(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
2025年5月22日(22.05.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/105479 A1

(51) 国際特許分類:
B23K 11/24 (2006.01) *B23K 11/16* (2006.01)
B23K 11/11 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/040670

(22) 国際出願日： 2024年11月15日(15.11.2024)

(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 2023-195627 2023年11月17日(17.11.2023) JP

(71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (**NIPPON STEEL CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 (JP).

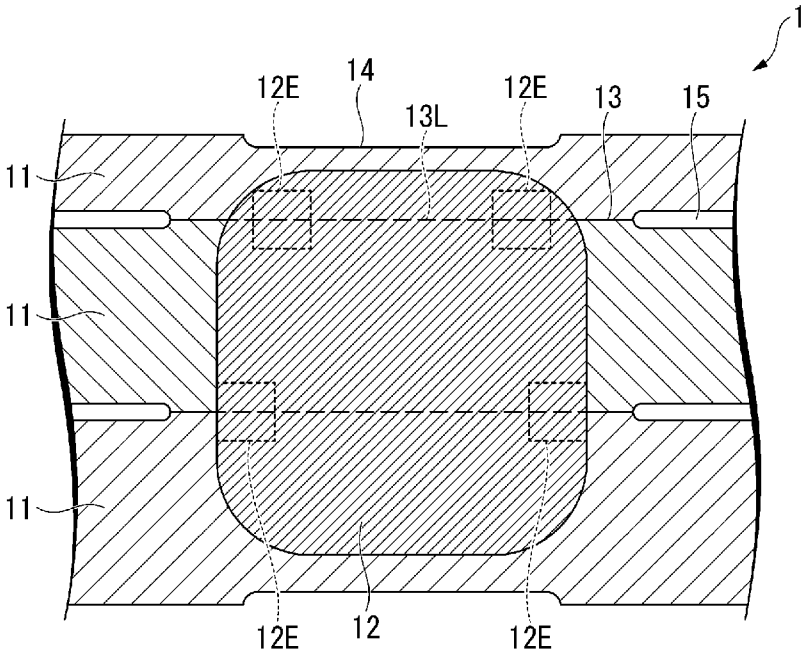
(72) 発明者: 谷口 大河 (**TANIGUCHI Taiga**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 (JP). 古迫 誠司 (**FURUSAKO Seiji**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 (JP). 児玉 真二 (**KODAMA Shinji**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 (JP).

(74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (**MATSUNUMA Yasushi** et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 (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:** SPOT-WELDED JOINT AND METHOD FOR MANUFACTURING SPOT-WELDED JOINT

(54) 発明の名称： スポット溶接継手、及びスポット溶接継手の製造方法



(57) **Abstract:** A spot-welded joint according to one aspect of the present disclosure is provided with two or more overlapped steel plates and a nugget joining the steel plates. The metal structure at both ends of the nugget in a virtual line along the joint interface of the steel plates as measured in a cross section of the nugget contains 5-40 area% of fresh martensite, and 95 area% or more of the balance is one or both of tempered martensite and bainite. Preferably, the metal structure at both ends of the nugget contains at least 2 area% of bainite.

WO 2025/105479 A1

[続葉有]

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))

(57) 要約:本開示の一態様に係るスポット溶接継手は、重ねられた２枚以上の鋼板と、鋼板を接合するナゲットと、を備えるスポット溶接継手であって、ナゲットの断面において測定される、鋼板の接合界面に沿った仮想線におけるナゲットの両端部の金属組織が、５～４０面積%のフレッシュマルテンサイトを含み、残部の９５面積%以上が焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの一方又は両方である。好ましくは、ナゲットの両端部の金属組織が、２面積%以上のベイナイトを含む。

明　細　書

発明の名称 ：

スポット溶接継手、及びスポット溶接継手の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、スポット溶接継手、及びスポット溶接継手の製造方法に関する。

本願は、２０２３年１１月１７日に、日本に出願された特願２０２３－１９５６２７号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 抵抗溶接は、溶接継手部に大電流を流し、ここに発生する抵抗熱によって加熱し、圧力を加えて行う溶接である。抵抗溶接は短時間で実行可能であるので、様々な機械部品の製造のために用いられている。

[0003] 抵抗溶接によって形成された溶接部には、後熱電流が流される場合もある。後熱電流とは、抵抗溶接において、溶接を行った後、溶接部に対して焼戻し、焼なまし、及び偏析緩和等の熱処理を行う目的で流す電流のことである。後熱電流の通電は、後通電とも称される。

[0004] 後通電が利用される材料の例として、高強度鋼板が挙げられる。高強度鋼板は、機械部品の軽量化及び安全性を高めるために、様々な技術分野に適用されている。しかしながら高強度鋼板には、抵抗溶接部が脆化しやすいという課題がある。通常の鋼板から構成される溶接継手においては、鋼板の強度が高いほど、十字引張強さ（ＣＴＳ）が高くなる。しかし、高強度鋼板から構成される溶接継手においては、鋼板の強度が高いほど、ＣＴＳが低くなる現象が見られる。

[0005] 抵抗溶接によって形成された溶接部の特性を向上させるために、これまで種々の技術が検討されている。例えば特許文献１には、２枚以上の鋼板を重ね合わせた板組を一対の溶接電極で挟持し、加圧しながら通電して接合するスポット溶接方法であって、板組のうち少なくとも１枚の鋼板は高強度鋼板

であり、電流値I_W（ｋＡ）で通電する主通電工程と、焼戻し後熱処理工程とを有し、焼戻し後熱処理工程は、冷却時間t_{ct}（ｍｓ）を設ける冷却過程と、式（２）に示す電流値I_t（ｋＡ）で、通電時間t_t（ｍｓ）の間、通電を行う昇温過程と、ダウンスロープ通電時間t_{tma}（ｍｓ）の間、通電電流を電流値I_t（ｋＡ）から電流値I_{tm}（ｋＡ）へ連続的に減少させる遷移過程および／または電流値I_{tm}（ｋＡ）で、通電時間t_{tm}（ｍｓ）の間、溶接部の通電を行う保持過程と、を有するスポット溶接継手の製造方法が開示されている。

$$0.8\times I_w \leqq I_t \leqq 1.6\times I_w \cdots (2)$$

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第６９５８７６５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] スポット溶接の利点の一つは、溶接に要する時間が短いことである。しかしながら、後通電を行うと、溶接に要する時間が長くなる。溶接点数が多い部品の製造にあたっては、可能な限り溶接時間を短くすることが求められる。

[0008] 特許文献１に記載の技術は、ナゲットの脆化を軽減し、継手強度を向上させることを課題としている。しかしながら特許文献１において、溶接時間の短縮は課題とされておらず、また、これを達成するための手段も開示されていない。

[0009] 本開示は、短時間で実施可能なスポット溶接継手の製造方法、および短時間で製造可能なスポット溶接継手を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示の要旨は以下の通りである。

[0011] （１）本発明の一態様に係るスポット溶接継手は、重ねられた２枚以上の鋼

板と、前記鋼板を接合するナゲットｋｊｍｍ、トと、を備えるスポット溶接継手であって、前記ナゲットの断面において測定される、前記鋼板の接合界面に沿った仮想線における前記ナゲットの両端部の金属組織が、５～４０面積％のフレッシュマルテンサイトを含み、残部の９５面積％以上が焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの一方又は両方である。

（２）好ましくは、上記（１）に記載のスポット溶接継手では、１枚以上の前記鋼板が、炭素量０．２０質量％以上の高炭素鋼板である。

（３）好ましくは、上記（１）又は（２）に記載のスポット溶接継手では、下記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘから、前記ナゲットの断面において測定される、前記鋼板の接合界面に沿った仮想線における前記ナゲットの両端部のビッカース硬さを引いた値が、ＨＶ５０以上である。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

ここで、前記式に含まれる元素記号は、複数の前記鋼板の化学成分の、板厚を重みとした加重平均における、前記元素記号に対応する元素の含有量である。

（４）好ましくは、上記（１）～（３）の何れか一項に記載のスポット溶接継手では、前記ナゲットの前記両端部の前記金属組織が、２面積％以上の前記ベイナイトを含む。

[0012] （５）本発明の別の態様に係るスポット溶接継手の製造方法は、スポット溶接の本通電、冷却、及び後通電を模擬しており、且つ前記冷却の終了温度及び前記後通電における昇温速度を相違させた複数回の再現熱サイクル試験を、試験鋼板に行う工程と、前記再現熱サイクル試験の後に、前記試験鋼板の硬さを測定する工程と、前記再現熱サイクル試験における前記冷却の前記終了温度及び前記後通電の前記昇温速度、並びに前記再現熱サイクル試験の後の前記試験鋼板の前記硬さの相関を特定する工程と、前記試験鋼板の前記硬さを目標値以下とし、且つ前記冷却及び前記後通電に要する合計時間を最短

とする、前記終了温度及び前記昇温速度の組み合わせを特定する工程と、重ねられた２枚以上の鋼板である板組に、スポット溶接用の一対の電極を用いて本通電をする工程と、一対の前記電極を用いて前記板組を加圧したまま電流を小さくすることにより、前記板組を冷却する工程と、前記本通電及び前記冷却によって前記板組に形成されたナゲットに、一対の前記電極を用いて後通電をする工程と、を備え、前記鋼板の板厚を重みとした、前記鋼板の炭素量の加重平均と、前記試験鋼板の炭素量とを略同一とし、前記ナゲットの温度が、前記再現熱サイクル試験によって特定された前記終了温度を下回ったと推定される時点以降に、前記冷却を終了し、前記後通電における昇温速度を、前記再現熱サイクル試験によって特定された前記昇温速度以下とする。

（６）好ましくは、上記（５）に記載のスポット溶接継手の製造方法では、前記目標値を、下記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘ－ＨＶ１５０以下の値とする。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

ここで、前記式に含まれる元素記号は、前記試験鋼板の化学成分の、板厚を重みとした加重平均における、前記元素記号に対応する元素の含有量である。

（７）好ましくは、上記（５）又は（６）に記載のスポット溶接継手の製造方法では、前記鋼板の前記板厚を重みとした、前記鋼板のＭｎ量の加重平均、Ｃｒ量の加重平均、及びＮｉ量の加重平均と、前記試験鋼板のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量とを、それぞれ略同一とする。

（８）好ましくは、上記（５）～（７）の何れか一項に記載のスポット溶接継手の製造方法では、前記再現熱サイクル試験によって特定された前記冷却の終了温度の上限値及び前記昇温速度の下限値の組み合わせを再現可能な冷却時間及び後熱電流を、シミュレーションによって推定する工程をさらに備え、前記シミュレーションによって特定された前記冷却時間及び後通電時間

を、前記板組の前記冷却及び前記後通電に適用する。

（９）好ましくは、上記（５）～（８）の何れか一項に記載のスポット溶接継手の製造方法では、前記後通電の前半をアップスロープ通電とする。

（１０）好ましくは、上記（５）～（９）に記載のスポット溶接継手の製造方法では、１枚以上の前記鋼板を、炭素量０．２０質量％以上の高炭素鋼板とする。

発明の効果

[0013] 本開示によれば、短時間で実施可能なスポット溶接継手の製造方法、および短時間で製造可能なスポット溶接継手を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]Ｍｆ点以下までナゲットを冷却しないスポット溶接における、電流と温度の模式図である。

[図2]Ｍｆ点以下までナゲットを冷却するスポット溶接における、電流と温度の模式図である。

[図3]冷却の終了温度、後通電昇温速度、及び後通電の後の試験鋼板の硬さの相関の模式図である。

[図4]スポット溶接継手の製造方法のフローチャートである。

[図5]スポット溶接継手の断面図である。

[図6]再現熱サイクル試験における熱プロファイルの模式図である。

[図7]再現熱サイクル試験における、冷却終了温度Ｔ２と、再現熱サイクル試験後の鋼板の硬さとの相関を示すグラフである。

[図8A]再現熱サイクル試験における、ナゲットの金属組織写真である。

[図8B]再現熱サイクル試験における、ナゲットの金属組織写真である。

[図8C]再現熱サイクル試験における、ナゲットの金属組織写真である。

[図8D]再現熱サイクル試験における、ナゲットの金属組織写真である。

[図8E]再現熱サイクル試験における、ナゲットの金属組織写真である。

[図9]フォーマスター試験の結果である。

[図10]冷却時間と冷却終了温度Ｔ２との関係のシミュレーションの結果であ

る。

[図11A]本発明者らの実験で採用した通電パターン（ａ）の模式図である。

[図11B]本発明者らの実験で採用した通電パターン（ｂ）の模式図である。

[図12A]スポット溶接試験の結果である。

[図12B]スポット溶接試験の結果である。

[図12C]スポット溶接試験の結果である。

[図13]通電パターン（ａ）及び通電パターン（ｂ）における溶接部温度のシミュレーション結果である。

[図14]スポット溶接試験によって得られたスポット溶接継手の断面写真及び硬さ測定結果である。

[図15]スポット溶接試験によって得られたスポット溶接継手の断面写真及び硬さ測定結果である。

発明を実施するための形態

[0015] 本発明者らは、短時間で後通電が可能なスポット溶接継手の製造方法を得るために、鋭意検討を重ねた。その結果、本通電の後に行われる冷却の時間（冷却時間ｔ２）を適切に短縮することにより、後通電の作用効果を確保しながら、スポット溶接継手を短時間で製造できることを知見した。また、スポット溶接の前に試験を行うことにより、適切な冷却時間ｔ２を特定可能であることも知見した。以下に、本開示の技術思想について説明する。

[0016] （１．本通電、冷却、及び後通電における金属組織の変化）

図１及び図２に示されるように、スポット溶接継手の製造方法は、本通電、冷却、及び後通電を含む。本通電では、複数の鋼板１１を重ね合わせることにより形成された板組を、スポット溶接用の電極の先端で挟み、比較的小さい部分に電流及び加圧力を集中して局部的に加熱し、同時に電極で加圧する。本通電において板組に流される電流は、溶接電流と称される。本通電により、一対の電極の間において板組の温度が融点以上に上昇する。

[0017] 冷却では、板組を電極の先端で挟んだまま、通電を停止するか又は電流値を非常に低い値に低下させる。スポット溶接用の電極は水冷孔を有している

。電極を板組に接触させた状態で、抵抗発熱量を０又はそれに近い値にすることにより、板組から電極に熱が移動する。そして、一対の電極の間において板組の温度が急速に低下する。本通電によって形成された溶融金属は、冷却によって凝固してナゲット１２を形成する。

[0018] ナゲット１２の金属組織は、ナゲット１２の凝固直後の段階ではオーステナイトである。ナゲット１２は急冷されて、ナゲット１２にマルテンサイトが生じる。これによりナゲット１２は硬化する。冷却の間にオーステナイトがマルテンサイトに変態し始める温度は、Ｍｓ点と称される。また、冷却の間、オーステナイトがほとんど完全にマルテンサイトに変態した温度は、Ｍｆ点と称される。図２に示される、通常のスポット溶接継手の製造の際には、冷却によってナゲット１２の温度をＭｆ点以下まで低下させて、ナゲット１２の金属組織の大半をマルテンサイトとする。

[0019] 後通電では、板組に再び通電してナゲット１２を加熱する。後通電の目的は、冷却によって硬化したナゲット１２を焼戻し、ナゲット１２を軟化させることである。これにより、溶接部の十字引張強さが高められる。焼戻しを目的としてナゲット１２に流す電流は、後熱電流と称される。

[0020] 後通電（即ち焼戻し熱処理）の後のマルテンサイトは、焼戻しマルテンサイトと称される。また、後通電の前のマルテンサイトは、フレッシュマルテンサイトと称される。焼戻しマルテンサイトの硬さは、フレッシュマルテンサイトよりも低い。従って、後通電によってナゲット１２の硬さが低下し、ナゲット１２の十字引張強さが向上する。ナゲット１２の軟化量は、後通電の作用効果の指標となる。

[0021] （２．冷却時間ｔ２の短縮の影響）

本発明者らは、スポット溶接継手の製造の短時間化のために、冷却時間ｔ２を短縮することを試みた。しかしながら、冷却時間ｔ２を短縮すると、後通電の後のナゲット１２の硬さが増大する場合があることが判明した。

[0022] この理由は、冷却の終了の時点（即ち後通電の開始の時点）におけるナゲット１２の温度にある。通常のスポット溶接継手の製造の際には、冷却時間

ｔ２を十分に長くして、ナゲットの温度をＭｆ点以下にしてから後通電を開始する（図２参照）。一方、冷却時間ｔ２を短縮すると、後通電の開始の時点におけるナゲット１２の温度がＭｆ点以上となる（図１参照）。その結果、ナゲット１２にオーステナイトが残存したまま後通電が開始することとなる。

