、以下のような問題がある。

[0004] すなわち、溶接部の割れは、溶接中に鋼板表面の低融点の金属めっき層が溶融し、電極による加圧力や鋼板の熱膨張および収縮による引張応力が溶接部に加わった際に、溶融した低融点の金属が表面処理鋼板の母材の結晶粒界に侵入して粒界強度を低下させ、割れを引き起こす、いわゆる液体金属脆性に起因する割れであると考えられている。

[0005] このような割れは、溶接部に大きな変形が加わる場合に発生しやすく、例えば散りが発生するような条件で溶接した場合に図8のような電極3、4と接する側の鋼板1、2の表面において発生しやすくなる。一方で、継手強度の確保の観点からは、ナゲット径の大きなナゲットを確保することが重要となる。実施工においては、溶接時に、溶接したい領域の近傍に存在する溶接打点への分流や、連続打点による電極の損耗などの施工外乱の影響により、溶接したい領域に十分な電流密度が確保できない場合がある。そのような場合には入熱量が減少するため、所定のナゲット径を確保することが困難となる。上記の入熱量が減少するケースを考慮したうえで溶接時の電流値を大きく設定することで、ナゲット径の大きなナゲットを確保することが可能となる。しかし、その場合には散りの発生に代表されるような、溶接部の大きな変形が発生し、割れ発生リスクが高まる。以上のように、実施工において溶接時の割れの発生を抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定して確保することは難しく、表面処理鋼板の実用上の課題となっている。

[0006] このような課題への対策として、例えば特許文献1～4に記載の技術が挙げられる。特許文献1では、高強度めっき鋼板のスポット溶接において、溶接通電時間および溶接通電後の保持時間を適正に調整することで、割れの発生を抑制する方法が提案されている。

[0007] また、特許文献2では、通電パターンを3段以上の通電とし、適正電流範囲が1.0kA以上、好ましくは2.0kA以上となるように、通電時間、溶接電流などの溶接条件を調整し、各段の間に冷却時間を設ける。これにより、割れの発生を抑制する方法が提案されている。上記の「適正電流範囲」とは、所望のナゲット径以上で、かつ溶融残圧が0.05mm以上であるナゲット径を安定して形成できる電流範囲をいう。

[0008] また、特許文献3では、通電後の保持時間を適正に調整することで、割れの発生を抑制する方法が提案されている。

[0009] また、特許文献4では、本通電でナゲットを形成した後に、ナゲットの成長を伴わない短時間後通電を付与することで継手の十字引張強度を向上する

方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：特開2003-103377号公報
特許文献2：特開2003-236676号公報
特許文献3：特開2017-47476号公報
特許文献4：特開2012-187639号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0011] しかしながら、特許文献1および特許文献2では、施工外乱の影響については検討されておらず、自動車組み立て時の実施工を考慮すると、対策としては不十分な場合があった。
- [0012] また、特許文献3は通電終了後から電極開放までの時間に発生する割れを抑止できる技術であり、通電中に発生する割れについては言及されておらず、このような割れを抑止することは困難な場合があった。
- [0013] また、特許文献4は溶接時の割れについては言及されておらず、本通電で大きなナゲット径を形成する条件では鋼板表面の変形が大きくなり、割れが発生する場合があった。
- [0014] なお、このような表面処理鋼板において溶接時の割れの発生を抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定して確保することが難しいという問題は、自動車用鋼板を抵抗スポット溶接する場合に限らず、その他の鋼板の抵抗スポット溶接においても同様に存在する。
- [0015] 本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであって、表面処理鋼板の溶接時の割れを抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定して確保することが可能な、抵抗スポット溶接方法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

- [0016] 本発明者らは、上記の目的を達成すべく、鋭意検討を重ねた。

[0017] 溶接時の割れは、溶接部に大きな変形が発生した場合に生じやすい。そのため、変形を最小限に抑えつつナゲットを拡大させることができれば、溶接時の割れを抑制し、かつナゲット径の大きなナゲットを安定して確保することができる。また、溶接部の変形の原因の一つに散りがあり、大きな散り（すなわち、飛散する液体金属量の多い散り）を抑制することが、溶接時の割れの抑制に有効であることが分かった。

[0018] 抵抗スポット溶接時の工程を第1通電工程と第2通電工程の2工程に分ける。第1通電工程では、極端な変形が起こらない範囲で通電し、ある程度のナゲット径のナゲットを形成する。この際、変形を抑えるために電流値を調整することから、十分に大きなナゲットが形成されず、例えばナゲット径が小さくなるような外乱が存在する場合には所定のナゲット径となるナゲットを確保できない問題が生じる場合がある。そこで、第2通電工程では、溶接部に大きな変形を発生させないように通電条件を調整してナゲットを拡大させる。これにより、抵抗スポット溶接時の割れの発生を抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定して確保するのである。

[0019] 以下に、第1通電工程および第2通電工程における通電条件について示す。

[0020] 第1通電工程では、後の第2通電工程において大きな変形が発生しないような溶接部を形成することが重要となる。この工程では、電流値や通電パターンを調整することにより入熱を調整し、ナゲットの周囲の圧接部（コロナボンド部）を強固に接合することができる。これにより、後の第2通電工程において散りの規模（すなわち、飛散する溶融金属の量）を小さく抑えることができるため、溶接部の変形が小さくなり、その結果割れの発生を抑えることが可能となる。

[0021] 第2通電工程では、第1通電工程における電流値以上の電流値で通電することでナゲットを拡大させることができるが、長時間の通電を行うと、入熱が過大となり溶接部に大きな変形が発生してしまう。そこで、短時間通電と短時間冷却を繰り返す通電パターンとすることで、ナゲットを段階的に拡大

させつつ、溶接部の変形を抑えることができるため、溶接時の割れの発生を抑制することが可能となる。このような通電パターンにおいては、散りが発生した場合においても、短時間通電によりその規模（すなわち、散りによって飛散する溶融金属の量）を小さく抑えることができる。このため、溶接部の変形が小さくなり、その結果、溶接時の割れの発生を抑えることが可能となる。この際、第2通電工程において繰り返し通電の電流値を徐々に大きくすることで、ナゲットを効果的に拡大する、すなわち散りの規模を抑えながらナゲット径を拡大することができる。

[0022] 本発明は、以上の知見に基づいてなされたものであり、要旨は以下のとおりである。

[1] 少なくとも1枚の亜鉛めっき鋼板を含む2枚以上の鋼板を重ね合わせて抵抗スポット溶接で接合する抵抗スポット溶接方法であって、

前記抵抗スポット溶接は、第1通電工程と第2通電工程とを有し、

前記第1通電工程では、重ね合わせた前記鋼板のうち、最も薄い鋼板の板厚を t (mm) とするとき、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となるナゲットを電流値と通電時間を設定することで形成し、

前記第2通電工程では、

10ms以上160ms未満の間、無通電状態を保持する冷却工程と、20ms以上200ms未満の間、通電する通電工程とからなる n 段 (n は2以上の整数) の多段階の工程とし、

さらに、前記多段階における、1段目の前記通電工程の電流値を I_1 (kA)、 n 段目の前記通電工程の電流値を I_n (kA) とするとき、1段目の電流値 I_1 は前記第1通電工程の電流値以上であり、かつ各段の電流値 $I_1 \sim I_n$ が (1) 式および (2) 式を満たす、抵抗スポット溶接方法。

$$I_1 \leq I_2 \leq \dots \leq I_n \quad \dots (1)$$

$$I_1 < I_n \quad \dots (2)$$

[2] 前記第1通電工程は、通電開始時の電流値を I_s (kA)、通電終了

時の電流値を I_f (kA) とするとき、
前記通電開始時から前記通電終了時までの電流値が一定となるように通電し、
あるいは、前記通電開始時の電流値 I_s および前記通電終了時の電流値 I_f が
(3) 式を満たすように可変に通電する、[1] に記載のスポット溶接方法。

$$I_f > I_s \quad \dots (3)$$

[3] 前記第1通電工程を可変に通電するときには、前記第1通電工程は m 段 (m は2以上の整数) の多段通電であり、

前記多段通電での各段の電流値を $I_1' \sim I_m'$ (kA) とし、かつ、1段目の電流値 I_1' が前記通電開始時の電流値 I_s と同一および m 段目の電流値 I_m' が前記通電終了時の電流値 I_f と同一とすると、前記多段通電での各段の電流値 $I_1' \sim I_m'$ が (4) 式を満たす、[2] に記載の抵抗スポット溶接方法。

$$I_1' < I_2' < I_3' < \dots < I_m' \quad \dots (4)$$

[4] 前記第1通電工程を可変に通電するときには、
前記通電開始時の電流値 I_s から前記通電終了時の電流値 I_f まで、連続的に電流値を増加させるアップスロープ通電である、[2] に記載の抵抗スポット溶接方法。

[5] 前記第1通電工程の終了後に形成されるナゲット径を N_1 (mm)、前記第1通電工程および前記第2通電工程の終了後に形成されるナゲット径を N_2 (mm) とするとき、

($N_2 - N_1$) で表される前記第2通電工程でのナゲット径の拡大量が $0.1\sqrt{t}$ (mm) 以上である、[1] ~ [4] のいずれか1つに記載の抵抗スポット溶接方法。

[6] 前記亜鉛系めっき鋼板は、(5) 式で表される C_{eq} が 0.20% 以上であり、引張強さが 780MPa 以上の高強度鋼板である、[1] ~ [5] のいずれか1つに記載の抵抗スポット溶接方法。

$$C e q (\%) = C + S i / 30 + M n / 20 + 2 P + 4 S \quad \dots (5)$$

ここで、(5) 式中の元素記号は、各元素の含有量(質量%)を示す。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、表面処理鋼板の溶接時の割れ発生を抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定的に形成することができるので、産業上格段の効果奏する。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1]図1は、本発明の抵抗スポット溶接の例を模式的に示す断面図である。
- [図2]図2は、本発明の抵抗スポット溶接方法の通電パターンの第1実施形態を説明する図である。
- [図3]図3は、本発明の抵抗スポット溶接方法の通電パターンの第2実施形態を説明する図である。
- [図4]図4は、本発明の抵抗スポット溶接方法の通電パターンの第3実施形態を説明する図である。
- [図5]図5は、本発明の実施例における抵抗スポット溶接の試験片を示す図であり、上側が平面図、下側が側面図である。
- [図6]図6は、本発明の実施例における抵抗スポット溶接の試験片を示す図であり、上側が平面図、下側が側面図である。
- [図7]図7は、本発明の実施例における抵抗スポット溶接の試験片を示す図であり、上側が平面図、下側が側面図である。
- [図8]図8は、従来の抵抗スポット溶接時の割れの発生例を模式的に示す断面図である。

発明を実施するための形態

- [0025] 以下、各図を参照して、本発明の一実施形態について説明する。なお、本発明はこの実施形態に限定されない。
- [0026] 本発明の抵抗スポット溶接方法は、少なくとも1枚の亜鉛系めっき鋼板を含む2枚以上の鋼板を重ね合わせて板組とし、この板組を1対の溶接電極で挟持した状態で加圧しながら後述の溶接条件で通電する。これにより、抵抗

発熱によって鋼板間にナゲットを形成すると共に、重ね合わせた鋼板を接合するものである。この抵抗スポット溶接方法により、亜鉛系めっき鋼板を含む板組であっても、抵抗スポット溶接時の割れ発生を抑制しつつ、ナゲット径の大きなナゲットを安定的に形成可能な溶接継手を製造できる。

[0027] まず、本発明の抵抗スポット溶接方法における溶接条件について説明する。

[0028] 本発明では、抵抗スポット溶接の工程として、第1通電工程と第2通電工程とを有する。第1通電工程では、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となる溶接部を形成する。第2通電工程では、無通電状態を保持する冷却工程および特定パターンで通電する通電工程からなる多段階の工程を行うことで、第1通電工程で形成したナゲットを拡大する。

[0029] <第1通電工程>

第1通電工程では、重ね合わせた鋼板のうち、最も薄い鋼板の板厚を t (mm) とするとき、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となるナゲットを、少なくとも電流値 I_p (kA) と通電時間 t_p (ms) を設定し、通電することで形成する。この際、散りを発生させることなくナゲットを形成する通電条件とする。電流値 I_p (kA) と通電時間 t_p を設定するための目標ナゲット径は、外乱のない状態で溶接を行った場合のナゲット径を指す。

[0030] 形成するナゲット径が $3.0\sqrt{t}$ (mm) 未満の場合は、第1通電工程において形成されるナゲット径が小さすぎるため、後の第2通電工程においてナゲットを効果的に十分に拡大することが難しくなる。その結果、ナゲット径の大きなナゲットの確保が困難となる。また、形成するナゲット径が $4.5\sqrt{t}$ (mm) を超える場合は、通電による入熱が過大となり溶接部が変形し、割れが発生しやすい。したがって、第1通電工程で形成するナゲット径は、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下とする。

[0031] 第1通電工程で形成するナゲット径は、好ましくは、 $4.0\sqrt{t}$ (mm) ~ $4.5\sqrt{t}$ (mm) の範囲とする。 $4.0\sqrt{t}$ (mm) ~ $4.5\sqrt{t}$ (mm)

m) の範囲であるならば、後の第2通電工程において割れを発生させずにナゲット径を拡大させる効果をより顕著に得ることができる。

[0032] ここで、上記の「t」は鋼板の板厚（mm）を指す。具体的には、板組を構成する重ね合わせた鋼板のうち、最も薄い鋼板の板厚をtとする。例えば、板組を構成する複数の鋼板の板厚がそれぞれ異なる場合には、その中で最も薄い鋼板の板厚をtとし、また、重ね合わせた鋼板の各合わせ面に形成される複数のナゲット径のうち、最小のナゲット径を対象にして、当該最小のナゲット径が $3.0\sqrt{t}$ （mm）以上 $4.5\sqrt{t}$ （mm）以下のナゲット径となるよう第1通電工程の電流値と通電時間を設定する。

[0033] なお、第1通電工程における電流値、通電時間および加圧力は、上記のナゲット径を確保することが可能な溶接条件を適宜選択することができる。例えば、散りを発生させることなく上記のナゲット径となるナゲットを形成する観点から、第1通電工程における抵抗スポット溶接の溶接条件として、電流値 I_p は4～10kA、通電時間 t_p は100～500ms、加圧力は1.5kN～8.0kNの範囲から板組に応じて適宜選択することが好ましい。

[0034] 本発明では、第1通電工程を次の通電パターンに制御してもよい。具体的には、上述の第1通電工程および第2通電工程の溶接条件に加えて、第1通電工程の通電開始時から通電終了時までの電流値が一定となるように通電してもよく、あるいは、第1通電工程の通電開始時から通電終了時までの電流値が後述の（3）式を満たすように可変に通電してもよい。

[0035] ここでは、図2～図4を用いて、第1通電工程の好ましい実施形態として、3種の通電パターンについて説明する。なお、第2通電工程の説明については、後述するので省略する。

[0036] 〔第1の通電パターン〕（好適条件）

図2を参照し、第1の通電パターンとして、第1通電工程の電流値 I_p を一定（すなわち、定電流）とする例を説明する。

図2に示すように、第1通電工程においては、通電開始時の電流値を I_s （kA）、通電終了時の電流値を I_f （kA）とするとき、通電開始時の電流値 I

sおよび通電終了時の電流値 I_f が一定となるように通電することができる。この通電により、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となる溶接部を形成する。上記の「電流値を一定とする」とは、通電開始時から通電終了時までの電流値を変化させず、一定となるよう設定して行う通電を指す。

[0037] [第2および第3の通電パターン] (好適条件)

図3および図4を参照し、第2および第3の通電パターンとして、第1通電工程の電流値 I_p を可変とする例を説明する。

第1通電工程においては、通電開始時の電流値を I_s (kA)、通電終了時の電流値を I_f (kA) とするとき、通電開始時の電流値 I_s および通電終了時の電流値 I_f が(3)式を満たすように可変に通電することができる。この通電により、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となる溶接部を形成する。

$$I_f > I_s \quad \dots (3)$$

[0038] 本発明では、上述のように、第1通電工程において、後の第2通電工程で大きな変形が発生しないような溶接部を形成することが重要である。そのための方法として、第1通電工程の通電時の電流が(3)式を満足するように制御し、可変電流とすることができる。