[0023] 後通電の開始の時点でナゲット１２に残存していたオーステナイトは、後通電の終了後に、硬いフレッシュマルテンサイトとなる。フレッシュマルテンサイトは、ナゲット１２の硬さを増大させる。

[0024] ナゲット１２の硬さを低下させる観点からは、ナゲット１２の温度をＭｆ点以下まで低下させて、オーステナイトをすべてマルテンサイトにしてから後通電を開始することが好ましい。これにより、後通電の後でナゲット１２にフレッシュマルテンサイトが生成しなくなる。しかしながら、スポット溶接継手の製造時間を短縮するためには、冷却時間ｔ２を短縮することが望ましい。

[0025] 本発明者らは、後通電の開始の時点におけるナゲット１２の温度と、後通電の終了後におけるナゲット１２の硬さとの関係についてのさらなる調査を、再現熱サイクル試験によって行った。再現熱サイクル試験とは、溶接を行った際の母材の熱影響部や溶接金属が受ける熱サイクルを再現し、母材特性の変化を調べたり、得られる溶接金属の相変態挙動（組織、機械的性能）などを評価したりする試験である。スポット溶接の際には、電極間温度を測定することが難しい。一方、再現熱サイクル試験によれば、後通電の開始の際の温度と後通電の終了後の硬さとの関係を正確に評価することができる。

[0026] 本発明者らは、スポット溶接の母材である板組を模擬した試験鋼板に、スポット溶接の本通電、冷却、及び後通電を模擬した再現熱サイクル試験を行った。再現熱サイクル試験においては、スポット溶接の本通電を模擬した加熱における最高加熱温度、スポット溶接の冷却を模擬した冷却における冷却速度、及び後通電を模擬した加熱における最高加熱温度は同一とした。一方、冷却における冷却時間ｔ２（即ち冷却終了温度）、及び後通電を模擬した

加熱における昇温速度（後通電昇温速度）は、現実のスポット溶接において採用可能な範囲内で様々に相違させた。

[0027] 上述の実験の結果得られた、冷却終了温度、後通電昇温速度、及び後通電の後の試験鋼板の硬さの相関の模式図を、図３に示す。本発明者らは、冷却の終了温度がＭｓ点近傍である場合、後通電による試験鋼板の軟化効果はほとんど得られないことを知見した。一方、冷却の終了温度がＭｆ点以上であっても、ナゲットを軟化させることができる場合がある旨も明らかになった。冷却の終了温度がＭｆ点を上回ると、試験鋼板の軟化量が減少する場合があるが、直ちに消失することはない。例えば、冷却終了温度Ｔ２が（Ｍｓ＋Ｍｆ）／２℃を下回っていれば、試験鋼板の硬さを低減させることが可能である。従って、ナゲット１２の軟化量を確保しながら、冷却時間ｔ２を短縮することが可能である。

[0028] さらに本発明者らは、後通電昇温速度が小さいほど、後通電の終了後のナゲット１２が軟化する旨も知見した。図３に示される一線鎖線のグラフは、後通電昇温速度が大きい条件における、冷却終了温度Ｔ２と硬さとの相関関係を示す。図３に示される実線のグラフは、後通電昇温速度が小さい条件における、冷却終了温度Ｔ２と硬さとの相関関係を示す。後通電昇温速度が小さい場合、冷却終了温度Ｔ２を極めて高くしても、ナゲット１２の軟化量を大きくすることができた。

[0029] この現象の原因は、ベイナイト変態であると推定される。上述の通り、オーステナイトが残存するＭｆ点以上の温度範囲で後通電を開始すると、オーステナイトはフレッシュマルテンサイトとなる。しかし、後通電昇温速度が小さい場合、オーステナイトの一部がベイナイト変態する。ベイナイトの硬さはフレッシュマルテンサイトよりも小さい。従って、後通電昇温速度を小さくすることにより、ナゲット１２のベイナイト量を増大させて、フレッシュマルテンサイト量を減少させることができる。そして、ナゲット１２の硬さを低下させることができる。

[0030] 以上説明した通り、後通電昇温速度を小さく設定した場合、冷却終了温度

Ｔ２を高め、冷却時間ｔ２を短くすることができる。しかしながら、後通電昇温速度を小さく設定することにより、後通電に要する時間（後通電時間ｔ３）は長くなる。後通電昇温速度を小さくしすぎた場合、むしろスポット溶接継手の製造に要する時間が長くなってしまうのである。従って、冷却時間及び後通電時間の合計を最小化できる後通電昇温速度を採用することが最も望ましい。即ち、

（１）ナゲット１２に求められる接合強度を確保できる冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせの範囲を予め特定し、

（２）当該範囲内で、冷却時間ｔ２及び後通電時間ｔ３の合計値を最も短くすることができる、冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせを特定し、

（３）ナゲット１２の温度が当該冷却終了温度Ｔ２を下回った後、速やかに、当該後通電昇温速度が適用された後通電を開始する

ことにより、ナゲット１２の接合強度を確保しながら、スポット溶接継手の製造に要する時間を一層短縮することができる。

[0031] 以上の知見に基づいて得られた、本開示に係るスポット溶接継手の製造方法は、図４に示されるように

（Ｓ１）スポット溶接の本通電、冷却、及び後通電を模擬しており、且つ冷却の終了温度及び後通電における昇温速度を相違させた複数回の再現熱サイクル試験を、試験鋼板に行う工程と、

（Ｓ２）試験の後に、試験鋼板の硬さを測定する工程と、

（Ｓ３）試験における冷却の終了温度及び後通電の昇温速度、並びに再現熱サイクル試験の後の試験鋼板の硬さの相関を特定する工程と、

（Ｓ４）試験鋼板の硬さを目標値以下とし、且つ冷却及び後通電に要する合計時間を最短とする、終了温度及び昇温速度の組み合わせを特定する工程と、

（Ｓ５）重ねられた２枚以上の鋼板１１である板組に、スポット溶接用の一対の電極を用いて本通電をする工程と、

（Ｓ６）一対の電極を用いて板組を加圧したまま電流を小さくすることにより、板組を冷却する工程と、

（Ｓ７）本通電及び冷却によって板組に形成されたナゲット１２に、一対の電極を用いて後通電をする工程と、

を備え、鋼板１１の板厚を重みとした、鋼板１１の炭素量の加重平均と、試験鋼板の炭素量とを略同一とし、ナゲット１２の温度が、再現熱サイクル試験によって特定された終了温度を下回ったと推定される時点以降に、冷却を終了し、後通電における昇温速度を、再現熱サイクル試験によって特定された昇温速度以下とする。

[0032]（Ｓ１　複数回の試験）

スポット溶接に先立ち、スポット溶接を模擬した試験を行う。試験対象は、スポット溶接の母材である板組を模擬した試験鋼板である。

[0033]　試験鋼板の炭素量は、板組の炭素量と同一とされる。板組に含まれる複数の鋼板１１の炭素量が相違する場合、鋼板１１の板厚を重みとした、鋼板１１の炭素量の加重平均値を、板組の炭素量とみなす。炭素量は、Ｍｓ点及びＭｆ点に最も大きな影響を与える元素である。板組の炭素量と試験鋼板の炭素量とを同一にすることにより、試験鋼板のＭｓ点及びＭｆ点を、板組に形成されるナゲット１２のＭｓ点及びＭｆ点と同水準の値とすることができる。

[0034]　試験においては、スポット溶接の本通電を模擬する加熱と、スポット溶接の冷却を模擬する冷却と、スポット溶接の後通電を模擬する加熱を行う。試験は、再現熱サイクル試験とする。再現熱サイクル試験においては、試験鋼板の温度を正確に測定及び制御することができる。

[0035]　スポット溶接の本通電を模擬する加熱においては、試験鋼板を加熱する。なお、スポット溶接の本通電の際には鋼板が融点以上に加熱されるのであるが、本通電を模擬する加熱においては、試験鋼板を融点まで加熱する必要はない。試験鋼板の組織をオーステナイト化させる程度に、試験鋼板を加熱すれば足りる。例えば本発明者らは、スポット溶接の本通電を模擬する加熱に

おいて、試験鋼板を９００℃に加熱して５分間保持することにより、試験鋼板の組織をオーステナイト化させた。これと同等の加熱を、スポット溶接の本通電を模擬する加熱において実施すればよい。

[0036] スポット溶接の冷却を模擬する冷却においては、試験鋼板の温度を低下させる。複数回の試験において、冷却終了温度Ｔ２は相違させる。これにより、冷却終了温度Ｔ２と硬さとの相関を特定するためのデータを取得することができる。好ましくは、冷却速度は全ての試験において同一とする。冷却終了温度Ｔ２は、冷却時間ｔ２を介して制御するようにする。

[0037] スポット溶接の後通電を模擬する加熱においては、試験鋼板を再加熱する。再加熱は、試験鋼板の焼戻し温度まで行われる。試験鋼板の焼戻し温度は、例えば７００℃である。複数回の試験において、昇温速度は相違させる。これにより、後通電昇温速度と硬さとの相関を特定するためのデータを取得することができる。以下、後通電を模擬した加熱における昇温速度も、便宜上、後通電昇温速度と称する場合がある。

[0038]（Ｓ２ 試験鋼板の硬さ測定）

試験終了後の試験鋼板の硬さを測定する。硬さ測定は、例えばＪＩＳ Ｚ２２４４：２００９「ビッカース硬さ試験－試験方法」に準拠して行えばよい。試験力、及びその他の試験条件は、全ての硬さ測定において同一とする。具体的な試験条件は特に限定されず、試験鋼板の硬さ等に応じた適切な条件を選択することができる。また、後述するナゲット１２の両端部１２Ｅのビッカース硬さ測定条件を、試験鋼板の硬さの測定に適用してもよい。

[0039]（Ｓ３ 冷却終了温度Ｔ２、後通電昇温速度、及び試験鋼板の硬さの相関の特定）

試験及び硬さ測定に次いで、試験における冷却終了温度Ｔ２、及び後通電昇温速度、並びに試験後の試験鋼板の硬さの相関を特定する。例えば図３に示されるように、冷却終了温度Ｔ２と硬さとの相関を示すグラフを、後通電昇温速度毎に作成することができる。

[0040]（Ｓ４ 冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の特定）

上述の手順によって得られた相関に基づき、試験鋼板の硬さを目標値以下とし、且つ冷却及び後通電に要する合計時間を最短とする、冷却終了温度Ｔ２の上限値及び後通電昇温速度の下限値の組み合わせを特定する。以下、冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度を特定する手順を、図３を例示しながら説明する。

[0041] 図３に例示される一点鎖線のグラフは、後通電昇温速度が大きい場合における、冷却終了温度Ｔ２と試験鋼板の硬さとの相関を示す。後通電昇温速度が大きい場合においては、冷却終了温度Ｔ２がＸ℃以下であれば、試験鋼板の硬さを目標硬さ以下とすることができる。図３に例示される実線のグラフは、後通電昇温速度が小さい場合における、冷却終了温度Ｔ２と試験鋼板の硬さとの相関を示す。後通電昇温速度が小さい場合においては、冷却終了温度Ｔ２がＹ℃以下であれば、試験鋼板の硬さを目標硬さ以下とすることができる。

[0042] 図３に示されるように、後通電昇温速度を大きくすると、後通電に要する時間、即ち後通電時間ｔ３を短くすることができる。一方、後通電昇温速度を大きくすると、目標硬さを達成可能な冷却終了温度Ｔ２の上限値が低下する。これにより、冷却に要する時間、即ち冷却時間ｔ２が長くなる。

[0043] 上述した試験によって得られたデータに基づけば、目標硬さを達成可能な冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせを特定することができる。また、本通電温度Ｔ１及び冷却速度は一定とされているので、上記手順で特定された冷却終了温度Ｔ２に対応する冷却時間ｔ２を特定することができる。また、後通電温度Ｔ３は一定とされているので、上記手順で特定された冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度に対応する後通電時間ｔ３を特定することができる。これにより、試験鋼板の硬さを目標値以下とし、且つ冷却時間ｔ２及び後通電時間ｔ３を最短とする、冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせを特定することができる。

[0044] 上述の手順で、冷却終了温度Ｔ２の上限値及び後通電昇温速度の下限値の組み合わせを求めてから、板組にスポット溶接を実施する。スポット溶接は

、本通電、冷却、及び後通電を有する。上述した通り、スポット溶接される板組の炭素量は、試験鋼板の炭素量と同一とする。

[0045]（Ｓ５　本通電）

まず、重ねられた２枚以上の鋼板１１である板組に、スポット溶接用の一対の電極を用いて本通電を行う。これにより、一対の電極の間において板組を溶融させる。本通電条件は特に限定されない。板組に適した本通電条件を適宜選択することができる。一般的には、ナゲットの径を確保可能であり、且つ散りの発生量が許容範囲内となるような条件が、本通電に適用される。

[0046]（Ｓ６　冷却）

次に、一対の電極を用いて板組を加圧したまま電流を小さくする。好ましくは、通電を停止し、電極に流れる電流を０とする。スポット溶接用の電極は水冷孔を有しており、スポット溶接の間、電極の先端は冷媒によって冷却されている。電極を板組に接触させた状態で、抵抗発熱量を０又はそれに近い値にすることにより、溶融金属を冷却して、ナゲット１２を形成することができる。

[0047]　冷却の終了の時点は、上述の試験を通じて特定された、冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせに基づいて定められる。ナゲット１２の温度が、試験によって特定された冷却終了温度Ｔ２を下回ったと推定される時点以降であって、且つ可能な限り早い時期に、冷却を終了する。

[0048]（Ｓ７　後通電）

本通電及び冷却によって板組に形成されたナゲット１２に、一対の電極を用いて後通電をする。後通電温度Ｔ３、即ち後通電における最大加熱温度は、ナゲット１２の焼戻し温度とする。これにより、ナゲット１２を焼き戻し、その硬さを低減することができる。また、後通電温度Ｔ３は、後通電を模擬した加熱における最大加熱温度と同一とする。

[0049]　後通電昇温速度は、上述の試験を通じて特定された、冷却時間ｔ２及び後通電時間ｔ３を最短とする冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の組み合わせに基づいて定められる。後通電昇温速度が、試験によって特定された後通

電昇温速度以下であって、且つ可能な限り大きい値となるように、後通電における後熱電流を制御する。なお、後通電の開始から終了まで、常に後通電昇温速度を制御する必要はない。後通電の際の平均昇温速度が、試験によって特定された上限値を下回っていればよい。

[0050] 以上の手順により、１つ目の溶接部を作成したら、すぐに２回目の本通電を開始することができる。試験によって得られた条件は、当然ながら、複数回のスポット溶接において可能である。

[0051] （作用効果）

本開示に係るスポット溶接継手の製造方法では、まずスポット溶接を模擬した試験を行う。そして、試験を通じて、冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の良好な組み合わせを特定する。当該組み合わせによれば、ナゲット１２の硬さを目標硬さ以下とすることができる。また、当該組み合わせによれば、冷却時間ｔ２及び後通電時間ｔ３の両方を短縮することができる。

[0052] そして、本開示に係るスポット溶接継手の製造方法では、試験を通じて特定された冷却終了温度Ｔ２及び後通電昇温速度の良好な組み合わせを達成するように、スポット溶接を行う。これにより、好ましく焼戻し熱処理されたナゲット１２を有するスポット溶接継手を、短時間で製造することができる。

[0053] 以上、本実施形態に係るスポット溶接継手の製造方法の最も基本的な態様について説明した。以下に、本実施形態に係るスポット溶接継手の製造方法の一層好ましい態様について説明する。

[0054] （硬さの目標値）

冷却終了温度Ｔ２、及び後通電昇温速度の組み合わせを特定する際に用いられる、試験鋼板の硬さの目標値は特に限定されない。スポット溶接継手に必要とされる十字引張強さは、例えばスポット溶接継手の用途、材質、及び形状に応じて定められる。目標硬さは、スポット溶接継手に必要とされる十字引張強さに応じて、適宜選択することができる。

[0055] 硬さの目標値は、例えば試験鋼板の推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘを

基準として定めることができる。推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘとは、下記式によって算出される値である。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

上記式に含まれる元素記号は、試験鋼板の化学成分の、元素記号に対応する元素の含有量である。上記式に含まれるＣ、Ｍｎ、Ｃｒ、及びＭｏは、鋼の焼入れ性を向上させる元素である。上記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘとは、鋼の硬さを最大にするように焼入れをした場合の、鋼の推定硬さである。

例えば、硬さの目標値を、「試験鋼板のＨＶｍａｘ－ＨＶ１５０」以下の値としてもよい。これにより、継手強度（特にＣＴＳ）が一層向上する。

[0056]（試験鋼板）

上述の通り、試験鋼板の炭素量は、スポット溶接される板組の炭素量と略同一とされる。好ましくは、試験鋼板のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量も、スポット溶接される板組のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量と略同一とされる。さらに好ましくは、試験鋼板の化学成分は、スポット溶接される板組の化学成分と同一とされる。板組が有する複数の鋼板１１の化学成分が同一ではない場合は、板組のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量とは、鋼板１１の板厚を重みとした、鋼板１１のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量それぞれの加重平均値のことである。

[0057] 試験鋼板のＭｓ点及びＭｆ点は、板組のＭｓ点及びＭｆ点に近いほど好ましい。少なくとも、試験鋼板の炭素量を板組の炭素量と一致させることにより、試験鋼板のＭｓ点及びＭｆ点を板組のＭｓ点及びＭｆ点に近づけることができる。一方、試験鋼板の炭素量のみならず、他の元素（例えば、鋼のＭｓ点及びＭｆ点に影響を与える、Ｍｎ、Ｃｒ、及びＮｉ）の含有量も板組と一致させることにより、試験鋼板のＭｓ点及びＭｆ点が、板組のＭｓ点及びＭｆ点に一層近くなる。これにより、試験を通じて特定される終了温度及び昇温速度の組み合わせの信頼性を、一層高めることができる。

[0058]（冷却時間ｔ２及び後熱電流の特定方法）

スポット溶接においては、試験によって特定された冷却終了温度Ｔ２をナゲット１２の温度が現に下回ってから、冷却を終了することが望ましい。しかし、スポット溶接の際には、ナゲット１２の温度を直接的に測定することができない。従って、スポット溶接においては、ナゲット１２の温度が試験によって特定された冷却終了温度Ｔ２を下回っていると推定される時点以降に、冷却を停止することとなる。

[0059] ナゲット１２の温度が試験によって特定された冷却終了温度Ｔ２を下回っていると推定される時点を特定するための手段の一つは、シミュレーションである。板組の構成、電極の構成、及び加圧力等を変数としてシミュレーションをすることにより、後述する図１０に例示されるように、ナゲット１２の温度の経時的変化を推定することができる。従って本開示に係るスポット溶接継手の製造方法は、再現熱サイクル試験によって特定された冷却終了温度の上限値及び昇温速度の下限値の組み合わせを再現可能な冷却時間及び後熱電流を、シミュレーションによって推定する工程Ｓ８をさらに備えることが好ましい。この場合、シミュレーションによって特定された冷却時間及び後通電時間を、板組の冷却及び後通電に適用することが好ましい。

[0060] ナゲット１２の温度が試験によって特定された冷却終了温度Ｔ２を下回っていると推定される時点を特定するための別の手段は、電極間抵抗である。鋼の電気抵抗値は、鋼の温度の指標となる。従って、板組を挟持する電極の間の電流及び電圧を測定し、電極間抵抗を算出することにより、ナゲット１２の温度を推定することができる。なお、電極間抵抗を得るためには、電流を電極に流す必要がある。しかし、電極間抵抗を得るための通電は、冷却の妨げにならない。電極間抵抗を得るために流す電流は、きわめてわずかでも足りるからである。

[0061]（後通電パターン）

図１及び図１１Ａに例示されるように、後通電の間に流される後熱電流は一定値としてもよい。一方、図１１Ｂに例示されるように、後通電の少なく

とも一部の期間において、後熱電流をアップスロープ制御してもよい。アップスロープ制御とは、電流を連続的に増加させる制御のことである。特に好ましくは、少なくとも後通電の前半をアップスロープ通電とし、さらに好ましくは後通電の全体にわたってアップスロープ通電とする。これにより、ナゲット１２のベイナイト量が増大し、ナゲット１２の軟化量を一層大きくすることができる。

[0062] アップスロープ通電によってベイナイト量が増大する理由は明らかではないが、本発明者らは、以下のように推定している。鋼をベイナイト変態させて、ベイナイト量を増加させるためには、ベイナイトの核生成及びベイナイトの成長が重要となる。古典的核生成論によれば、鋼が低温になるにつれて、ベイナイト変態の駆動力が増加し、核生成が起きやすくなる。一方で、ベイナイトの成長は元素の拡散によって生じる。そのため、鋼の温度が上昇し、元素の拡散速度が大きくなるにつれて、ベイナイトの成長は起きやすくなる。このことから、低温域（核生成）及び高温域（成長）の両方が、ベイナイト量の増大のために重要となる。低温域の昇温速度が速い通電パターン（ａ）（図１１Ａ参照）よりも、昇温速度が一定な通電パターン（ｂ）（図１１Ｂ参照）のほうが、ベイナイト量の増大のために有利であると考えられる。

[0063]（鋼種）

板組が有する鋼板１１の種類は特に限定されないが、好ましくは、１枚以上の鋼板１１を高炭素鋼板とする。高炭素鋼板とは、炭素量０．２０質量％以上の鋼板１１である。これにより、スポット溶接継手を、例えば自動車骨格部品のような、高い強度が求められる機械部品に適用することができる。なお、高炭素鋼板のスポット溶接部は脆化しやすく、十字引張強さが低下しやすいことが知られている。しかし本実施形態に係るスポット溶接継手の製造方法によれば、短時間で、ナゲット１２を軟化させて十字引張強さを向上させることができる。

[0064]（スポット溶接継手）

次に、本開示の別の態様に係るスポット溶接継手１について説明する。本実施形態に係るスポット溶接継手は、重ねられた２枚以上の鋼板１１と、鋼板１１を接合するナゲット１２と、を備え、ナゲット１２の断面において測定される、鋼板１１の接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌにおけるナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織が、５～４０面積％のフレッシュマルテンサイトを含み、残部の９５面積％以上が焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの一方又は両方である。

[0065]（鋼板１１及びナゲット１２）

スポット溶接継手は、重ねられた２枚以上の鋼板１１、及びナゲット１２を有する。ナゲット１２は、鋼板１１を接合する溶融凝固部である。本実施形態に係るスポット溶接継手１においては、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌを用いて、ナゲット１２の構成を規定する。図５に示されるように、接合界面１３とは、鋼板１１が接触し向かい合った面のことである。接合界面１３は、合わせ面と称される場合もある。しかし接合界面１３は、ナゲット１２の内部では消失している。本実施形態においては、ナゲット１２の評価のために、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌを用いる。鋼板１１が２枚である場合、接合界面１３及び仮想線１３Ｌは１つである。鋼板１１が３枚以上である場合、接合界面１３及び仮想線１３Ｌは２以上である。

[0066] ナゲット１２の断面を観察すると、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌにおけるナゲット１２の両端部１２Ｅに、フレッシュマルテンサイトが含まれる様子が確認できる。本実施形態に係るスポット溶接継手１においては、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌにおけるナゲット１２の両端部１２Ｅそれぞれにおけるフレッシュマルテンサイトの面積率が規定される。

[0067] 接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌにおけるナゲット１２の端部１２Ｅとは、図５に示されるように、ナゲット１２の外縁（即ち溶融境界）と仮想線１３Ｌとの交点の近傍領域のことである。１つの仮想線１３Ｌにおいて、２つの端部１２Ｅが存在する。仮想線１３Ｌが２以上ある場合は、複数の仮想線１３Ｌそれぞれにおいて２つの端部１２Ｅが存在する。

[0068] 接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌにおけるナゲット１２の端部１２Ｅは、ナゲット１２の接合強度を改善するために極めて重要な領域である。なぜなら、十字引張試験において、接合界面１３に沿った端部１２Ｅが応力集中部になるからである。

[0069] （ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織）

ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織は、５～４０面積％のフレッシュマルテンサイトを含む。また、フレッシュマルテンサイト以外の領域は、主に焼戻しマルテンサイト及び／又はベイナイトから構成される。例えばフレッシュマルテンサイト以外の領域の９５面積％以上が、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの一方又は両方である。

即ち、ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織は、下記式の両方を満たす。

$$5 \leqq FM \leqq 40$$

$$95 \leqq (TM+B) / (100\%-FM)$$

なお、ＦＭ、ＴＭ、及びＢとは、それぞれ、ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織におけるフレッシュマルテンサイト、焼戻しマルテンサイト、及びベイナイトの面積率である。フレッシュマルテンサイトの面積率ＦＭとは、後述する観察視野におけるフレッシュマルテンサイトの面積を、観察視野の面積で割った値である。同様に、焼戻しマルテンサイトの面積率ＴＭとは、観察視野における焼戻しマルテンサイトの面積を、観察視野の面積で割った値であり、ベイナイトの面積率Ｂとは、観察視野におけるベイナイトの面積を、観察視野の面積で割った値である。

[0070] マルテンサイトとは、オーステナイトを急冷した場合に、拡散を伴わずに変態して生じる金属組織である。フレッシュマルテンサイトとは、焼戻しされていないマルテンサイトのことである。焼戻しマルテンサイトとは、マルテンサイトの焼戻組織である。

[0071] 冷却をＭｆ点以下まで行い、後通電をしない場合、ナゲット１２のオーステナイトは全てマルテンサイト変態し、そのまま維持される。従って、後通

電をしない場合、ナゲット１２のマルテンサイトは全てフレッシュマルテンサイトとなる。

[0072] 冷却をＭｆ点以下まで行ってから後通電をする場合、後通電開始時点のナゲット１２において、オーステナイトは全てマルテンサイト変態している。このようなナゲット１２に後通電をすると、ナゲット１２のマルテンサイトは全て焼戻しマルテンサイトとなる。

[0073] 冷却をＭｓ点以下かつＭｆ点以上の温度範囲で停止してから後通電をする場合、後通電開始時点のナゲット１２においては、マルテンサイトと、マルテンサイト変態していないオーステナイトとが混在している。後通電開始時点において存在するマルテンサイトは、後通電後に焼戻しマルテンサイトとなる。後通電開始時点において存在するオーステナイトは、後通電中にベイナイト変態するか、又は、後通電後にマルテンサイト変態してフレッシュマルテンサイトとなる。従って、冷却をＭｓ点以下かつＭｆ点以上の温度範囲で停止してから後通電をする場合、ナゲット１２にはフレッシュマルテンサイトと、焼戻しマルテンサイト及び／又はベイナイトとが混在する。換言すると、本実施形態に係るスポット溶接継手は、冷却をＭｓ点以下かつＭｆ点以上の温度範囲で停止してから後通電をすることにより製造可能である。

[0074] ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織において、フレッシュマルテンサイトの面積率が６％以上、８％以上、１０％以上、１５％以上、又は１８％以上であってもよい。ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織において、フレッシュマルテンサイトの面積率が３５％以下、３０％以下、２８％以下、２５％以下、又は２０％以下であってもよい。フレッシュマルテンサイト以外の組織（残部組織）において、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトが占める割合は、９６面積％以上、９８面積％以上、又は１００面積％であってもよい。

[0075]（金属組織の評価方法）

フレッシュマルテンサイトの含有量の評価方法は以下の通りである。まず、ナゲット１２を切断する。切断面は、鋼板１１の表面に設けられた圧痕１

４の中心に可能な限り近づける。また、切断面は鋼板１１の表面に垂直とする。そして、切断面を研磨して、ナイタールエッチングする。

[0076] エッチングによって現出した金属組織を、ＳＥＭを用いて観察する。ＳＥＭ観察の倍率は３０００倍とする。以下の要件を満たす観察視野で、金属組織の面積率を測定する。なお、図５に示される端部１２Ｅは、下記要件を満たしている。

・４００μｍ四方の矩形形状である

・中心が、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌ上にある

・１つの頂点が、ナゲット１２の外縁（溶融境界）と一致する

・２つの辺が、接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌと平行である

観察された画像から、両方の端部１２Ｅにおける各組織の面積率を測定し、その平均値を算出する。鋼板１１の枚数が３以上である場合は、２以上の接合界面１３それぞれに関する両端で組織の面積率を測定し、平均値を算出する。組織の面積率の測定方法は以下の通りである。

[0077] 下部組織が現出せず、かつ、輝度の低い領域を、フェライトとみなす。フェライトおよびセメンタイトの層状組織である領域をパーライトとみなす。下部組織が現出せず、かつ、輝度の高い領域をフレッシュマルテンサイトまたは残留オーステナイトとみなす。また、下部組織が現出した領域を、焼戻しマルテンサイトまたはベイナイトとみなす。金属組織の残部、即ち金属組織におけるフレッシュマルテンサイト以外の領域における焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの合計面積率を特定する際には、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトを区別する必要はない。ベイナイトの面積率を特定する目的で、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトを区別する方法は、後述される。

[0078] フレッシュマルテンサイトと残留オーステナイトとは、ＳＥＭ観察では明確には区別されない。そのため、フレッシュマルテンサイトの面積率は、フレッシュマルテンサイトまたは残留オーステナイトであると判断された組織の面積率から、残留オーステナイトの体積率を減じることで算出される。残留オーステナイトの体積率は、ＭｏＫα線によるフェライトの（２００）、

（２１０）面積分強度とオーステナイトの（２００）、（２２０）、および（３１１）面積分強度とから定量化される。なお、面積率と体積率とは異なる概念であるが、実質的に同一の値であるとみなすことができる。従って、フレッシュマルテンサイトの面積率を算出する際には、上述の手順で得られた残留オーステナイトの体積率を、面積率とみなす。

[0079]（作用効果）

本実施形態に係るスポット溶接継手においては、ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織が５面積％以上のフレッシュマルテンサイトを含む。このようなナゲット１２は、冷却をＭｓ点以下かつＭｆ点以上の温度範囲で停止してから後通電をすることにより製造可能である。従って、本実施形態に係るスポット溶接継手は、冷却時間ｔ２を短縮したスポット溶接によって製造可能であり、製造効率が高い。

[0080] また、本実施形態に係るスポット溶接継手においては、ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織におけるフレッシュマルテンサイト量が４０面積％以下とされ、残部組織が主に焼戻しマルテンサイト及び／又はベイナイトから構成される。これにより、ナゲット１２の靭性が高められ、スポット溶接継手の十字引張強さが高められる。

[0081] 以上、本実施形態に係るスポット溶接継手の最も基本的な態様について説明した。以下に、本実施形態に係るスポット溶接継手の一層好ましい態様について説明する。

[0082]（鋼種）

スポット溶接継手が有する鋼板１１の種類は特に限定されないが、好ましくは、１枚以上の鋼板１１を高炭素鋼板とする。高炭素鋼板とは、炭素量０．２０質量％以上の鋼板１１である。これにより、スポット溶接継手を、例えば自動車骨格部品のような、高い強度が求められる機械部品に適用することができる。なお、高炭素鋼板のスポット溶接部は脆化しやすく、十字引張強さが低下しやすいことが知られている。しかし本実施形態に係るスポット溶接継手の製造方法によれば、短時間で、ナゲット１２を軟化させて十字引

張強さを向上させることができる。

[0083]（ナゲット１２の硬さ）

本実施形態に係るスポット溶接継手のナゲット１２は、後通電を行わないナゲット１２よりも軟化していることが好ましい。例えば、推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘから、ナゲット１２の両端部１２Ｅのビッカース硬さを引いた値が、ＨＶ５０以上であることが好ましい。

[0084] 推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘとは、下記式によって算出される値である。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

上記式に含まれる元素記号は、鋼板１１の化学成分の、元素記号に対応する元素の含有量である。スポット溶接継手が、化学成分が異なる複数の鋼板１１を有している場合、鋼板１１の化学成分とは、板厚を重みとした鋼板１１の化学成分の加重平均である。上記式に含まれるＣ、Ｍｎ、Ｃｒ、及びＭｏは、鋼の焼入れ性を向上させる元素である。上記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘとは、鋼の硬さを最大にするように焼入れをした場合の、鋼の推定硬さである。従って、推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘは、後通電を行わないスポット溶接によって得られたナゲット１２の硬さの指標である。

[0085] 推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘから、ナゲット１２の両端部１２Ｅのビッカース硬さを引いた値が、ＨＶ５０以上である場合、ナゲット１２の両端部１２Ｅは十分に焼き戻されている。従って、スポット溶接継手の十字引張強さが一層高められる。

[0086] 推定最大ビッカース硬さを算出するために用いられる、鋼板１１の化学成分は、一般的な方法によって測定すればよい。例えば、鋼板１１の一部を切削して切粉を採取する。そして、例えばＪＩＳ　Ｇ　１２０１：２０１４に準じて、ＩＣＰ－ＡＥＳ（Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ　Ｃｏｕｐｌｅｄ　Ｐｌａｓｍａ－Ａｔｏｍｉｃ　Ｅｍｉｓｓｉｏｎ　Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）