[0039] 電流が可変となるように制御する方法としては、例えば「多段通電(図3を参照)」や「アップスロープ通電(図4を参照)」が挙げられる。このように電流が増加するように可変に制御することで、第1通電工程においてナゲット周囲の圧接部をより強固に接合することができ、後の第2通電工程において散りの発生を抑制し、また散りが発生した場合においても散りの規模を小さく抑えることができる。これにより、溶接部の変形が小さくなり、その結果、割れの発生を抑えることが可能となる。

[0040] 以下に、具体的な一例について説明する。

[0041] [第2の通電パターン：多段通電]

図3に示すように、第1通電工程を可変に通電するときには、第1通電工

程の通電を m 段 (m は2以上の整数) の多段通電とすることができる。この多段通電での各段の電流値を $I_1' \sim I_m'$ (kA) とし、かつ、1段目の電流値 I_1' (kA) が上記通電開始時の電流値 I_s (kA) と同一および m 段目の電流値 I_m' (kA) が上記通電終了時の電流値 I_f (kA) と同一とするとき、第1通電工程の多段通電での各段の電流値 $I_1' \sim I_m'$ が(4)式を満たすように制御する。

$$I_1' < I_2' < I_3' < \dots < I_m' \quad (4)$$

[0042] m 段の多段通電とするとき、1段目の電流値 I_1' (kA)、2段目の電流値 I_2' (kA)、3段目の電流値 I_3' (kA)、 \dots 、および m 段目(最終段)の電流値 I_m' (kA) が、(4)式を満たさない場合、圧接部への入熱不足となる。その結果、第1通電工程においてナゲット周囲の圧接部を強固に接合することができず、後の第2通電工程において発生する可能性のある散りの規模を小さく抑える効果が得られない。またナゲットを十分に成長させることが難しく、上記した範囲のナゲット径を得られない可能性もある。

[0043] 多段通電とする場合、第1通電工程での通電時間は、各段における通電時間の合計が上記の通電時間 t_p (100~500ms) の範囲内となるように制御することが好ましい。

[0044] 多段を示す「 m 」は2以上の整数とする。施工時の溶接条件の管理が複雑になりすぎることを防ぐ観点では、 m は5以下とすることが好ましい。

[0045] [第3の通電パターン：アップスロープ通電]

図4に示すように、第1通電工程の通電は、上記の通電開始時の電流値 I_s から上記の通電終了時の電流値 I_f まで、連続的に電流値を増加させるアップスロープ通電とすることができる。これにより、第1通電工程においてナゲット周囲の圧接部を強固に接合し、後の第2通電工程において散りの規模を小さく抑えることができる。そのため、溶接部の変形が小さくなり、その結果、割れの発生を抑えることが可能となる。

[0046] <第2通電工程>

上述の第1通電工程の後、第2通電工程を行う。この際、第2通電工程において繰り返し通電の電流値を徐々に大きくすることが重要である。電流値を徐々に大きくすることにより、ナゲットを効果的に拡大することができる。

[0047] 第2通電工程において散りの規模を小さく抑えるためには、繰り返し通電の各段においてナゲットを段階的に拡大することが有効である。繰り返し通電の電流値を一定とした場合には、繰り返しの前半ではナゲット拡大効果が比較的大きく、繰り返しの後半では比較的小さくなる。一方で、繰り返し通電の電流値を徐々に大きくすることで、繰り返し通電の前半後半に関わらず、ナゲットを段階的に大きくする効果を顕著に得ることができる。

[0048] 具体的には、第2通電工程では、10ms以上160ms未満の間、無通電状態を保持する冷却工程と、20ms以上200ms未満の間、通電する通電工程とからなるn段（nは2以上の整数）の多段階の工程とする。さらに、この多段階における、1段目の通電工程の電流値を I_1 （kA）、n段目（最終段）の通電工程の電流値を I_n （kA）とするとき、1段目の電流値 I_1 は第1通電工程の電流値以上であり、かつ、各段の電流値 $I_1 \sim I_n$ が（1）式および（2）式を満たすように調整する。

$$I_1 \leq I_2 \leq I_3 \leq \dots \leq I_n \quad \dots (1)$$

$$I_1 < I_n \quad \dots (2)$$

[0049] ここで、上記の「1段目の電流値 I_1 は第1通電工程の電流値以上」における「第1通電工程の電流値」とは、定電流（図2を参照）の場合には「電流値 I_p 」を指し、可変電流（図3、4を参照）の場合には「通電終了時の電流値 I_f 」を指す。

[0050] [冷却工程]

冷却工程における無通電時間が10ms未満の場合は、十分な冷却効果を得ることができず、溶接部の大きな変形が発生しやすくなるため、割れが発生しやすい。無通電時間が160ms以上の場合には、多段階にすることに効果、すなわち繰り返し通電によるナゲットの拡大効果を十分に得られない

。したがって、各段における冷却工程の無通電時間は、10ms以上160ms未満とする。当該無通電時間は、好ましくは10～120msとする。

[0051] [通電工程]

通電工程における通電時間が20ms未満の場合は、入熱不足によりナゲットの拡大効果を十分に得られない。通電時間が200ms以上の場合は、一度の通電で過大な入熱を加えることにより溶接部の大きな変形が発生しやすく、割れが発生しやすい。したがって、各段における通電工程の通電時間は、20ms以上200ms未満とする。

[0052] 本発明では、上述のように第2通電工程でナゲットを拡大する。溶接部の変形を抑えつつ、ナゲット径を安定的に拡大する効果をより顕著に得たい場合には、第2通電工程の各段における、冷却工程の無通電時間を10～80ms、通電工程の通電時間を20～100msとすることが好ましい。冷却工程の無通電時間は、より好ましくは10ms以上80ms未満であり、さらに好ましくは10～60msであり、さらに一層好ましくは10～20msである。

[0053] なお、通電工程における電流値が(1)式かつ(2)式を満たさない場合は、ナゲットを効果的に拡大する効果が得られない。

[0054] また本発明では、第2通電工程における各段の通電工程の電流値は、(1)式に加えて、次の条件を満たすことが好ましい。
具体的には、段数： k 段目の通電での電流値を I_k (kA)、段数： $(k+1)$ 段目の通電での電流値を $I_{(k+1)}$ (kA)としたとき、 $I_{(k+1)} \leq 1.3 \times I_k$ とすることが好ましい。ここで、 k は、1以上 $n-1$ 以下の整数とする。この範囲であれば、急激な入熱の上昇を抑制することができ、大きな散りの発生による溶接部の変形をより抑制しやすい。

[0055] 第2通電工程における多段階に行う工程の数(段数)は、2段以上10段以下とすることが好ましい。段数が10段を超える場合には、ナゲットの拡大効果が飽和するため大きな効果を得られにくく、溶接工程全体の総時間が長くなる。そのため、施工効率の観点では、段数は10段以下が好ましい。

[0056] <ナゲット径の拡大量> (好適条件)

本発明で径の大きなナゲットを確保する観点からは、第1通電工程終了後に形成されるナゲット径を $N1$ (mm)、第1通電工程および第2通電工程終了後に形成されるナゲット径を $N2$ (mm) とするとき、第2通電工程でのナゲット径の拡大量である $(N2 - N1)$ の値は $0.1\sqrt{t}$ (mm) 以上であることが好ましい。 $(N2 - N1)$ の値は、より好ましくは $0.3\sqrt{t}$ (mm) 以上であり、さらに好ましくは $0.5\sqrt{t}$ (mm) 以上である。

[0057] また、第2通電工程でのナゲット径の拡大が極端に大きい場合は、入熱過多により溶接部の変形が大きくなり、割れが発生する可能性があるため、上記拡大量は $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以下とすることが好ましい。 $(N2 - N1)$ の値は、より好ましくは $2.5\sqrt{t}$ (mm) 以下であり、さらに好ましくは $2.0\sqrt{t}$ (mm) 以下である。

[0058] <鋼板>

本発明は、板組の上側および下側に配置される各溶接電極（上電極、下電極）と接する板組の両面、もしくは片面のいずれか一方が、金属めっき層を有する表面処理鋼板である板組の抵抗スポット溶接方法に適用される。ここで、上記の「各溶接電極と接する板組の両面」とは、上電極および下電極と接する、複数の鋼板で構成される板組のうち最も外側に配置される2枚の鋼板を指す。また、上記の「各溶接電極と接する板組の片面のいずれか一方」とは、上電極あるいは下電極と接する、複数の鋼板で構成される板組のうち最も外側に配置される2枚の鋼板のいずれか一方の鋼板を指す。なお、金属めっき層の融点は、表面処理鋼板の母材の融点よりも低いものを対象とすることが好ましい。

[0059] 上述のように、表面処理鋼板とは、電気亜鉛めっき、溶融亜鉛めっき（合金化溶融亜鉛めっきを含む）に代表される亜鉛めっきや、亜鉛のほかにアルミニウムやマグネシウムなどの元素を含んだ亜鉛合金めっきなどの金属めっき層を、母材（下地鋼板）の表面上に有する鋼板を言う。ここでは、このような表面処理鋼板を「亜鉛系めっき鋼板」と称する。したがって、本発明で

は、上記の板組を構成する複数の鋼板のうち、少なくとも1枚が亜鉛系めっき鋼板とする。

[0060] 上述の亜鉛系めっき鋼板は、以下に示す(5)式で表される炭素当量(Ceq)(%)が0.20%以上であり、引張強さが780MPa以上の高強度鋼板(高強度亜鉛系めっき鋼板)であることが好ましい。

$$Ceq(\%) = C + Si / 30 + Mn / 20 + 2P + 4S \quad \dots (5)$$

ここで、(5)式中の元素記号は、各元素の含有量(質量%)を示し、元素が含有されていない場合は0とする。

[0061] 高強度鋼板は割れに対する感受性が高く、溶接時の割れ発生が問題になりやすいため、炭素当量が0.20%以上の場合に、本発明の効果をより一層発揮することができる。

[0062] 炭素当量の上限は特に規定しない。炭素当量の極端に高い、すなわち割れに対する感受性が極端に高い鋼板は、本発明の通電パターンを適用しても割れ抑止効果を十分に得られない場合がある。このことから、炭素当量(Ceq)は、0.60%以下とすることが好ましく、0.50%以下とすることがより好ましい。

[0063] 例えば、少なくとも1枚の亜鉛系めっき鋼板を含む3枚以上の鋼板を重ね合わせた板組を用いる場合には、板組の上側および下側に配置される溶接電極(上電極および下電極)のいずれかに接している亜鉛系めっき鋼板のうち、いずれか1枚で炭素当量が0.20%以上であればよい。

[0064] なお、本発明で用いる高強度亜鉛系めっき鋼板の成分組成は、上述の炭素当量(Ceq)の範囲および引張強さを得られるように適宜調整すればよい。

[0065] 本発明において、抵抗スポット溶接する鋼板の板厚は、特に限定されない。例えば0.5mm以上3.0mm以下の範囲内であることが好ましい。板厚がこの範囲内である鋼板は、自動車用部材として好適に使用することができる。

[0066] 抵抗スポット溶接する2枚以上の鋼板は、同種および同形状の鋼板であつ

てもよいし、異種や異形状の鋼板であってもよい。また、金属めっき層を有する表面処理鋼板と金属めっき層を有さない鋼板とを重ね合わせてもよい。

[0067] 一例として、図1には、2枚の鋼板を重ね合わせた板組を本発明の抵抗スポット溶接方法で接合している状態を示す。図1に示すように、1対の溶接電極、すなわち板組の下側に配置される溶接電極4（下電極）および板組の上側に配置される溶接電極3（上電極）で、重ね合わせた鋼板（下鋼板2と上鋼板1）を挟持して、加圧しながら上述の溶接条件で通電する。重ね合わせる鋼板の枚数は、4枚以下とすることが好ましい。

[0068] なお、本発明の抵抗スポット溶接方法を実施する装置や溶接電極として、次のものを用いることができる。

[0069] 本発明の抵抗スポット溶接方法を実施する装置は、下電極と上電極によって加圧し、且つその加圧力を制御する構成であればよく、この構成は特に限定されない。例えば、エアシリンダやサーボモータ等の機器が使用できる。また、通電の際に電流を供給し、且つ電流値を制御する構成も特に限定されず、直流、交流のいずれにも本発明を適用できる。交流の場合は、「電流」は「実効電流」を意味する。

[0070] また、下電極や上電極の先端の形式も特に限定されない。例えば、J I S C 9304 : 1999に記載されるD R形（ドームラジラス形）、R形（ラジラス形）、D形（ドーム形）等が挙げられる。各電極の先端径は、例えば4 mm～16 mmである。曲率半径は例えば10 mm～400 mmであり、先端が平坦なF l a t型電極とすることもできる。

[0071] 以上の説明では、2枚の鋼板を重ね合わせて抵抗スポット溶接する場合について主に述べた。本発明は3枚以上の鋼板を重ね合わせて抵抗スポット溶接する場合についても、同様に適用可能であり、同様に上述の効果を得ることができる。

実施例

[0072] 以下、本発明の作用および効果について、実施例を用いて説明する。なお、本発明は以下の実施例に限定されない。

- [0073] 本実施例では、少なくとも1枚の亜鉛めっき鋼板を含む2枚の鋼板を使用し、該鋼板を重ね合わせて板組とした（表1を参照）。ここでは、上鋼板および下鋼板として、上述の（5）式で表される炭素当量（ C_{eq} ）、引張強さ、および鋼板の板厚が表1に示す条件の合金化溶融亜鉛めっき（GA）鋼板および冷延鋼板を用いた。板組に対して表2-1～表4-2に示す条件で抵抗スポット溶接を行い、溶接継手を作製した。
- [0074] 表2-1は、第1通電工程を一定の電流値で通電し、かつ、第2通電工程を冷却工程および通電工程からなる多段階の工程で通電する場合の溶接条件である。表3-1は、第1通電工程を可変の電流値で通電（多段通電）し、かつ、第2通電工程を冷却工程および通電工程からなる多段階の工程で通電する場合の溶接条件である。表4-1は、第1通電工程を可変の電流値で通電（アップスロープ通電）し、かつ、第2通電工程を冷却工程および通電工程からなる多段階の工程で通電する場合の溶接条件である。
- [0075] なお、表2-1、表3-1および表4-1に示す「第2通電工程」は、冷却工程と通電工程からなる n 段（ n は2以上の整数）の多段階の工程である。また、表3-1に示す「第1通電工程」の多段通電では、「1段目の電流値 I_1' （kA）」とは「通電開始時の電流値 I_s （kA）」を指しており、「最終段（ m 段目）の電流値 I_m' （kA）」とは「通電終了時の電流値 I_f （kA）」を指している。すなわち、 $m=3$ の多段通電とする場合、最終段となる3段目の電流値が通電終了時の電流値となる。
- [0076] 抵抗スポット溶接は常温で行い、溶接電極（下電極、上電極）を常に水冷した状態で行った。下電極と上電極は、いずれも先端の直径（先端径）が6mm、曲率半径が40mmとし、クロム銅製のDR形電極とした。また、上電極をサーボモータで駆動することによって加圧力を制御し、通電の際には直流電源を供給した。
- [0077] 溶接継手は、1つの溶接条件につき「外乱なし」、「板隙あり」、「既打点あり」の3つの外乱条件で作製し、得られた各溶接継手を用いてナゲット径および割れ（LME割れ）の発生有無を観察した。