を用いて、切粉の化学成分を測定すればよい。なお、ＩＣＰ－ＡＥＳで測定が困難であるＣの含有量は、燃焼－赤外線吸収法を用いて測定すればよい。

[0087] 分析試料は、ＪＩＳ　Ｇ　０４１７：１９９９に記載されているように、鋼板１１の板厚全体の平均的な化学組成が得られるように採取する。具体的には、鋼板１１の幅方向端部を避け、ｔ／４位置から、分析試料を採取する。

[0088] ナゲット１２の両端部１２Ｅのビッカース硬さの測定方法は以下の通りである。鋼板１１の接合界面１３に沿った仮想線１３Ｌ上で、ナゲット１２の硬さを連続的に測定する。測定間隔は１００μｍとする。試験力は２００ｇｆとする。ナゲット１２の端から４００μｍ以内の領域における硬さの最小値を、ナゲット１２の端部１２Ｅの硬さとみなす。そして、ナゲット１２の両方の端部１２Ｅにおける硬さの平均値を算出する。鋼板１１の枚数が３以上である場合は、２以上の接合界面１３それぞれに関する両端で硬さを測定し、平均値を算出する。

[0089] （ベイナイトの面積率）

ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織は、ベイナイトを含むことが好ましい。例えば、ナゲットの両端部の金属組織が、２面積％以上のベイナイトを含むことが好ましい。一層好ましくは、ナゲットの両端部の金属組織は、５面積％以上、１０面積％以上、又は１５面積％以上のベイナイトを含む。なお、ベイナイトの面積率Ｂとは、観察視野におけるベイナイトの面積を、観察視野の面積で割った値である。

[0090] ベイナイトの硬さはフレッシュマルテンサイトよりも小さい。そのため、フレッシュマルテンサイトをベイナイトに置き換えることにより、ナゲット１２の硬さを低下させることができる。また、ベイナイトの量が多いナゲット１２の製造にあたっては、冷却時間ｔ２を短縮することができる。換言すると、ベイナイトの量が高められたスポット溶接継手は、一層短時間で製造することができる。

[0091] ベイナイトの量の上限は特に限定されない。例えば、ナゲットの両端部の

金属組織において、残部のベイナイト量を５０面積%以下、４５面積%以下、又は４０面積%以下としてもよい。

[0092] ナゲット１２の両端部１２Ｅの金属組織におけるベイナイト量の測定方法は以下の通りである。先ず上述の手段により、ナゲット１２の両端部１２Ｅの観察視野における、下部組織が現出した領域を特定する。下部組織が現出した領域は、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトのいずれかである。従って、焼戻しマルテンサイト及びベイナイトを区別することにより、ベイナイトの面積率を特定することができる。

[0093] 電子後方散乱回折法により、当該観察視野の金属組織の結晶方位情報を得る。測定間隔は０．２μｍとする。測定には、ＥＢＳＤ解析装置を用いる。本発明者らが用いたＥＢＳＤ解析装置は、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（ＪＥＯＬ製ＪＳＭ－７２００Ｆ）とＥＢＳＤ検出器（ＥＤＡＸ　Ｖｅｌｏｃｉｔｙ（登録商標）　超高速動作型ＥＢＳＤ検出器）とで構成されていた。当然のことながら、上記装置と同等品を用いてベイナイトの面積率を測定することもできる。測定の際、装置内の真空度は９．６×１０－５Ｐａ以下とし、加速電圧は２５ｋＶとし、照射電流レベルは１６とする。

[0094] 得られた結晶方位情報に関して、ＥＤＡＸ／ＴＳＬ　ｓｏｌｕｔｉｏｎ社製　ＯＩＭ　Ａｎａｌｙｓｉｓ（登録商標）のバージョン７以降を用いて、解析を実施する。結晶方位差が１５°以上である測定点間を、結晶粒界とみなす。結晶粒界で囲まれた領域を、結晶粒とみなす。そして、複数の結晶粒それぞれのＧＡＭ値（Ｇｒａｉｎ　Ａｖｅｒａｇｅ　Ｍｉｓｏｒｉｅｎｔａｔｉｏｎ値）を測定する。ＧＡＭ値は、結晶粒内に存在する全ての測定点間の結晶方位の差を計算することにより得られる。結晶方位の差の平均値が、結晶粒のＧＡＭ値である。

[0095] 次に、ＧＡＭ値が０．５°超である結晶粒における、結晶方位差が５°超である境界を表示する。結晶粒内の、結晶方位差が５°超である境界の密度、即ち単位面積当たりの、結晶方位差が５°超である粒界の長さを算出する。結晶方位差が５°超である境界の密度を、結晶粒の５°境界密度と称する

。

[0096] 下部組織が現出した領域において、ＧＡＭ値が０．５°超であり、且つ５°境界密度が０．４μｍ／μｍ^{2}以下である結晶粒を、ベイナイトとみなす。ベイナイトとみなされた結晶粒の面積率を測定することにより、ナゲットの両端部の金属組織において、残部に含まれるベイナイトの面積率が算出できる。

[0097]（その他の構成）

以上、本開示の実施の形態について説明したが、本開示はこれに限定されることなく、その開示の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。以下に、本実施形態に係るスポット溶接継手１、及びスポット溶接継手１の製造方法の一層好適な例について説明する。なお、特に断りが無い限り、以下に説明する好適な態様は、スポット溶接継手１、及びスポット溶接継手１の製造方法のいずれにも適用することができる。

[0098]（鋼板１１の引張強さ、硬さ、厚さ、及び表面処理）

鋼板１１の引張強さは特に限定されない。スポット溶接継手１の剛性及び耐破壊特性等を向上させる観点からは、複数の鋼板１１のうち１枚以上を、引張強さ９８０ＭＰａ以上の高炭素鋼板とすることが好ましい。高炭素鋼板の引張強さを、１０００ＭＰａ以上、１２００ＭＰａ以上、又は１５００ＭＰａ以上とすることが一層好ましい。一方、複数の鋼板１１のうち１枚以上を、引張強さ５００ＭＰａ以下の軟鋼としてもよい。

[0099] 鋼板１１の硬さは特に限定されない。スポット溶接継手１の剛性及び耐破壊特性等を向上させる観点からは、複数の鋼板１１のうち１枚以上を、硬さＨＶ３３０以上の高炭素鋼板とすることが好ましい。高炭素鋼板の硬さを、ＨＶ３５０以上、ＨＶ４００以上、又はＨＶ４５０以上とすることが一層好ましい。一方、複数の鋼板１１のうち１枚以上を、軟鋼としてもよい。

[0100] 鋼板１１の厚さは特に限定されない。また、板組の板厚比も特に限定されない。板組の板厚比とは、板組の総板厚を、板組の表面に配された鋼板１１のうち薄い方の板厚で割った値である。例えばスポット溶接継手１が自動車

用部品である場合、鋼板１１を、２枚の厚い高炭素鋼板及び１枚の薄い軟鋼板とすることが好ましい。高炭素鋼板は自動車の骨格部材である。軟鋼板は自動車の外装部材である。高炭素鋼板の板厚は、例えば１．０～２．５ｍｍとすることが好ましい。軟鋼板の板厚は、例えば０．４～１．２ｍｍとすることが好ましい。

[0101] 耐食性、及び美観等を向上させるために、鋼板１１の表面にめっきが設けられていることが好ましい。めっきの種類としては、ＡｌＩ系めっき、ＡｌＩ系合金化めっき、Ｚｎ系めっき、及びＺｎ系合金化めっき等が挙げられる。

[0102] （ナゲット１２の径）

ナゲット１２の径は特に限定されず、接合不良を生じさせない範囲内で適宜選択することができる。例えば、ナゲット１２の径を２．５$\sqrt{t}$～５．０$\sqrt{t}$の範囲内としてもよい。接合不良を防止する観点からは、ナゲット１２の径を２．８$\sqrt{t}$以上、３．０$\sqrt{t}$以上、又は３．２$\sqrt{t}$以上とすることが一層好ましい。また、入熱量を抑制して散り発生を防止する観点からは、ナゲット１２の径を４．８$\sqrt{t}$以下、４．５$\sqrt{t}$以下、又は４．２$\sqrt{t}$以下とすることが一層好ましい。

[0103] なお、ナゲット１２の径とは、溶接部の断面試験によって接合界面１３で測定される、ナゲット１２の直径のことである。ｔとは、ナゲット１２の直径を測定した接合界面１３を構成する２枚の鋼板１１の板厚の平均値のことである。鋼板１１の枚数が３枚以上であり、接合界面１３が２以上である場合は、１つ以上の接合界面１３においてナゲット１２の径が上述の範囲内であることが好ましく、全ての接合界面１３においてナゲット１２の径が上述の範囲内であることが一層好ましい。

実施例

[0104] 実施例により本開示の一態様の効果を更に具体的に説明する。ただし、実施例での条件は、本開示の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例に過ぎない。本開示は、この一条件例に限定されない。本開示は、本開示の要旨を逸脱せず、本開示の目的を達成する限り、種々の条件を採用し

得る。

[0105] （実験１　再現熱サイクル試験）

本発明者らは、スポット溶接を模擬した再現熱サイクル試験を行った。試験鋼板及び再現熱サイクル試験の条件は以下の通りとした。

・試験鋼板の鋼種：２ＧＰａ級ホットスタンプ用鋼板

・試験鋼板の厚さ：２．０ｍｍ

・試験鋼板のＭｓ点：約３６０℃

・試験鋼板のＭｆ点：約１８０℃

・再現熱サイクル試験における熱プロファイル：図６の通り

[0106] 図６に示されるように、本通電を模擬した加熱は一定条件で行った。また、後通電を模擬した加熱において、最高加熱温度を一定条件とした。さらに、本通電後の冷却速度、及び後通電後の冷却速度も一定条件とした。一方、冷却終了温度Ｔ２（即ち、後通電温度）を様々に変化させた。また、後通電昇温速度を、４００℃／ｓｅｃ又は１００℃／ｓｅｃのいずれかとした。

[0107] さらに、再現熱サイクル試験後の鋼板の硬さを測定した。そして、冷却終了温度Ｔ２と、再現熱サイクル試験後の鋼板の硬さとの相関を特定し、図７に示した。

[0108] 冷却終了温度がＭｓ点（約３６０℃）近傍である場合、後通電における昇温速度にかかわらず、後通電による試験鋼板の軟化効果はほとんど得られなかった。一方、冷却終了温度が約２８０℃以下であれば、試験鋼板が十分に軟化することも確認された。試験鋼板をＭｆ点（約１８０℃）以下まで冷却してから焼戻した場合は、試験鋼板の硬さは約３００ＨＶであった。冷却終了温度がＭｆ点以上２８０℃とすれば、試験鋼板の硬さを約３００ＨＶとすることができた。

[0109] さらに、後通電を模擬した再加熱における昇温速度を小さくすることにより、試験鋼板の硬さを低減することが可能な冷却終了温度Ｔ２の範囲を拡大することができた。昇温速度が４００℃／ｓｅｃである場合は、冷却終了温度Ｔ２が約２８０℃を超過すると、試験鋼板の硬さが増大した。一方、昇温

速度を１００℃／ｓｅｃにした場合は、冷却終了温度Ｔ２が約３２０℃以下であれば、試験鋼板の硬さを約ＨＶ３００とすることができた。

[0110] 図８Ａ～図８Ｅに、再現熱サイクル試験後の試験鋼板のＳＥＭ写真を示す。これら試験鋼板の再現熱サイクル試験条件は以下の通りであった。

・図８Ａ：冷却終了温度Ｔ２：室温、後通電なし

・図８Ｂ：冷却終了温度Ｔ２：１６０℃、後通電昇温速度：１００℃／ｓｅｃ

・図８Ｃ：冷却終了温度Ｔ２：３２０℃、後通電昇温速度：１００℃／ｓｅｃ

・図８Ｄ：冷却終了温度Ｔ２：３６０℃、後通電昇温速度：１００℃／ｓｅｃ

・図８Ｅ：冷却終了温度Ｔ２：室温、後通電昇温速度：１００℃／ｓｅｃ

[0111] 図８Ａの試験鋼板においては、マルテンサイトがすべてフレッシュマルテンサイトとされていた。この試験鋼板の組織写真においては、炭化物の析出が確認されない。

[0112] 図８Ｂの試験鋼板を得るための再現熱サイクル試験においては、冷却終了温度Ｔ２がＭｆ点以下であった。図８Ｂの試験鋼板は、再現熱サイクル試験後に十分に軟化していた。図８Ｂの組織写真においては、析出した炭化物の存在が確認できる。炭化物が析出した個所は、焼戻しマルテンサイト又はベイナイトである。

[0113] 図８Ｃの試験鋼板を得るための再現熱サイクル試験においては、冷却終了温度Ｔ２がＭｆ点を若干超過した３２０℃であった。しかしながら、図８Ｃの試験鋼板は、再現熱サイクル試験後に十分に軟化していた。図８Ｃの組織写真においても、図８Ｂと同様に、析出した炭化物の存在が確認できる。

[0114] 図８Ｄの試験鋼板を得るための再現熱サイクル試験においては、冷却終了温度Ｔ２がＭｆ点を大きく超過した３６０℃であった。しかしながら、図８Ｄの試験鋼板は、再現熱サイクル試験後の軟化量が十分ではなかった。図８Ｄの組織写真においては、炭化物がほとんど確認できない。

[0115] 図８Ｅの試験鋼板を得るための再現熱サイクル試験においては、冷却終了温度Ｔ２が室温であった。図８Ｅの試験鋼板は、再現熱サイクル試験後に十分に軟化していた。図８Ｅの組織写真においては、析出した炭化物の存在が確認できる。

[0116] 以上の実験結果によれば、冷却終了温度Ｔ２がＭｆ点を若干上回っていても、焼戻しマルテンサイトやベイナイトをナゲット内に形成可能であることがわかる。一方、冷却終了温度Ｔ２がＭｓ点付近である場合は、焼戻しマルテンサイトやベイナイトを得ることができない。

[0117] （実験２　フォーマスター試験）

本発明者らは、後通電を模擬した再加熱における昇温速度が硬さに及ぼす影響について検討するために、フォーマスター試験を行った。フォーマスター試験では、スポット溶接を模擬した再現熱サイクル試験を試験鋼板に行いながら、試験鋼板の厚さを測定した。フォーマスター試験において用いられた鋼板は、実験１の試験鋼板と同一とした。フォーマスター試験の結果を、図９に示す。図９に示すグラフの横軸は温度であり、縦軸は鋼板の厚さの変化量である。

[0118] 図９のグラフにおいて、符号（１）が付された区間は、スポット溶接の本通電を模擬した加熱に対応する。本通電を模擬した加熱では、試験鋼板の温度を９００℃で５分保持した。符号（２）が付された区間は、スポット溶接の冷却を模擬した冷却に対応する。冷却は、３２０℃まで行った。符号（３）が付された区間は、後通電を模擬した再加熱に対応する。再加熱は７００℃まで行った。符号（４）が付された区間は、後通電の後の冷却に対応する。後通電の後の冷却は、室温まで行った。

[0119] 図９のグラフにおいて着目されるべきは、符号（３）が付された区間、及び符号（４）が付された区間における試験鋼板の厚さの増大である。これら区間の始期において、試験鋼板の厚さは単調に増加又は減少した。しかし、これら区間の中期において、試験鋼板の厚さが急激に増大した。この原因は、ベイナイト変態であると推定される。

[0120]（実験３　スポット溶接解析ソフトによる、冷却条件の推定）

実験１及び実験２で用いられた試験鋼板（厚さ２．０ｍｍの、引張強さ２ＧＰａ級ホットスタンプ鋼板）のスポット溶接における、冷却時間と冷却終了温度Ｔ２との関係を、スポット溶接解析ソフトＳＯＲＰＡＳ（登録商標）を用いてシミュレーションした。スポット溶接のシミュレーション条件は以下の通りとした。

・試験鋼板の枚数：２枚

・加圧力：３．９２ｋＮ

・本通電時間：０．３６秒

・本通電の際の溶接電流：８．０ｋＡ

・ナゲット径：７ｍｍ

シミュレーション結果を図１０に示す。

[0121]　シミュレーション結果によれば、試験鋼板の温度を３２０℃にするために必要な時間は５０サイクル（１．０秒）である。試験鋼板の温度を２８０℃にするために必要な時間は５５サイクル（１．１秒）である。実験１の結果、及びシミュレーション結果を考慮すると、試験鋼板に対する好適な通電条件は表１の通りであると推定された。

[0122] [表1]