- [0078] ここで、図5～図7を参照して、上記の3つの外乱条件で溶接継手を作製する場合について説明する。各図には抵抗スポット溶接の鋼板を重ね合わせた状態の試験体を示しており、上側の図がその平面図であり、下側の図がその側面図である。
- [0079] 外乱条件が「外乱なし」の溶接継手については、次のように作製した。図5に示すように、上記の鋼板から作製した30mm×100mm（短辺×長辺）の大きさの鋼板（上鋼板1、下鋼板2）を2枚準備し、該鋼板を重ね合わせて試験体とし、試験体中央の溶接部6を表2-1、表3-1および表4-1に示す条件で溶接して溶接継手を作製した。得られた溶接継手の溶接部6を用いて、ナゲット径および割れの発生有無を観察した。
- [0080] 外乱条件が「板隙あり」の溶接継手については、次のように作製した。図6に示すように、上記の鋼板から作製した30mm×100mm（短辺×長辺）の大きさの鋼板（上鋼板1、下鋼板2）を2枚準備し、該鋼板の2枚の間で該鋼板の両端部分に、厚さが1.6mmで30mm×25mm（長辺×短辺）の大きさのスペーサ7、8を挟み込んで試験体とした。試験体中央の溶接部6を表2-1、表3-1および表4-1に示す条件で溶接して溶接継手を作製した。得られた溶接継手の溶接部6を用いて、ナゲット径および割れの発生有無を観察した。
- [0081] 外乱条件が「既打点あり」の試験体については、次のように作製した。図7に示すように、上記の鋼板から作製した30mm×100mm（短辺×長辺）の大きさの鋼板（上鋼板1、下鋼板2）を2枚準備し、該鋼板を重ね合わせて試験体とした。試験体中央から長手方向に20mm離れた位置にそれぞれナゲット径5mmとなる既溶接点9、10を配置し、その後、試験体中央の溶接部6を表2-1、表3-1および表4-1に示す条件で溶接して溶接継手を作製した。得られた溶接継手の溶接部6を用いて、ナゲット径および割れの発生有無を観察した。
- [0082] ナゲット径、上記拡大量および割れの発生有無の評価と判定は、以下の通り行った。

[0083] [ナゲット径および上記拡大量の評価]

第1 通電工程後のナゲット径 (N 1) については、各外乱条件における試験で、第1 通電工程のみの溶接試験を事前に実施し、断面観察を行うことでナゲット径を測定した。

ここでは、溶接部を切断した断面をエッチング後、光学顕微鏡により観察し、鋼板間におけるナゲット径を測定した。得られた測定値を、表2-2、表3-2および表4-2中の「第1 通電工程後のナゲット径N 1」欄に示した。

[0084] 第2 通電工程後のナゲット径 (N 2) については、上記の3つの外乱条件で溶接試験を実施して得られた各溶接継手を用い、上述と同様の方法で測定した。得られた測定値を、表2-2、表3-2および表4-2中の「第2 通電工程後のナゲット径N 2」欄にそれぞれ示した。

[0085] また、第2 通電工程でのナゲット径の拡大量を示す (N 2 - N 1) で算出される値を、表2-2、表3-2および表4-2中の「N 2 - N 1」欄に示した。

[0086] [割れの評価]

割れ (LME 割れ) の評価は、上記の3つの外乱条件で溶接試験を実施して得られた各溶接継手を用いて行った。溶接部断面を光学顕微鏡で観察した結果、溶接部表面に200 μ m以上の割れが観察された場合に、「割れあり」と評価した。一方、200 μ m以上の割れが観察されなかった場合に、「割れなし」と評価した。「割れあり」と評価された場合には表2-2、表3-2および表4-2中に「あり」と示し、「割れなし」と評価された場合には表2-2、表3-2および表4-2中に「なし」と示した。

[0087] [判定]

判定については、上記の3つの外乱条件の全てで、溶接後のナゲット径 (N 2) が $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以上、かつ割れが発生しなかったものを「○ (合格)」と評価した。一方、それ以外のものを「× (不合格)」と評価した。評価結果を表2-2、表3-2および表4-2に示した。

[0088] なお、表 2 - 1 および表 2 - 2 に示す試番 1 1 では、上述のように、板組 C に対して第 1 通電工程の溶接条件がナゲットを大きく作りすぎる条件であったために、第 1 通電工程後のナゲット径 (N 1) が所定範囲を外れるものもあった。

[0089]

[表1]

板組	上鋼板				下鋼板				中間の鋼板			
	引張強さ (MPa)	鋼板	炭素当量 Ceq (%)	板厚 (mm)	引張強さ (MPa)	鋼板	炭素当量 Ceq (%)	板厚 (mm)	引張強さ (MPa)	鋼板	炭素当量 Ceq (%)	板厚 (mm)
A	1470	GA	0.40	1.4	1470	GA	0.40	1.4	—	—	—	—
B	780	GA	0.30	1.4	1180	冷延鋼板	0.35	1.6	—	—	—	—
C	1800	GA	0.50	1.2	780	GA	0.22	1.8	—	—	—	—
D	590	GA	0.19	1.4	590	GA	0.19	1.4	590	GA	0.19	1.4
E	590	冷延鋼板	0.19	1.0	980	GA	0.40	1.4	1470	GA	0.40	1.4

[0090]

[表2-1]

試番	板組	加圧力 (kN)	第1通電工程			第2通電工程 *2												(1)式 *1	段数 n	(2)式 $l1 < l_n$ *1
			電流値 I_p (kA)	通電 時間 t_p (ms)	通電 条件	1段目		2段目		3段目		通電工程	冷却工程	通電工程	冷却工程	通電工程	冷却工程			
						冷却 時間 (ms)	電流値 $I1$ (kA)	通電 時間 (ms)	冷却 時間 (ms)	電流値 $I2$ (kA)	通電 時間 (ms)									
1	A	4.0	6.5	150	一定	20	8.5	40	20	9.0	40	40	20	9.5	40	40	3	○		
a	A	4.0	6.5	150	一定	70	8.5	80	70	9.0	80	80	-	-	-	-	2	○		
b	A	4.0	6.5	150	一定	90	8.5	80	70	9.0	80	80	-	-	-	-	2	○		
2	A	4.0	5.0	200	一定	20	8.5	40	20	9.0	40	40	20	9.5	40	40	3	○		
3	A	4.0	6.5	150	一定	40	8.5	60	20	9.0	40	40	-	-	-	-	2	○		
4	A	4.0	6.5	200	一定	20	8.5	40	20	8.0	40	40	-	-	-	-	2	×		
5	A	4.0	8.0	200	一定	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	A	4.0	7.0	200	一定	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	B	2.5	7.5	200	一定	20	9.0	40	20	9.5	40	40	20	9.5	40	40	3	○		
8	B	2.5	7.5	200	一定	180	9.0	40	180	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
c	B	2.5	7.5	200	一定	140	8.0	160	20	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
d	B	2.5	7.5	200	一定	180	8.0	160	20	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
9	B	2.5	7.5	200	一定	60	9.0	220	60	9.0	220	220	-	-	-	-	2	×		
10	C	5.0	7.0	200	一定	60	9.0	100	20	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
11	C	5.0	8.0	200	一定	60	9.0	100	20	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
12	D	3.0	6.5	200	一定	20	7.5	40	20	8.0	40	40	20	8.5	40	40	3	○		
13	E	5.0	7.0	300	一定	20	7.0	40	20	8.0	40	40	20	9.0	40	40	3	○		
e	E	5.0	8.0	300	一定	100	9.0	180	20	9.5	40	40	-	-	-	-	2	○		
f	E	5.0	8.0	300	一定	100	9.0	220	20	9.0	40	40	-	-	-	-	2	×		
14	E	5.0	7.0	300	一定	20	8.0	40	20	8.0	40	40	20	8.0	40	40	3	×		
15	E	5.0	7.0	300	一定	20	9.0	40	20	9.0	40	40	20	9.0	40	40	3	×		

*1. 記号「○」は各式に合致することを示し、記号「×」は各式に合致しないことを示す。
 *2. 第2通電工程の多段階での通電は、「1段目の電流値」をI1とし、「n段目の電流値」をInとする。

[0091]

[表2-2]

試番	外乱なし *3				板隙あり *3				既打点あり *3				判定	備考
	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)		
1	4.3	5.1	なし	0.8	4.4	5.2	なし	0.8	4.1	4.9	なし	0.8	○	本発明例
a	4.3	5.1	なし	0.8	4.4	5.1	なし	0.7	4.1	5.0	なし	0.9	○	本発明例
b	4.3	4.7	なし	0.4	4.4	4.8	なし	0.4	4.1	4.5	なし	0.4	○	本発明例
2	3.3	5.0	なし	1.7	3.4	5.1	なし	1.7	3.0	4.9	なし	1.9	○	本発明例
3	4.3	5.0	なし	0.7	4.4	5.1	なし	0.7	4.1	4.8	なし	0.7	○	本発明例
4	4.3	4.7	なし	0.4	4.4	4.8	なし	0.4	4.1	4.4↓	なし	0.3	×	比較例
5	5.0	5.0	なし	0.0	5.2	5.2	あり	0.0	4.8	4.8	なし	0.0	×	比較例
6	4.6	4.6	なし	0.0	4.8	4.8	なし	0.0	4.2	4.2↓	なし	0.0	×	比較例
7	4.4	5.0	なし	0.6	4.5	5.1	なし	0.6	4.2	5.0	なし	0.8	○	本発明例
8	4.4	4.4↓	なし	0.0	4.5	4.6	なし	0.1	4.2	4.2↓	なし	0.0	×	比較例
c	4.4	4.8	なし	0.4	4.5	4.9	なし	0.4	4.2	4.6	なし	0.4	○	本発明例
d	4.4	4.6	なし	0.2	4.5	4.7	なし	0.2	4.2	4.4↓	なし	0.2	×	比較例
9	4.4	5.2	あり	0.8	4.5	5.2	あり	0.7	4.2	5.2	あり	1.0	×	比較例
10	4.3	5.0	なし	0.7	4.5	5.1	なし	0.6	4.0	4.9	なし	0.9	○	本発明例
11	4.8	5.1	なし	0.3	5.0	5.2	あり	0.2	4.5	5.0	なし	0.5	×	比較例
12	4.2	5.0	なし	0.8	4.3	5.1	なし	0.8	4.0	4.9	なし	0.9	○	本発明例
13	3.5	4.8	なし	1.3	3.5	5.0	なし	1.5	3.3	4.7	なし	1.4	○	本発明例
e	4.2	4.8	なし	0.6	4.3	5.0	なし	0.7	4.0	4.7	なし	0.7	○	本発明例
f	4.2	4.9	なし	0.7	4.3	5.0	あり	0.7	4.0	4.8	なし	0.8	×	比較例
14	3.5	4.7	なし	1.2	3.5	4.8	なし	1.3	3.9	4.4↓	なし	0.5	×	比較例
15	3.5	5.0	なし	1.5	3.5	5.2	あり	1.7	3.9	4.7	なし	0.8	×	比較例

*3. 「↓」は、溶接後に得られるナゲット径が、4.5√t(mm)未満であることを示す。

[0092]

[表3-1]

試験 板組	加圧 力 (kN)	第1通電工程 *3										第2通電工程 *2													
		1段目			2段目			3段目			1段目			2段目			3段目			(1)式 *1	段数 n	(2)式 $I1 < I_n$ *1			
		電流値 $I1'$ (kA)	通電 時間 (ms)	電流値 $I2'$ (kA)	通電 時間 (ms)	電流値 $I3'$ (kA)	通電 時間 (ms)	段数 m	(4)式 $I1 > I3$ *1	(3)式 $I1 > I3$ *1	通電 条件	冷却 時間 (ms)	電流値 $I1$ (kA)	通電 時間 (ms)	冷却 時間 (ms)	電流値 $I2$ (kA)	通電 時間 (ms)	冷却 時間 (ms)	電流値 $I3$ (kA)				通電 時間 (ms)		
																								電流値 $I1$ (kA)	通電 時間 (ms)
1	A	4.0	3.0	4.0	40	5.0	40	7.0	40	3	○	○	可変	20	9.0	40	20	9.3	40	20	9.5	40	○	3	○
g	A	4.0	3.0	4.0	40	5.0	40	7.0	40	3	○	○	可変	140	7.5	180	20	9.3	40	-	-	-	○	2	○
h	A	4.0	3.0	4.0	40	5.0	40	7.0	40	3	○	○	可変	140	7.5	240	20	9.3	40	-	-	-	○	2	○
2	A	4.0	3.0	4.0	40	2.0	40	1.0	40	3	×	×	可変	20	9.0	40	20	9.3	40	20	9.5	40	○	3	○
3	A	4.0	5.0	60	60	7.0	60	-	-	2	○	○	可変	20	9.0	60	20	9.0	60	20	9.5	40	○	3	○
4	B	2.5	5.0	60	60	7.5	100	-	-	2	○	○	可変	20	9.0	40	20	9.3	40	20	9.5	40	○	3	○
5	C	6.0	4.0	140	140	5.5	140	7.0	140	3	○	○	可変	40	8.0	60	20	10.0	40	20	10.5	40	○	3	○
6	A	4.0	3.0	4.0	40	5.0	40	7.0	40	3	○	○	可変	20	8.5	40	20	8.5	40	20	8.0	40	×	3	×

*1. 記号「○」は各式に合致することを示し、記号「×」は各式に合致しないことを示す。

*2. 第2通電工程の多段階での通電は、「1段目の電流値」をI1とし、「n段目の電流値」をInとする。

*3. 第1通電工程の多段階通電では、「通電開始時の電流値Is」とは1段目の電流値(I1')を指し、「通電終了時の電流値(Im)を指す。

[表3-2]

試番	外乱なし *4				板隙あり *4				既打点あり *4				判定	備考
	第1通電 工程後の ナゲット径 N1 (\sqrt{t} 比)	第2通電 工程後の ナゲット径 N2 (\sqrt{t} 比)	LME 割れ	N2-N1 (\sqrt{t} 比)	第1通電 工程後の ナゲット径 N1 (\sqrt{t} 比)	第2通電 工程後の ナゲット径 N2 (\sqrt{t} 比)	LME 割れ	N2-N1 (\sqrt{t} 比)	第1通電 工程後の ナゲット径 N1 (\sqrt{t} 比)	第2通電 工程後の ナゲット径 N2 (\sqrt{t} 比)	LME 割れ	N2-N1 (\sqrt{t} 比)		
1	4.3	5.0	なし	0.7	4.4	5.1	なし	0.7	4.1	4.9	なし	0.8	○	本発明例
g	4.3	4.7	なし	0.4	4.4	4.8	なし	0.4	4.1	4.6	なし	0.5	○	本発明例
h	4.3	4.9	なし	0.6	4.4	4.9	あり	0.5	4.1	4.8	なし	0.7	×	比較例
2	2.5	4.3↓	なし	1.8	2.8	4.5	なし	1.7	2.0	4.1↓	なし	2.1	×	比較例
3	4.4	5.0	なし	0.6	4.5	5.1	なし	0.6	4.0	4.8	なし	0.8	○	本発明例
4	4.4	5.0	なし	0.6	4.5	5.1	なし	0.6	4.1	4.9	なし	0.8	○	本発明例
5	4.0	5.0	なし	1.0	4.0	5.1	なし	1.1	3.7	4.9	なし	1.2	○	本発明例
6	4.3	4.6	なし	0.3	4.4	4.7	なし	0.3	4.0	4.3↓	なし	0.3	×	比較例

*4. 「↓」は、溶接後に得られるナゲット径が、 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 未満であることを示す。

[0094]

[表4-1]

試験 板組	加圧 力 (kN)	第1通電工程				第2通電工程 *2													
		アップスロープ 開始電流 I_s (kA)	アップスロープ 終了電流 I_f (kA)	通電 時間 (ms)	(3)式 $I_f > I_s$ *1	1段目		2段目		3段目		(1)式 *1	段数 n	(2)式 $I_1 < I_n$ *1					
						冷却工程		通電工程		冷却工程					通電工程				
						冷却 時間 (ms)	電流値 I_1 (kA)	通電 時間 (ms)	冷却 時間 (ms)	電流値 I_2 (kA)	通電 時間 (ms)				冷却 時間 (ms)	電流値 I_3 (kA)	通電 時間 (ms)		
1	A	4.0	3.0	7.0	120	○	可変	20	9.0	40	20	9.5	40	20	9.5	40	○	3	○
2	A	4.0	5.0	3.0	120	×	可変	20	9.0	40	20	9.3	40	20	9.5	40	○	3	○
3	C	6.0	4.0	7.5	460	○	可変	20	9.0	60	20	10.0	40	20	10.0	40	○	3	○
4	A	4.0	3.0	7.0	120	○	可変	20	8.0	40	20	7.5	40	20	7.0	40	×	3	×