(A) 後通電の際の昇温速度	(B) 実験1で特定された好適な冷却終了温度T2上限値	(C) シミュレーションで推定された好適な冷却時間下限値	(D) 後通電時間	(E) 冷却時間及び後通電時間の合計値
100℃/sec	320℃	50サイクル	190サイクル	240サイクル
400℃/sec	280℃	55サイクル	53サイクル	108サイクル

[0123]　なお、表１に記載の（Ｄ）後通電時間は、以下の式によって求められた値である。

（Ｄ）＝５０サイクル／ｓｅｃ×｛７００℃－（Ｂ）｝／（Ａ）

上記式における「７００℃」は、後通電時の最大温度（図６参照）である。「７００℃－（Ｂ）」は、後通電において必要な昇温量上記式における「

５０サイクル／ｓｅｃ」は、１秒間当たりのサイクル数である。表１に示されるように、後通電の際の昇温速度を低減することにより、冷却時間を短くすることができる。しかし、後通電の際の昇温速度を低減すると、後通電時間が長くなる。そのため、後通電昇温速度を低くすることが常に好ましいわけではない。本実験で用いられる試験鋼板においては、後通電の際の昇温速度を１００℃／ｓｅｃにするほうが、溶接時間を短縮可能であると推定された。

[0124] （実験４　スポット溶接試験）

実験１～３の結果を考慮しながら、以下に示す条件でスポット溶接実験を行った。

・板組：実験１及び実験２の試験鋼板を２枚重ねたもの

・本通電条件：本通電電流値８．４ｋＡ、通電時間０．３６秒

・冷却時間：（Ａ）４０サイクル、（Ｂ）５０サイクル、（Ｃ）６０サイクルの何れか

・後通電時間：１．９８秒

・後熱電流の最大値：４～８ｋＡ

・後通電における電流波形：パターンａ（図１１Ａ）及びパターンｂ（図１１Ｂ）のいずれか

パターンａ（図１１Ａ）は、後熱電流が一定値である電流波形である。パターンｂ（図１１Ｂ）は、後熱電流をアップスロープ制御した電流波形である。スポット溶接試験の終了後に、スポット溶接継手に十字引張試験を行い、その十字引張強さ（ＣＴＳ）を測定した。

[0125] 後熱電流の設定値と、十字引張強さとの相関を、図１２Ａ～図１２Ｃに示す。図１２Ａは、冷却時間を（Ａ）４０サイクルとしたスポット溶接試験の結果である。図１２Ｂは、冷却時間を（Ｂ）５０サイクルとしたスポット溶接試験の結果である。図１２Ｃは、冷却時間を（Ｃ）６０サイクルとしたスポット溶接試験の結果である。

[0126] 図１２Ａに示されるように、冷却時間を４０サイクルとした場合は、いか

なる後通電条件であってもＣＴＳの顕著な向上は確認できなかった。一方、図１２Ｃに示されるように、冷却時間を６０サイクルとした場合は、ＣＴＳの向上が確認された。図１２Ｃにおいては、ナゲットがＭｆ点以下にまで冷却されていたので、焼戻しマルテンサイトを作成することができたと考えられる。

[0127] さらに、図１２Ｂに示されるように、冷却時間を５０サイクルとした場合も、通電パターン（ｂ）を採用した条件においてＣＴＳの向上が確認された。図１２Ｂにおいては、ナゲットの冷却終了温度Ｔ２はＭｆ点を上回っており、後通電の開始の時点でマルテンサイト変態が完了しておらず、従ってナゲットにフレッシュマルテンサイトが生成したと推定される。しかしながら、フレッシュマルテンサイトの量を抑制することにより、後通電によるＣＴＳ向上効果を享受することができる。

[0128] なお、図１２Ｂのスポット溶接実験において、通電パターン（ａ）よりも通電パターン（ｂ）のほうが良好な結果が得られた理由は、図１３の通りであると考えられる。図１３は、通電パターン（ａ）又は通電パターン（ｂ）を採用したスポット溶接における、溶接部の温度のシミュレーション結果である。シミュレーション結果によれば、後熱電流のアップスロープ制御によって、昇温速度の変動量が小さくなる。このことが、ベイナイト生成を促したと推定される。

[0129] 最後に、冷却時間５０サイクル、後通電時間５５サイクルのスポット溶接試験においてＣＴＳが最大となったナゲットの断面観察結果及び硬さ測定結果を図１４に示し、冷却時間６０サイクル、後通電時間５５サイクルのスポット溶接試験においてＣＴＳが最大となったナゲットの断面観察結果及び硬さ測定結果を図１５に示す。どちらの後通電条件においても、ナゲットの端部が十分に軟化しており、ＣＴＳが１０ｋＮ以上となった。なお、後通電を行わずに製造されたスポット溶接継手のＣＴＳは６．５ｋＮであった。従って、どちらの後通電条件においても、後通電の作用効果が発揮されていることが確認された。

[0130]（実験４　ナゲットのフレッシュマルテンサイト量）

種々の条件で、スポット溶接継手を製造し、その特性を評価した。具体的には、ナゲットの両端部の金属組織が含むフレッシュマルテンサイト量、焼戻しマルテンサイト量、及びベイナイト量と、鋼板の接合界面に沿った仮想線におけるナゲットの両端部のビッカース硬さとを、上述の方法で測定した。また、スポット溶接継手のＣＴＳを、ＪＩＳ　Ｚ　３１３７：１９９９「抵抗スポット及びプロジェクション溶接継手の十字引張試験に対する試験片寸法及び試験方法」に準拠して測定した。製造条件、及び評価結果を表２に示す。「ＦＭ」列は、フレッシュマルテンサイトの面積率を示す。「ＴＭ」列は、焼戻しマルテンサイトの面積率を示す。「Ｂ」は、ベイナイトの面積率を示す。「硬さ」は、ビッカース硬さを示す。

[0131]　なお、スポット溶接継手の製造に先立って、スポット溶接の本通電、冷却、及び後通電を模擬した再現熱サイクル試験を行った。再現熱サイクル試験を通じて、試験鋼板の硬さを目標値以下とし、且つ冷却及び後通電に要する合計時間を最短とする、終了温度及び昇温速度の組み合わせを特定した。例２、例３、及び例５のスポット溶接においては、ナゲットの温度が、再現熱サイクル試験によって特定された終了温度を下回ったと推定される時点以降に、冷却を終了した。さらに、後通電における昇温速度を、再現熱サイクル試験によって特定された昇温速度以下とした。

[0132]

[表2]

	クール時間+後通電時間(s)	アップスロープ	FM(面積%)	TM(面積%)	B(面積%)	硬さ(HV)	CTS(kN)	
1	-	-	100	0	0	600	6.52	比較例
2	2.0	有	40	45	15	446	10.0	実施例
3	2.1	有	35	44	21	408	10.2	実施例
4	2.1	無	48	52	0	512	7.11	比較例
5	2.3	有	28	40	32	351	12.1	実施例
6	1.8	有	52	43	5	533	7.02	比較例
7	1.7	有	65	33	2	587	6.98	比較例
8	4.0	無	0	100	0	300	14.2	比較例

[0133] 例１のスポット溶接では、後通電をしなかった。例１のスポット溶接継手では、ナゲットの組織がすべてフレッシュマルテンサイトとなった。

[0134] 例８のスポット溶接では、後通電を行った。また、例８のスポット溶接においては、クール時間を長くして、ナゲットを完全にマルテンサイト変態させてから後通電を開始した。これにより、例８のスポット溶接継手においては、フレッシュマルテンサイト量を低減して後通電の効果を最大限に発揮することができた。ただし、例８のスポット溶接においては、板組を冷却する工程に要する時間（クール時間）及び後通電をする工程に要する時間（後通電時間）の合計値が４秒となった。製造効率を改善する観点からは、後通電の効果を確保しながらクール時間及び後通電時間の合計値を減少させることが望ましい。

[0135] 例２、例３及び例５のスポット溶接では、後通電を行った。これにより、例２、例３及び例５のスポット溶接継手では、ナゲットのフレッシュマルテンサイト量が減少した。そして、例２、例３及び例５のスポット溶接継手のＣＴＳは、例１と比較して大きく向上した。さらに、例２、例３及び例５のスポット溶接では、クール時間及び合計値を、例８よりも大幅に減少させることができた。

[0136] 例４のスポット溶接では、後通電を行った。例４のスポット溶接における

クール時間及び後通電時間の合計値は、例３と同水準であった。ただし、例４のスポット溶接では、後通電における昇温速度を、再現熱サイクル試験によって特定された昇温速度を超える値とした。例４のスポット溶接継手においては、フレッシュマルテンサイト量が十分に低減されなかった。例４のスポット溶接継手のＣＴＳは、例１よりもわずかしか向上していなかった。即ち、例４のスポット溶接においては、後通電の効果がほとんど得られなかった。

[0137] 例６及び例７のスポット溶接では、後通電を行った。例６及び例７のスポット溶接における後通電の昇温速度は、例２～４と同水準とした。ただし、例６及び例７のスポット溶接では、ナゲットの温度が再現熱サイクル試験によって特定された終了温度を下回ったと推定される時点より前に、冷却を終了して後通電を開始した。例６及び例７のスポット溶接継手においては、フレッシュマルテンサイト量が十分に低減されなかった。例６及び例７のスポット溶接継手のＣＴＳは、例１よりもわずかしか向上していなかった。即ち、例６及び例７のスポット溶接においては、後通電の効果がほとんど得られなかった。

符号の説明

[0138] １　スポット溶接継手

１１　鋼板

１２　ナゲット

１２Ｅ　端部

１３　接合界面

１３Ｌ　仮想線

１４　圧痕

１５　シートセパレーション

Ｔ１　本通電温度

Ｔ２　冷却終了温度

Ｔ３　後通電温度

ｔ２　冷却時間

ｔ３　後通電時間

請求の範囲

[請求項1] 重ねられた２枚以上の鋼板と、

前記鋼板を接合するナゲットと、

を備えるスポット溶接継手であって、

前記ナゲットの断面において測定される、前記鋼板の接合界面に沿った仮想線における前記ナゲットの両端部の金属組織が、５～４０面積％のフレッシュマルテンサイトを含み、残部の９５面積％以上が焼戻しマルテンサイト及びベイナイトの一方又は両方である

スポット溶接継手。

[請求項2] １枚以上の前記鋼板が、炭素量０．２０質量％以上の高炭素鋼板である

ことを特徴とする請求項１に記載のスポット溶接継手。

[請求項3] 下記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘから、前記ナゲットの断面において測定される、前記鋼板の接合界面に沿った仮想線における前記ナゲットの両端部のビッカース硬さを引いた値が、ＨＶ５０以上である

ことを特徴とする請求項１又は２に記載のスポット溶接継手。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

ここで、前記式に含まれる元素記号は、複数の前記鋼板の化学成分の、板厚を重みとした加重平均における、前記元素記号に対応する元素の含有量である。

[請求項4] 前記ナゲットの前記両端部の前記金属組織が、２面積％以上の前記ベイナイトを含む

ことを特徴とする請求項１又は２に記載のスポット溶接継手。

[請求項5] スポット溶接継手の製造方法であって、

スポット溶接の本通電、冷却、及び後通電を模擬しており、且つ前記冷却の終了温度及び前記後通電における昇温速度を相違させた複数

回の再現熱サイクル試験を、試験鋼板に行う工程と、

前記再現熱サイクル試験の後に、前記試験鋼板の硬さを測定する工程と、

前記再現熱サイクル試験における前記冷却の前記終了温度及び前記後通電の前記昇温速度、並びに前記再現熱サイクル試験の後の前記試験鋼板の前記硬さの相関を特定する工程と、

前記試験鋼板の前記硬さを目標値以下とし、且つ前記冷却及び前記後通電に要する合計時間を最短とする、前記終了温度及び前記昇温速度の組み合わせを特定する工程と、

重ねられた２枚以上の鋼板である板組に、スポット溶接用の一対の電極を用いて本通電をする工程と、

一対の前記電極を用いて前記板組を加圧したまま電流を小さくすることにより、前記板組を冷却する工程と、

前記本通電及び前記冷却によって前記板組に形成されたナゲットに、一対の前記電極を用いて後通電をする工程と、

を備え、

前記鋼板の板厚を重みとした、前記鋼板の炭素量の加重平均と、前記試験鋼板の炭素量とを略同一とし、

前記ナゲットの温度が、前記再現熱サイクル試験によって特定された前記終了温度を下回ったと推定される時点以降に、前記冷却を終了し、

前記後通電における昇温速度を、前記再現熱サイクル試験によって特定された前記昇温速度以下とする

スポット溶接継手の製造方法。

[請求項6] 前記目標値を、下記式によって算出される推定最大ビッカース硬さＨＶｍａｘ－ＨＶ１５０以下の値とする

ことを特徴とする請求項５に記載のスポット溶接継手の製造方法。

ＨＶｍａｘ＝２１７＋１０８０×（Ｃ＋Ｓｉ／７０＋Ｍｎ／１１３

＋Ｃｒ／９３＋Ｍｏ／３０）

ここで、前記式に含まれる元素記号は、前記試験鋼板の化学成分の、板厚を重みとした加重平均における、前記元素記号に対応する元素の含有量である。

[請求項7] 前記鋼板の前記板厚を重みとした、前記鋼板のＭｎ量の加重平均、Ｃｒ量の加重平均、及びＮｉ量の加重平均と、前記試験鋼板のＭｎ量、Ｃｒ量、及びＮｉ量とを、それぞれ略同一とする

ことを特徴とする請求項５又は請求項６に記載のスポット溶接継手の製造方法。

[請求項8] 前記再現熱サイクル試験によって特定された前記冷却の終了温度の上限値及び前記昇温速度の下限値の組み合わせを再現可能な冷却時間及び後熱電流を、シミュレーションによって推定する工程をさらに備え、