*1. 記号「○」は各式に合致することを示し、記号「×」は各式に合致しないことを示す。

*2. 第2通電工程の多段階での通電は、「1段目の電流値」を I_1 とし、「 n 段目の電流値」を I_n とする。

[表4-2]

試番	外乱なし *3				板隙あり *3				既打点あり *3				判定	備考
	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)	第1通電工程後のナゲット径 N1 (√t比)	第2通電工程後のナゲット径 N2 (√t比)	LME 割れ	N2-N1 (√t比)		
1	4.3	5.0	なし	0.7	4.4	5.1	なし	0.7	4.1	4.8	なし	0.7	○	本発明例
2	2.8	4.2↓	なし	1.4	2.9	4.3↓	なし	1.4	2.6	4.1↓	なし	1.5	×	比較例
3	4.2	5.0	なし	0.8	4.3	5.1	なし	0.8	4.0	4.9	なし	0.9	○	本発明例
4	4.3	4.6	なし	0.3	4.4	4.7	なし	0.3	4.1	4.3↓	なし	0.2	×	比較例

*3. 「↓」は、溶接後に得られるナゲット径が、 $4.5\sqrt{t}$ (mm)未満であることを示す。

[0096] 表2-1～表4-2から明らかなように、本発明例では外乱の条件に関わらず、割れがなく、かつナゲット径が目標径を確保された良好な溶接継手を得られた。これに対して、比較例では良好な溶接継手を得られなかった。

符号の説明

[0097] 1 上鋼板

- 2 下鋼板
- 3 上電極
- 4 下電極
- 5 ナゲット
- 6 溶接部
- 7、8 スペーサ
- 9、10 既溶接点

請求の範囲

[請求項1] 少なくとも1枚の亜鉛系めっき鋼板を含む2枚以上の鋼板を重ね合わせて抵抗スポット溶接で接合する抵抗スポット溶接方法であって、前記抵抗スポット溶接は、第1通電工程と第2通電工程とを有し、前記第1通電工程では、重ね合わせた前記鋼板のうち、最も薄い鋼板の板厚を t (mm) とするとき、 $3.0\sqrt{t}$ (mm) 以上 $4.5\sqrt{t}$ (mm) 以下のナゲット径となるナゲットを電流値と通電時間を設定することで形成し、

前記第2通電工程では、

10ms以上160ms未満の間、無通電状態を保持する冷却工程と、20ms以上200ms未満の間、通電する通電工程とからなる n 段 (n は2以上の整数) の多段階の工程とし、

さらに、前記多段階における、1段目の前記通電工程の電流値を I_1

(kA)、 n 段目の前記通電工程の電流値を I_n (kA) とするとき

、1段目の電流値 I_1 は前記第1通電工程の電流値以上であり、かつ各段の電流値 $I_1 \sim I_n$ が (1) 式および (2) 式を満たす、抵抗スポット溶接方法。

$$I_1 \leq I_2 \leq \dots \leq I_n \quad \dots (1)$$

$$I_1 < I_n \quad \dots (2)$$

[請求項2] 前記第1通電工程は、通電開始時の電流値を I_s (kA)、通電終了時の電流値を I_f (kA) とするとき、前記通電開始時から前記通電終了時までの電流値が一定となるように通電し、

あるいは、前記通電開始時の電流値 I_s および前記通電終了時の電流値 I_f が (3) 式を満たすように可変に通電する、請求項1に記載のスポット溶接方法。

$$I_f > I_s \quad \dots (3)$$

[請求項3] 前記第1通電工程を可変に通電するときには、前記第1通電工程は

m段（mは2以上の整数）の多段通電であり、

前記多段通電での各段の電流値を $I_1' \sim I_m'$ （kA）とし、かつ、1段目の電流値 I_1' が前記通電開始時の電流値 I_s と同一およびm段目の電流値 I_m' が前記通電終了時の電流値 I_f と同一とするとき、前記多段通電での各段の電流値 $I_1' \sim I_m'$ が（4）式を満たす、請求項2に記載の抵抗スポット溶接方法。

$$I_1' < I_2' < I_3' < \dots < I_m' \quad \dots (4)$$

[請求項4]

前記第1通電工程を可変に通電するときには、前記通電開始時の電流値 I_s から前記通電終了時の電流値 I_f まで、連続的に電流値を増加させるアップスロープ通電である、請求項2に記載の抵抗スポット溶接方法。

[請求項5]

前記第1通電工程の終了後に形成されるナゲット径を N_1 （mm）、前記第1通電工程および前記第2通電工程の終了後に形成されるナゲット径を N_2 （mm）とするとき、
 $(N_2 - N_1)$ で表される前記第2通電工程でのナゲット径の拡大量が $0.1\sqrt{t}$ （mm）以上である、請求項1～4のいずれか1項に記載の抵抗スポット溶接方法。

[請求項6]

前記亜鉛系めっき鋼板は、（5）式で表される Ceq が0.20%以上であり、引張強さが780MPa以上の高強度鋼板である、請求項1～4のいずれか1項に記載の抵抗スポット溶接方法。

$$Ceq (\%) = C + Si / 30 + Mn / 20 + 2P + 4S \quad \dots (5)$$

ここで、（5）式中の元素記号は、各元素の含有量（質量%）を示す。

[請求項7]

前記亜鉛系めっき鋼板は、（5）式で表される Ceq が0.20%以上であり、引張強さが780MPa以上の高強度鋼板である、請求項5に記載の抵抗スポット溶接方法。

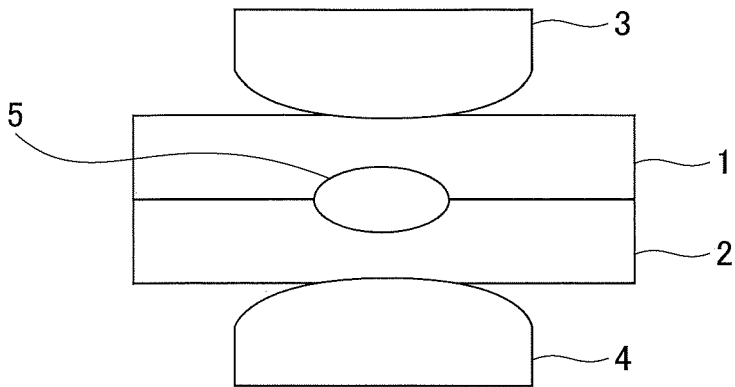
$$Ceq (\%) = C + Si / 30 + Mn / 20 + 2P + 4S \quad \dots (5)$$

)

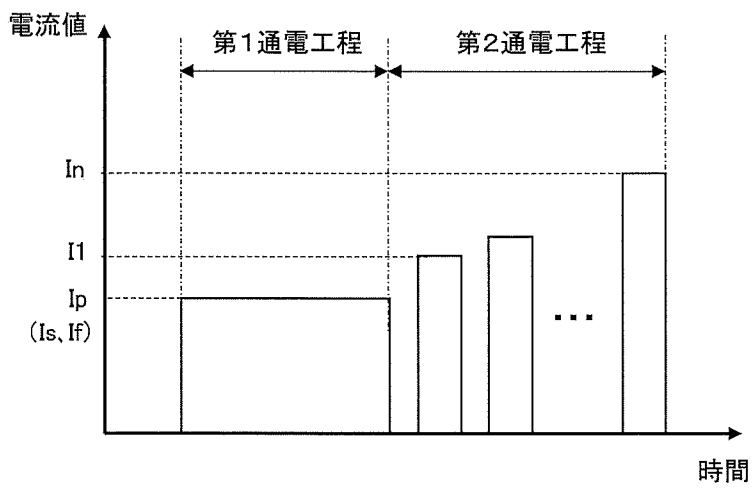
ここで、(5) 式中の元素記号は、各元素の含有量 (質量%) を示す

。

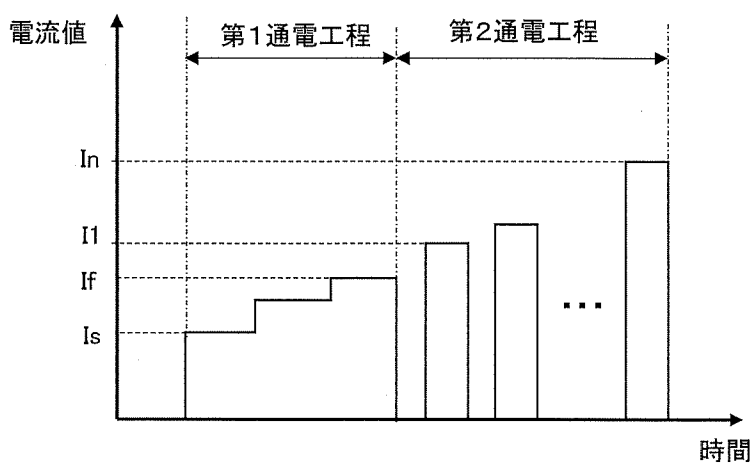
[図1]