前記シミュレーションによって特定された前記冷却時間及び後通電時間を、前記板組の前記冷却及び前記後通電に適用する

ことを特徴とする請求項５又は請求項６に記載のスポット溶接継手の製造方法。

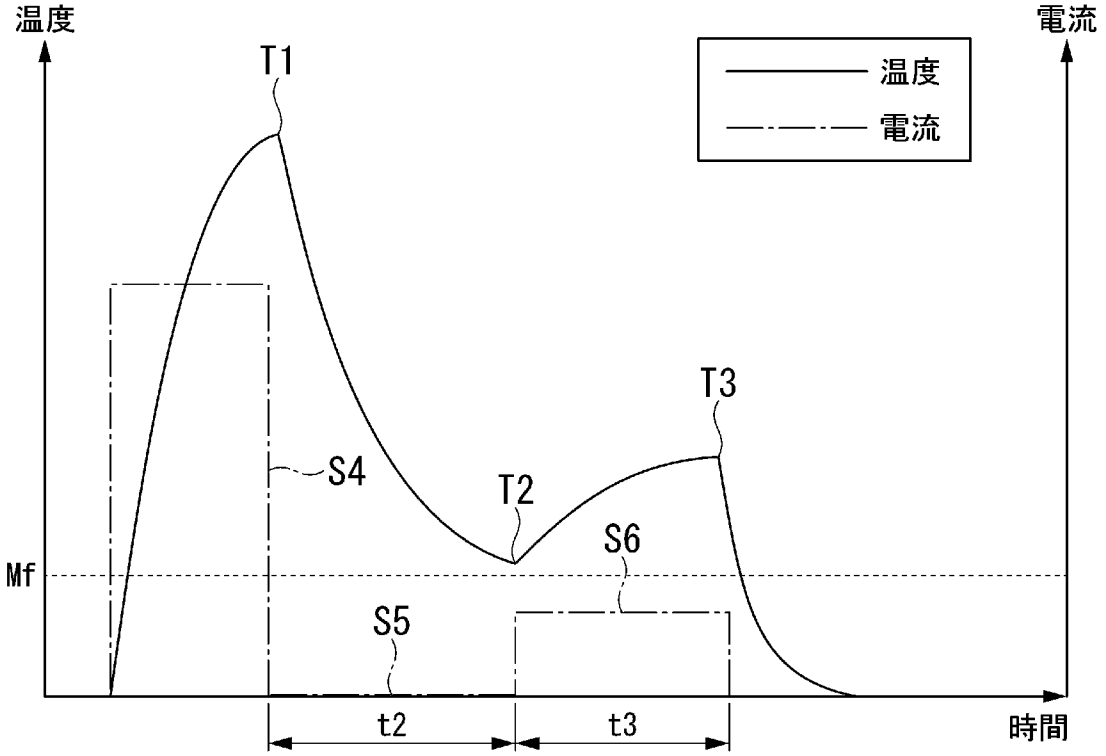
[請求項9] 前記後通電の前半をアップスロープ通電とする

ことを特徴とする請求項５又は請求項６に記載のスポット溶接継手の製造方法。

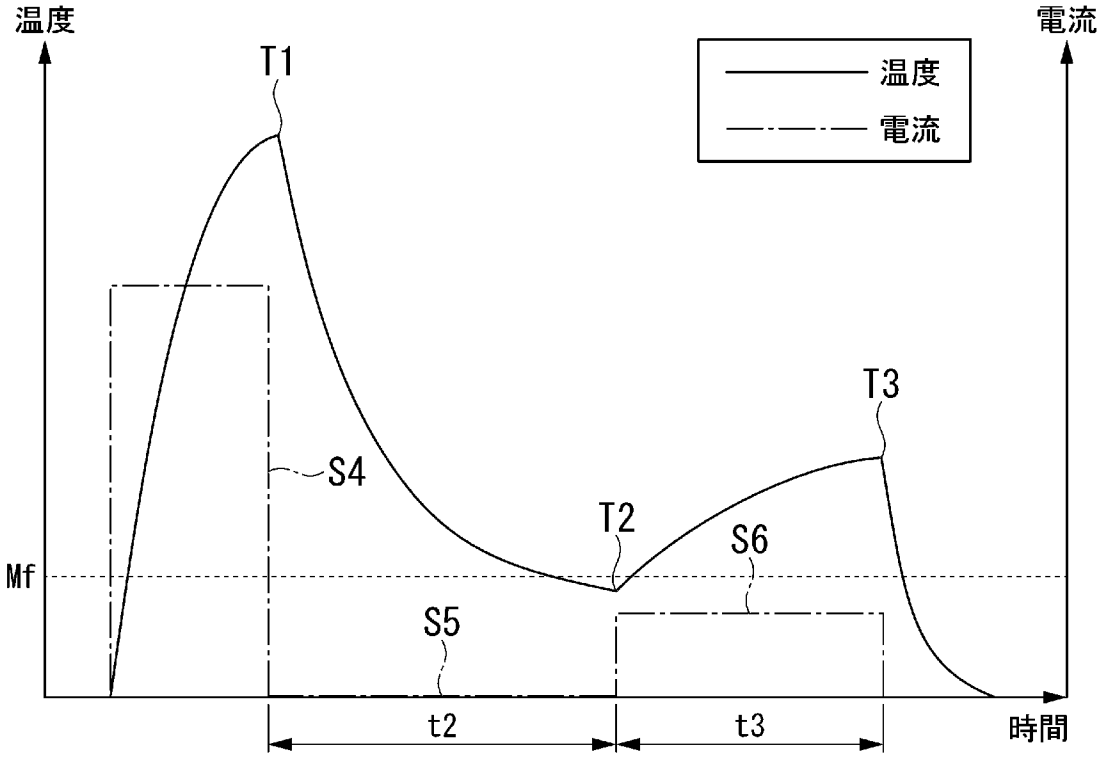
[請求項10] １枚以上の前記鋼板を、炭素量０．２０質量％以上の高炭素鋼板とする

ことを特徴とする請求項５又は請求項６に記載のスポット溶接継手の製造方法。

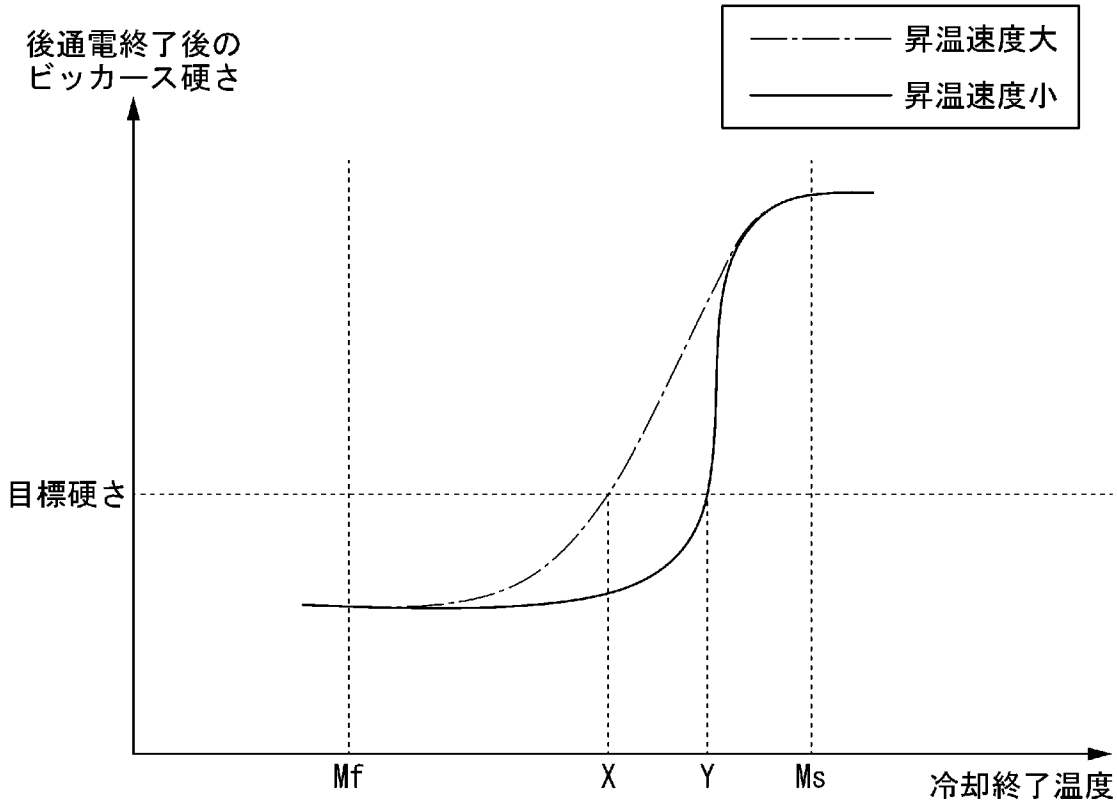
[図1]


温度
電流
T1
温度
電流
T3
S4
T2
S6
Mf
S5
t2
t3
時間

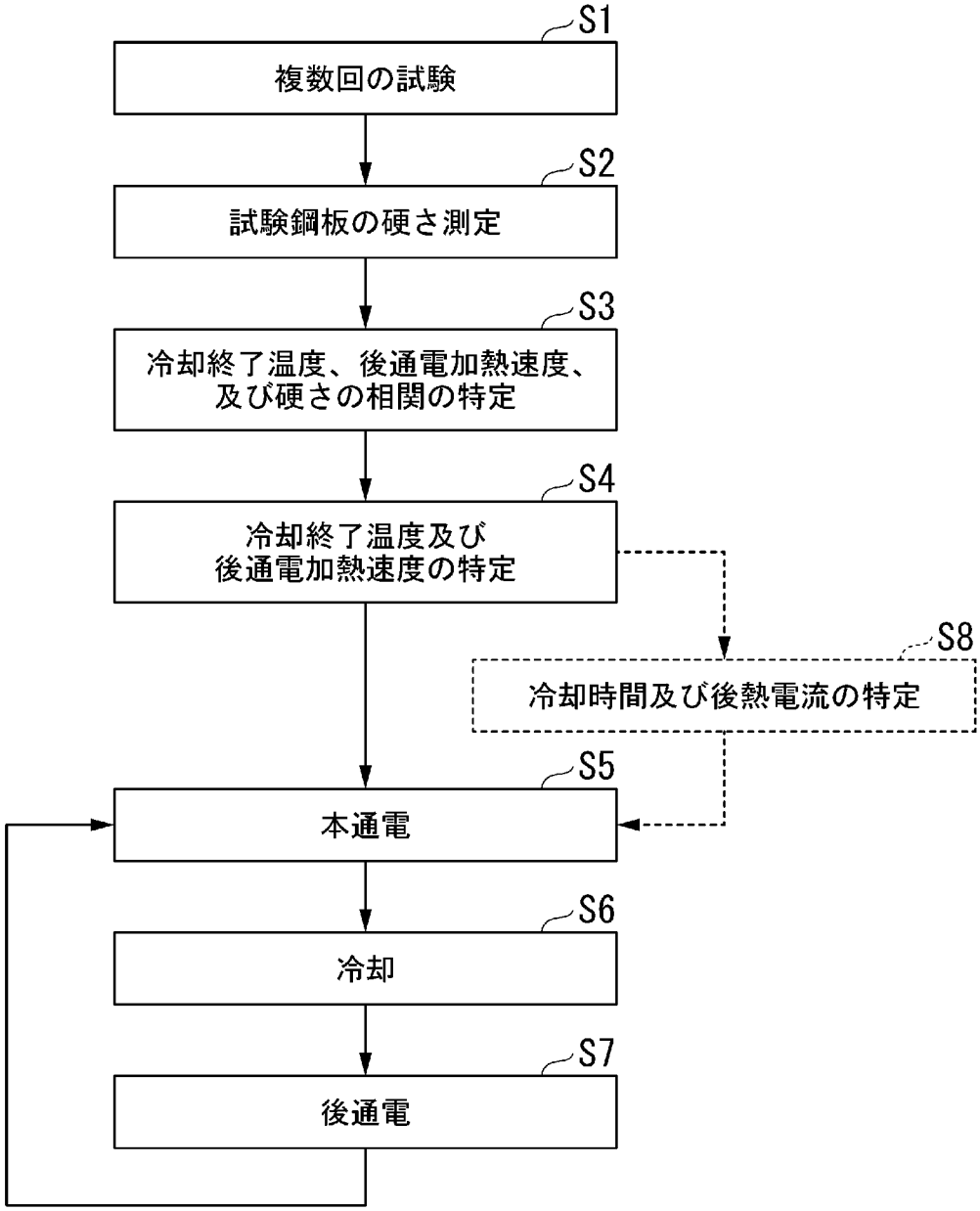
[図2]


温度
電流
T1
温度
電流
T3
S4
T2
S6
Mf
S5
t2
t3
時間

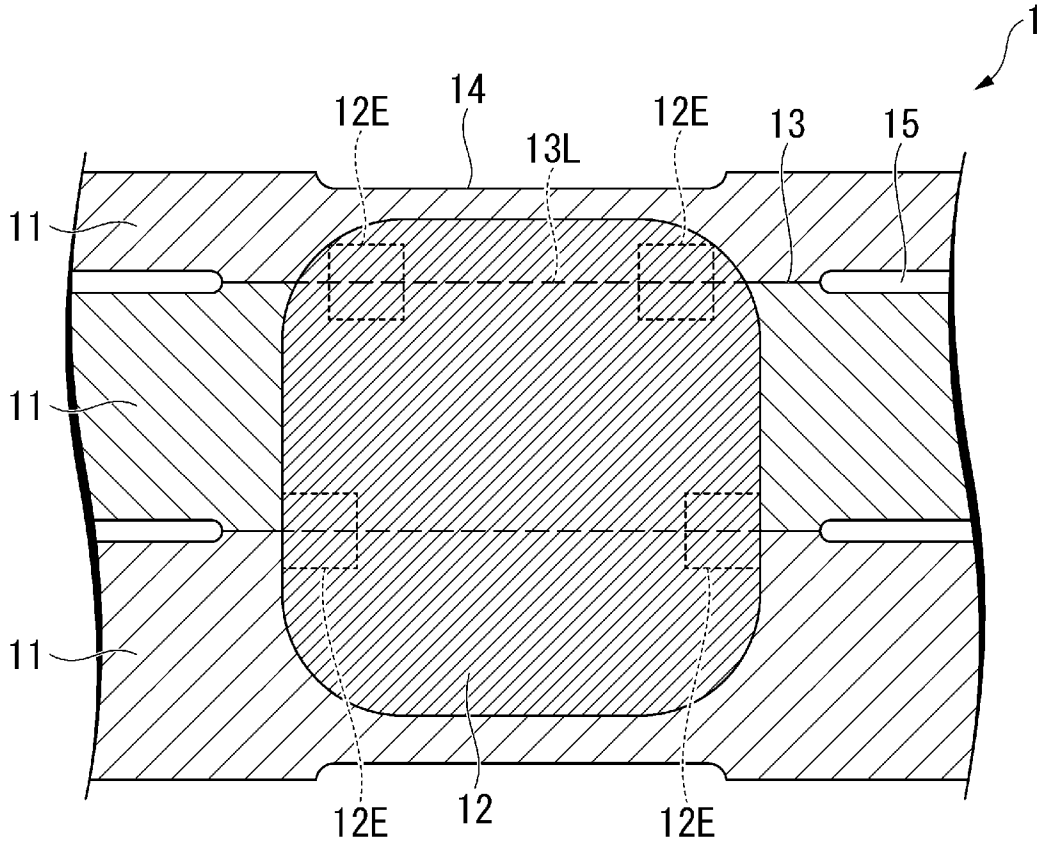
[図3]



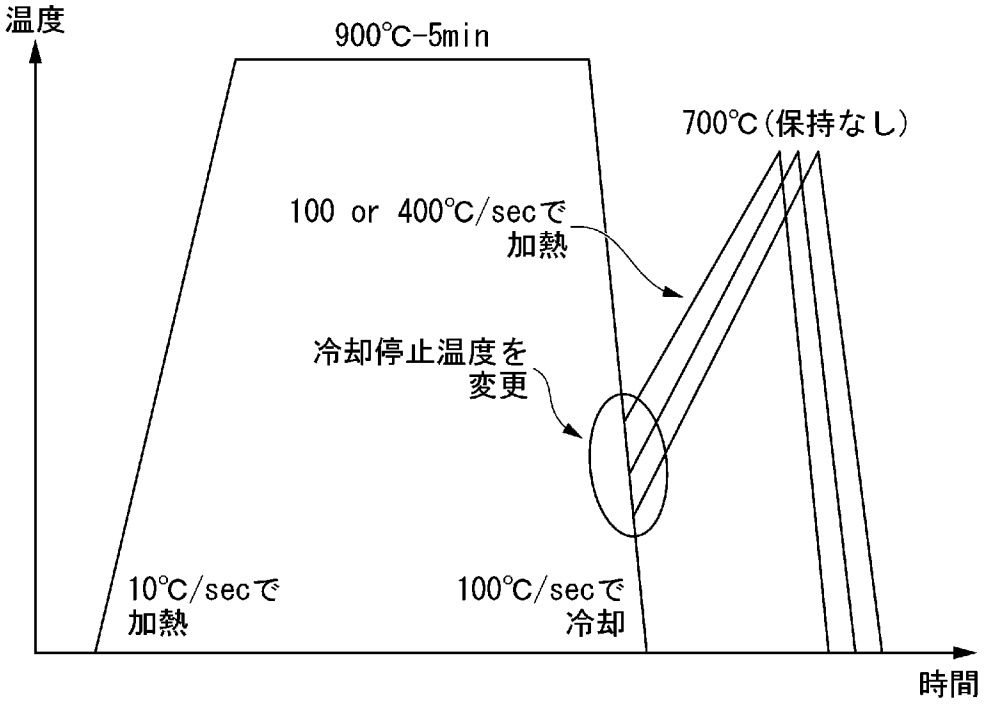
[図4]


S1
複数回の試験
S2
試験鋼板の硬さ測定
S3
冷却終了温度、後通電加熱速度、
及び硬さの相関の特定
S4
冷却終了温度及び
後通電加熱速度の特定
S8
冷却時間及び後熱電流の特定
S5
本通電
S6
冷却
S7
後通電