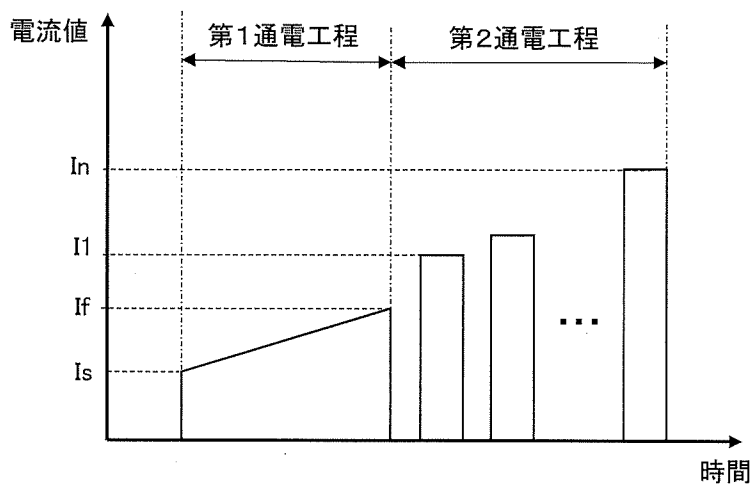
[図2]



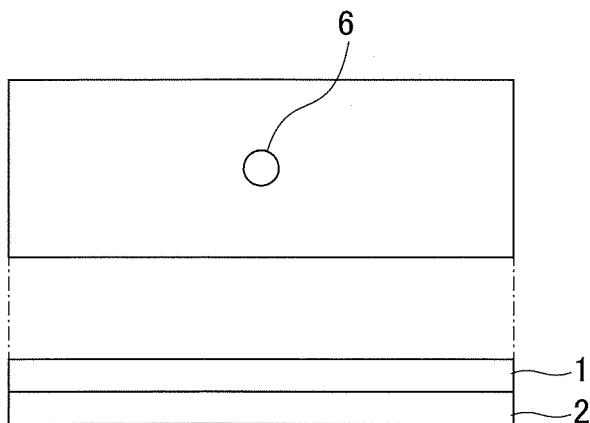
[図3]



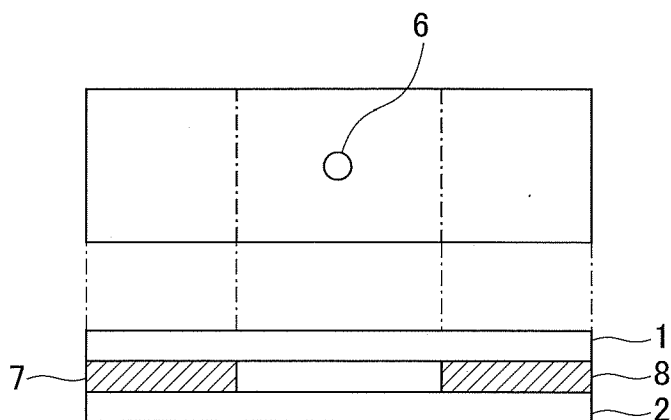
[図4]



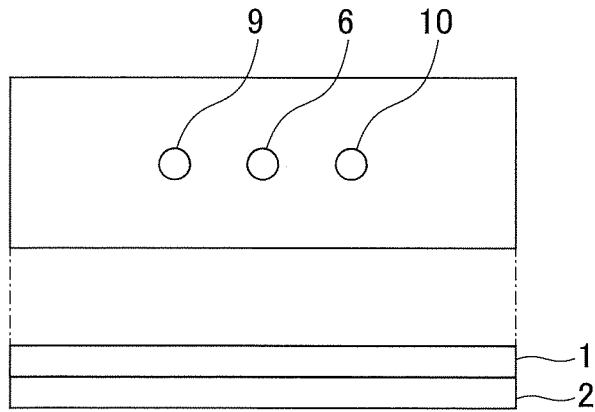
[図5]



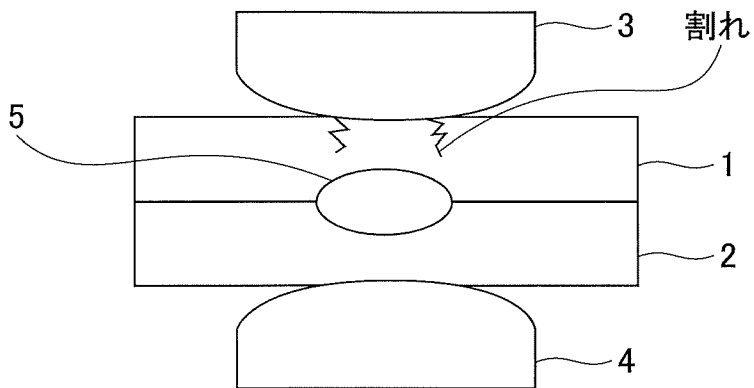
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/019968

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K 11/16</i> (2006.01)i; <i>B23K 11/24</i> (2006.01)i FI: B23K11/16 311; B23K11/24 315 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) B23K11/16; B23K11/24		
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 2010-207909 A (SUMITOMO METAL IND LTD) 24 September 2010 (2010-09-24) paragraphs [0041]-[0064], [0075]-[0081], fig. 8, 10	1
Y		6
A		2-5, 7
Y	JP 2017-047475 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP) 09 March 2017 (2017-03-09) paragraph [0077]	6
A	WO 2019/124464 A1 (NIPPON STEEL CORP) 27 June 2019 (2019-06-27) entire text, all drawings	1-7
<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 05 July 2023		Date of mailing of the international search report 18 July 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/JP2023/019968

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2010-207909	A 24 September 2010	(Family: none)	
JP 2017-047475	A 09 March 2017	US 2018/0243853 A1 paragraph [0121] EP 3345711 A1 KR 10-2018-0034561 A CN 108025387 A	
WO 2019/124464	A1 27 June 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 11/16(2006.01)i; B23K 11/24(2006.01)i FI: B23K11/16 311; B23K11/24 315		
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）） B23K11/16; B23K11/24 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 1971-2023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		
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
X Y A	JP 2010-207909 A (住友金属工業株式会社) 24.09.2010 (2010-09-24) [0041]-[0064], [0075]-[0081], 図8, 10	1 6 2-5, 7
Y	JP 2017-047475 A (新日鐵住金株式会社) 09.03.2017 (2017-03-09) [0077]	6
A	WO 2019/124464 A1 (日本製鉄株式会社) 27.06.2019 (2019-06-27) 全文, 全図	1-7
<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。		
* 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 “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	
05.07.2023	18.07.2023	
名称及びあて先 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	権限のある職員（特許庁審査官） 柏原 郁昭 3P 3113 電話番号 03-3581-1101 内線 3363	

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/JP2023/019968

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2010-207909 A	24.09.2010	(ファミリーなし)	
JP 2017-047475 A	09.03.2017	US 2018/0243853 A1 [0121] EP 3345711 A1 KR 10-2018-0034561 A CN 108025387 A	
WO 2019/124464 A1	27.06.2019	(ファミリーなし)	