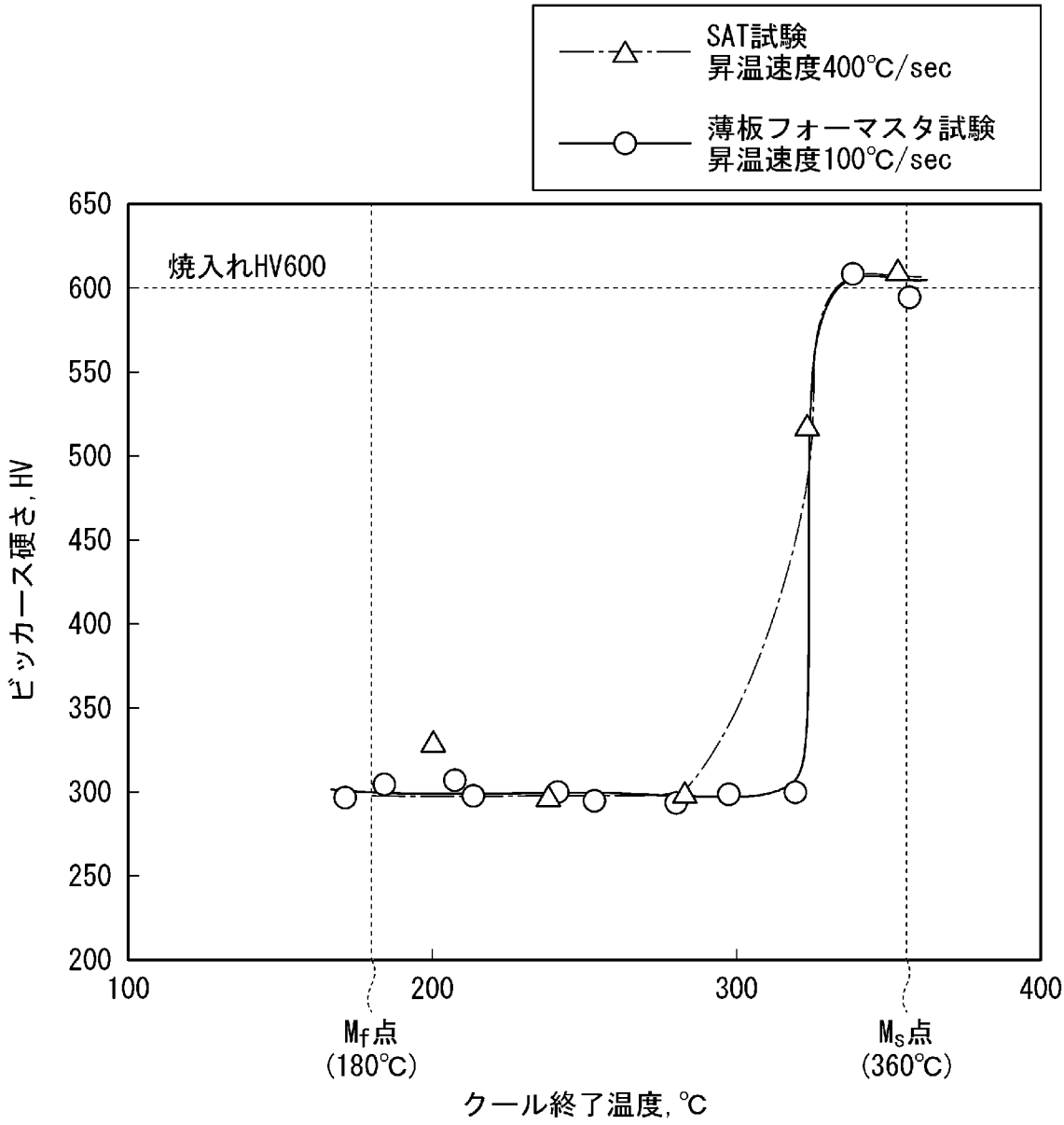
[図5]


1
12E
14
12E
13
15
13L
11
11
11
12E
12
12E

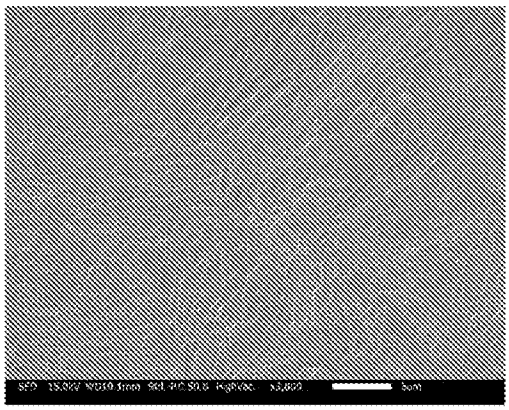
[図6]


温度
900℃-5min
700℃(保持なし)
100 or 400℃/secで
加熱
冷却停止温度を
変更
10℃/secで
加熱
100℃/secで
冷却
時間

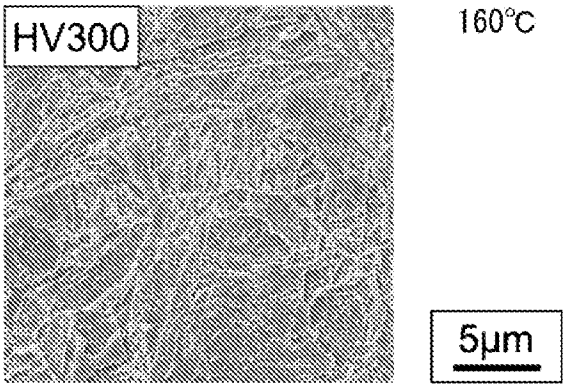
[図7]


SAT試験
昇温速度400℃/sec
薄板フォーマスタ試験
昇温速度100℃/sec
焼入れHV600
ビッカース硬さ, HV
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
100
200
300
400
Mf点
(180℃)
Ms点
(360℃)
クール終了温度, ℃

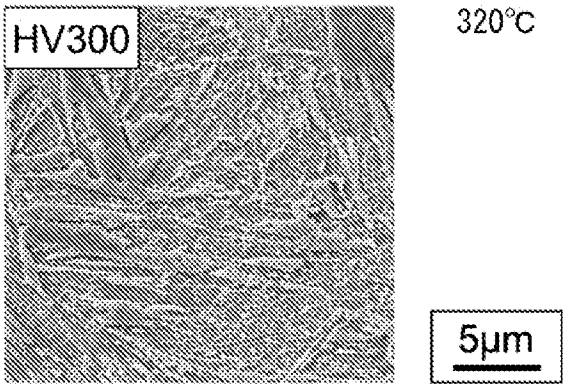
[図8A]



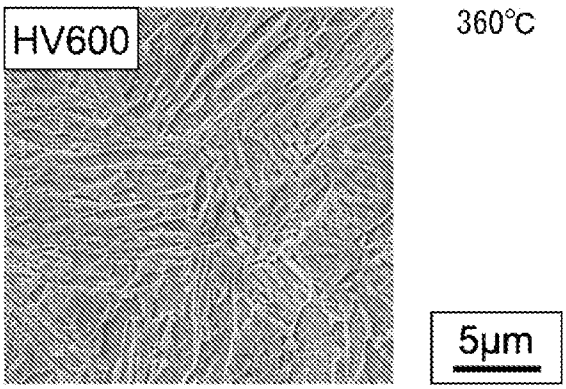
[図8B]



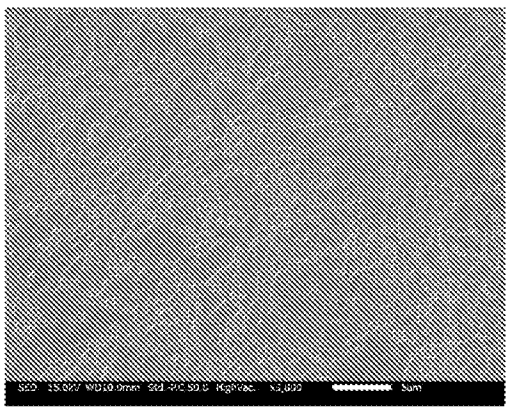
[図8C]



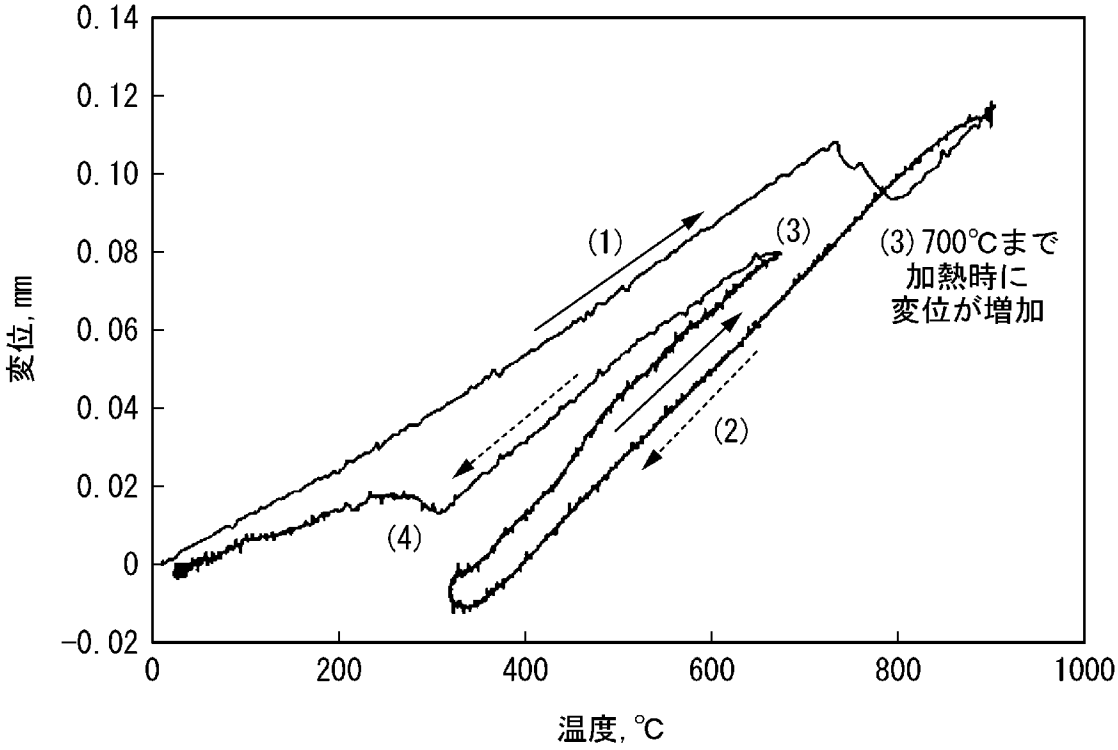
[図8D]



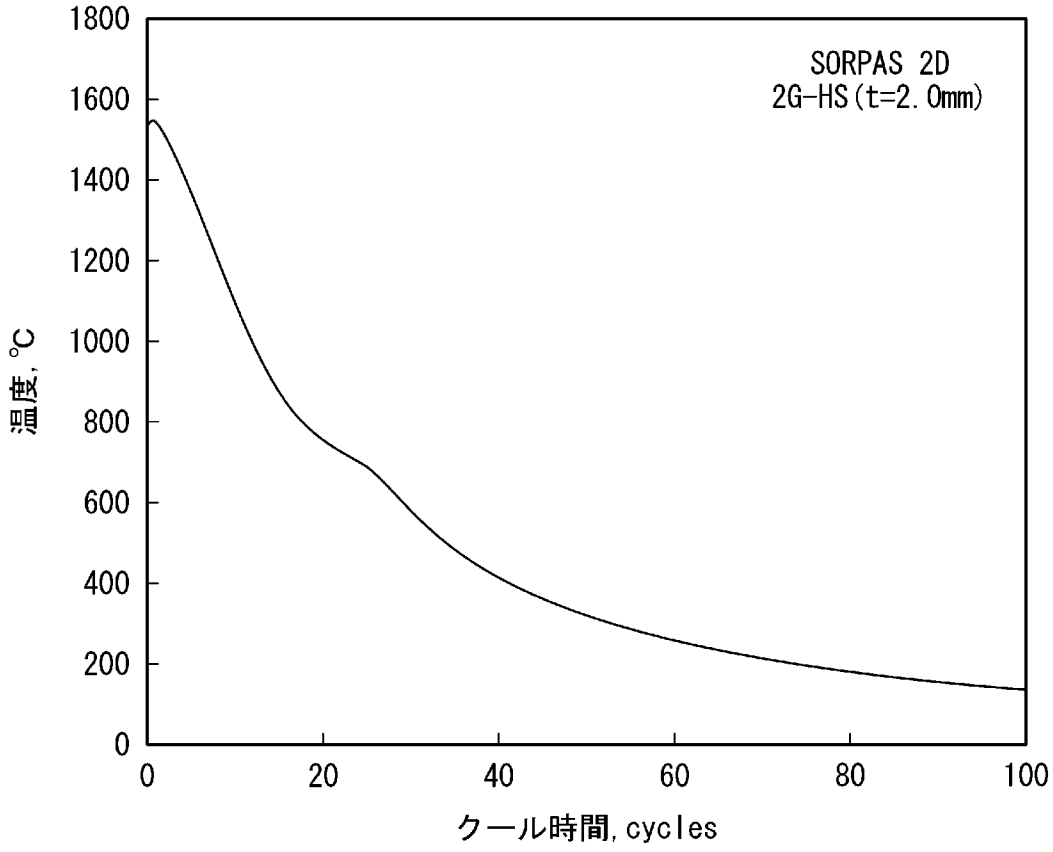
[図8E]



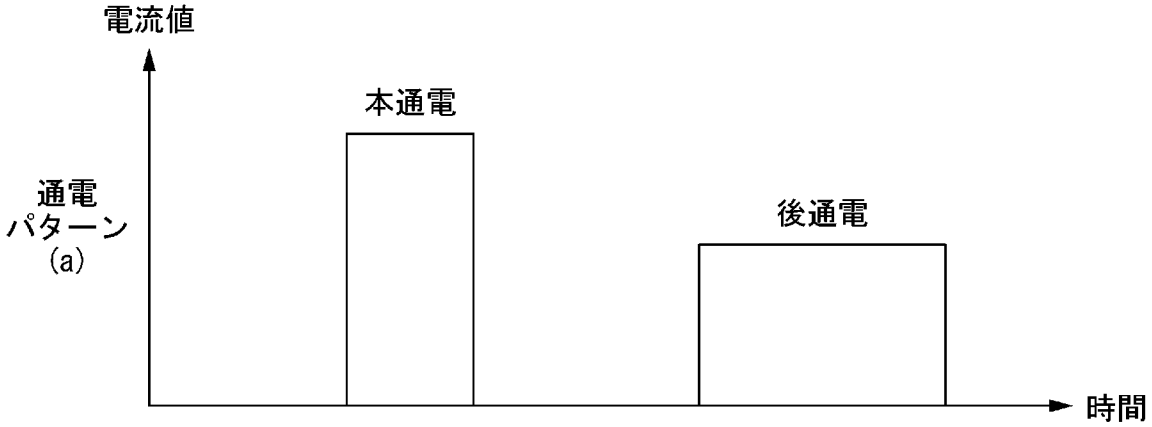
[図9]


0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0
−0.02
変位, mm
0
200
400
600
800
1000
温度, ℃
(1)
(2)
(3)
(4)
(3) 700℃まで
加熱時に
変位が増加

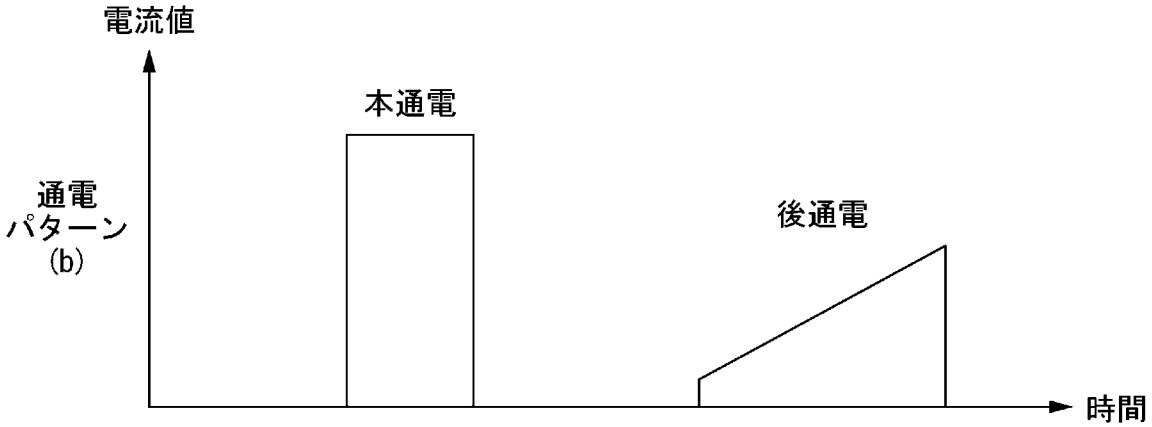
[図10]


1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
温度, ℃
0
20
40
60
80
100
クール時間, cycles
SORPAS 2D
2G-HS(t=2.0mm)

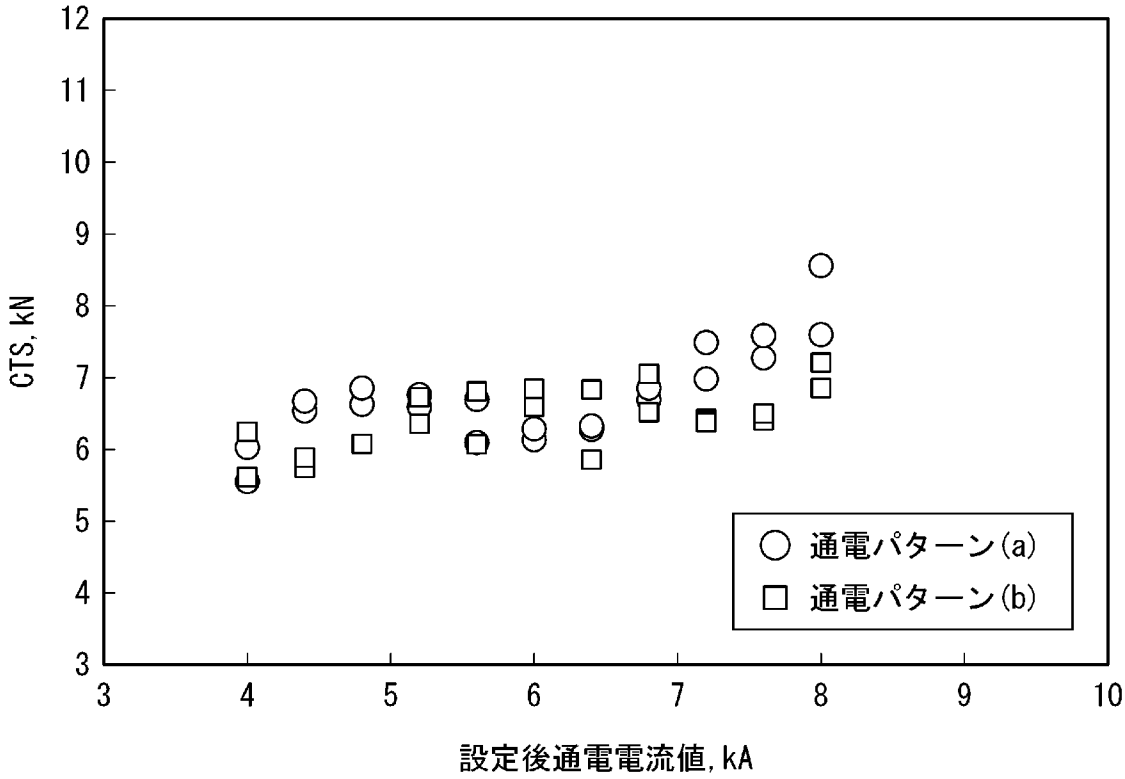
[図11A]



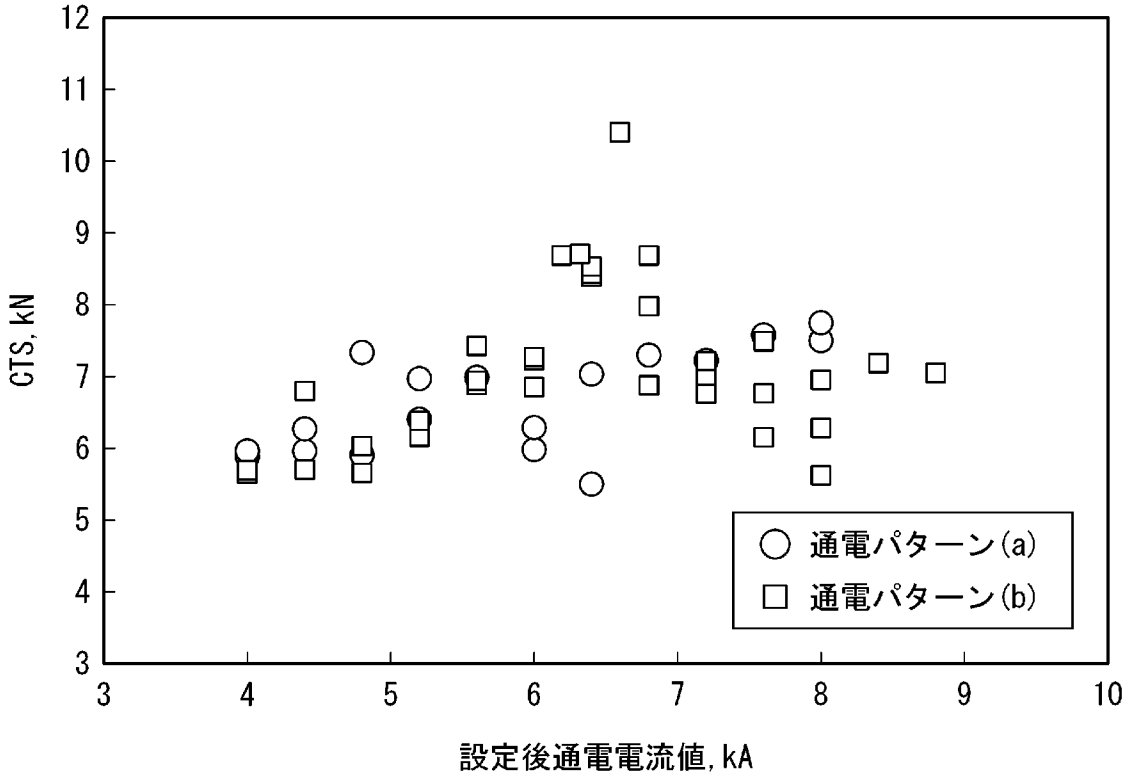
[図11B]



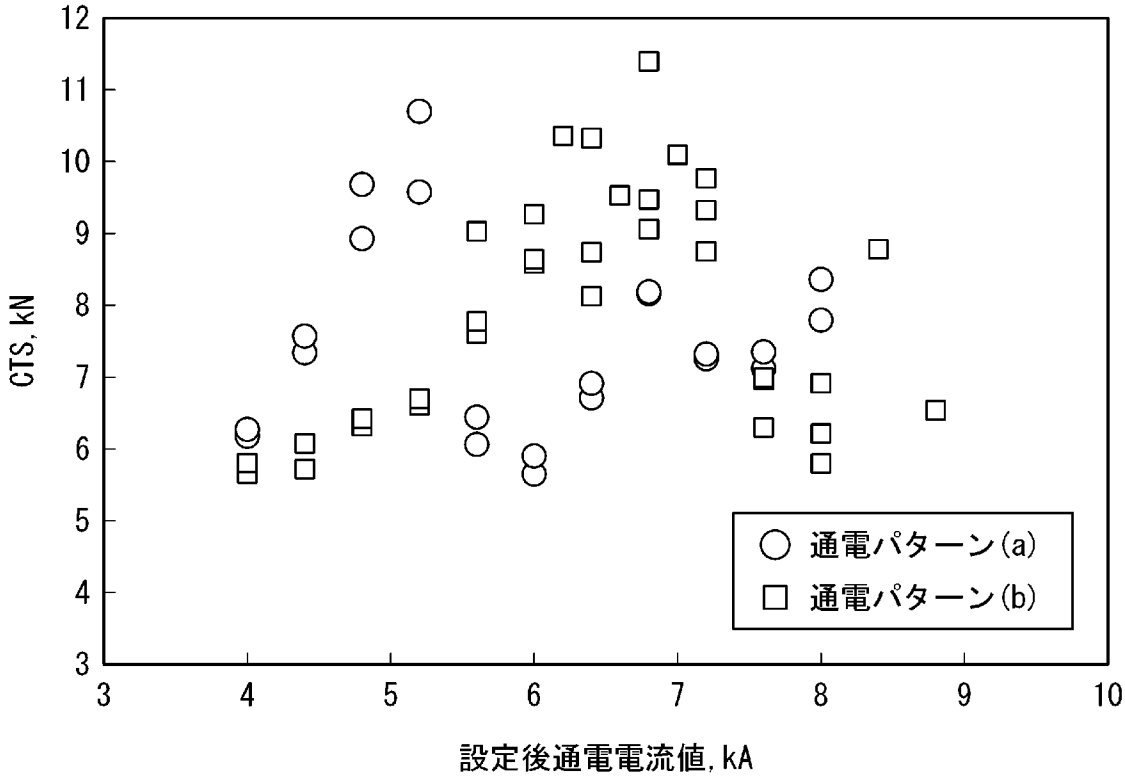
[図12A]



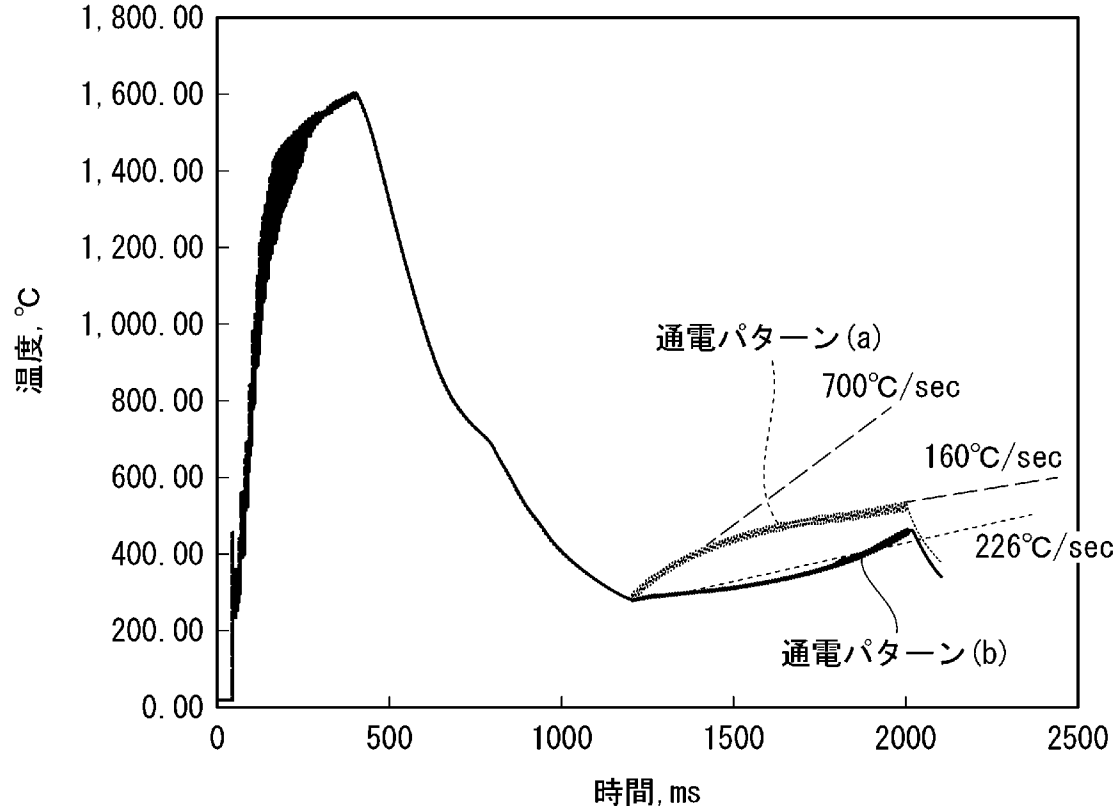
[図12B]


CTS, kN
設定後通電電流値, kA
通電パターン(a)
通電パターン(b)

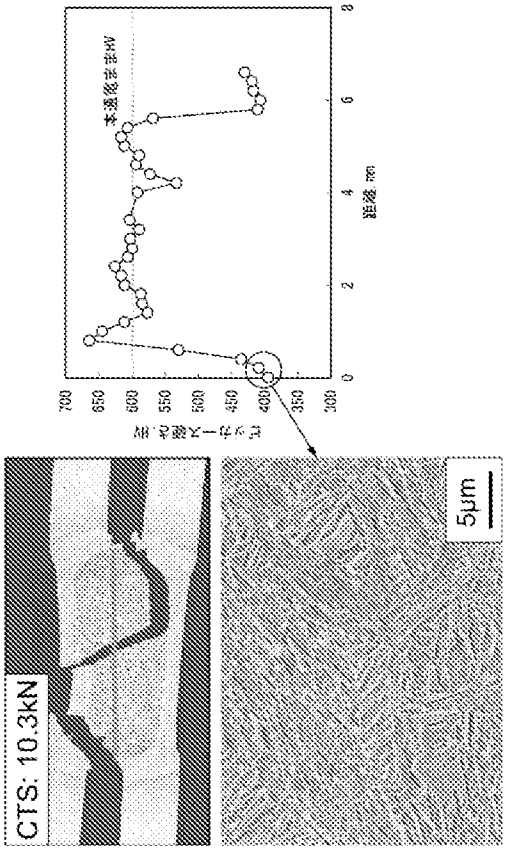
[図12C]


CTS, kN
設定後通電電流値, kA
通電パターン(a)
通電パターン(b)

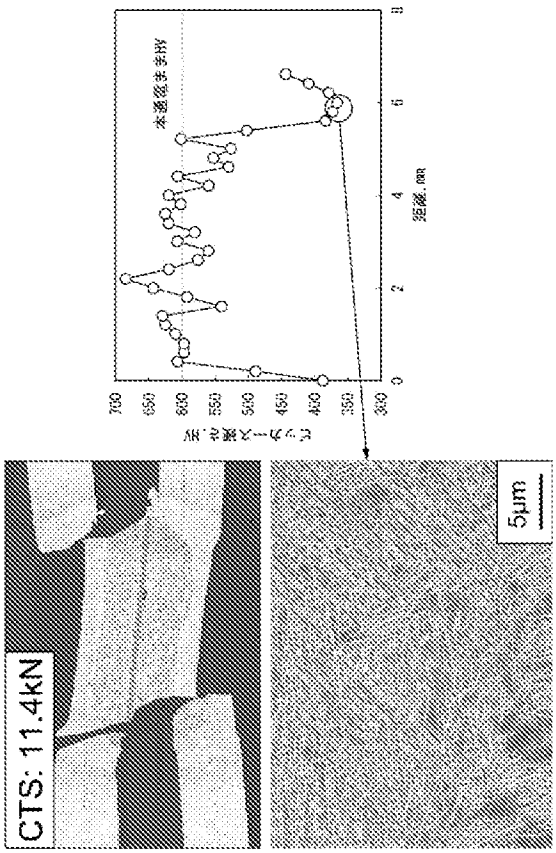
[図13]


1,800.00
1,600.00
1,400.00
1,200.00
1,000.00
800.00
600.00
400.00
200.00
0.00
温度, °C
0
500
1000
1500
2000
2500
時間, ms
通電パターン(a)
700℃/sec
160℃/sec
226℃/sec
通電パターン(b)

[図14]


CTS: 10.3kN
5μm

[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/040670

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K 11/24(2006.01)i; ***B23K 11/11***(2006.01)i; ***B23K 11/16***(2006.01)i
FI: B23K11/24 315; B23K11/24 338; B23K11/16; B23K11/11 540

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)

B23K11/24; B23K11/11; B23K11/16

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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.
A	WO 2011/025015 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 03 March 2011 (2011-03-03) entire text, all drawings	1-10
A	US 2008/0203139 A1 (MCCRINK, Edward J.) 28 August 2008 (2008-08-28) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2023-108212 A (JFE STEEL CORPORATION) 04 August 2023 (2023-08-04) entire text, all drawings	1-10

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

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 January 2025	**28 January 2025**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/040670

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2011/025015 A1	03 March 2011	US 2012/0141829 A1 entire text, all drawings EP 2474381 A1 KR 10-2012-0038512 A MX 2012002346 A CN 102625740 A ES 2743306 T3	
US 2008/0203139 A1	28 August 2008	WO 2008/086028 A1 CA 2711795 A1 KR 10-2005-0038595 A	
JP 2023-108212 A	04 August 2023	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/040670

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B23K 11/24(2006.01)i; B23K 11/11(2006.01)i; B23K 11/16(2006.01)i
FI: B23K11/24 315; B23K11/24 338; B23K11/16; B23K11/11 540

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））

B23K11/24; B23K11/11; B23K11/16

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４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
A	WO 2011/025015 A1 (新日本製鐵株式会社) 03.03.2011 (2011-03-03) 全文,全図	1-10
A	US 2008/0203139 A1 (MCCRINK EDWARD J) 28.08.2008 (2008-08-28) 全文,全図	1-10
A	JP 2023-108212 A (ＪＦＥスチール株式会社) 04.08.2023 (2023-08-04) 全文,全図	1-10

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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
16.01.2025	28.01.2025

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/JP2024/040670

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2011/025015 A1	03.03.2011	US 2012/0141829 A1 全文,全図 EP 2474381 A1 KR 10-2012-0038512 A MX 2012002346 A CN 102625740 A ES 2743306 T3	
US 2008/0203139 A1	28.08.2008	WO 2008/086028 A1 CA 2711795 A1 KR 10-2005-0038595 A	
JP 2023-108212 A	04.08.2023	（ファミリーなし）	