

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7626253号
(P7626253)

(45)発行日 令和7年2月4日(2025.2.4)

(24)登録日 令和7年1月27日(2025.1.27)

(51)国際特許分類	F I
B 2 3 K 11/11 (2006.01)	B 2 3 K 11/11 5 4 0
B 2 3 K 11/16 (2006.01)	B 2 3 K 11/16 3 1 1
B 2 3 K 11/36 (2006.01)	B 2 3 K 11/36

請求項の数 13 (全14頁)

(21)出願番号	特願2023-575677(P2023-575677)	(73)特許権者	000001258
(86)(22)出願日	令和5年8月30日(2023.8.30)		J F E スチール株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/031609		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(87)国際公開番号	WO2024/070459	(74)代理人	100147485
(87)国際公開日	令和6年4月4日(2024.4.4)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	令和5年12月7日(2023.12.7)	(74)代理人	230118913
(31)優先権主張番号	特願2022-157121(P2022-157121)		弁理士 杉村 光嗣
(32)優先日	令和4年9月29日(2022.9.29)	(74)代理人	100165696
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 川原 敬祐
		(74)代理人	100119079
			弁理士 伊藤 佐保子
		(72)発明者	遠藤 一輝
			東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
			J F E スチール株式会社内
		(72)発明者	前田 聡

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 抵抗スポット溶接方法及び溶接継手の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

二枚以上重ね合わせた鋼板を一对の溶接電極で挟持し、前記鋼板を加圧しながら通電し、前記鋼板相互の重ね合わせ面にナゲットを形成して、前記鋼板同士を接合する、抵抗スポット溶接方法において、

前記接合後に、接合後の鋼板の表面法線方向と定常磁場の印加方向のなす角度が0°超の角度で、磁束密度が0.1~15Tとなるように定常磁場を、前記接合により前記接合後の鋼板の表面に生じた溶接痕に印加することを含み、

前記通電の開始から前記定常磁場を印加開始するまでの時間が10秒以上である、抵抗スポット溶接方法。

【請求項 2】

前記定常磁場を印加する時間が1秒以上である、請求項1に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 3】

前記鋼板のうち少なくとも一枚が、780MPa以上の引張強さを有する、請求項1又は2に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 4】

前記鋼板のうち少なくとも一枚が、少なくとも一方の表面にめっき被膜を有する、請求項1又は2に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 5】

前記鋼板のうち少なくとも一枚が、少なくとも一方の表面にめっき被膜を有する、請求項 3 に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 6】

前記めっき被膜が溶融亜鉛めっき被膜又は合金化溶融亜鉛めっき被膜である、請求項 4 に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 7】

前記めっき被膜が溶融亜鉛めっき被膜又は合金化溶融亜鉛めっき被膜である、請求項 5 に記載の抵抗スポット溶接方法。

【請求項 8】

請求項 1 又は 2 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。 10

【請求項 9】

請求項 3 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。

【請求項 10】

請求項 4 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。

【請求項 11】

請求項 5 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。 20

【請求項 12】

請求項 6 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。

【請求項 13】

請求項 7 に記載の抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、抵抗スポット溶接方法及び当該抵抗スポット溶接方法を用いた溶接継手の製造方法に関する。 30

【背景技術】

【0002】

自動車等の車両の外観の加工には、仕上がりの見た目の良さから、抵抗スポット溶接が広く用いられている。抵抗スポット溶接とは、金属に圧力をかけて金属同士を接合させる技術の一つである。具体的には、抵抗スポット溶接とは、接合したい 2 つ以上の金属（例えば、鋼板）の両側から電極を当て、適度な圧力を加えながら通電することで徐々に金属を溶融させ、その後、金属を冷却して溶融部を凝固させることにより、金属同士を接合させる技術である。金属同士が接合された部位及びその周辺に形成される、接合により溶融を経た熱影響部はナゲットと呼ばれる。また、ナゲットを介して接合された部位は溶接継手と呼ばれる。 40

【0003】

ここで、抵抗スポット溶接では、金属の溶融・凝固過程において、ナゲット部分に高い引張応力が残存する。加えて、溶接時の上記溶融・凝固過程において、鋼板表面に存在していた防錆油、水分、めっき被膜、表面処理剤等が金属内に取り込まれて水素が発生又は侵入する。この水素は引張応力部に集積し易いので、結果として、溶接及び冷却後の金属では、ナゲット内の残留応力及び水素に起因して、溶接継手に遅れ破壊が発生することが問題となっている。

遅れ破壊とは、金属に加わる応力が降伏強度以下の状態であるにも関わらず、溶接等の加工完了から一定の時間が経過した後に、金属が突然破断してしまう現象である。 50

【 0 0 0 4 】

一方、車体の高強度化による耐衝突性能の向上を目的に、自動車等の車両用鋼板として高強度鋼板が用いられることがある。一般に、高強度鋼板は、多量のCのみならず種々の合金元素を添加して強度を高めた鋼板であるが、水素脆化感受性が大きい。したがって、上述した遅れ破壊は、高強度鋼板の抵抗スポット溶接においてとりわけ大きな問題となる。

【 0 0 0 5 】

このような遅れ破壊の問題に対し、特許文献1では、ある加圧力で溶接通電を行った後、この加圧力よりも高い加圧力で後通電、更には電極保持を行うことにより、溶接部における引張残留応力を低減させ、耐遅れ破壊特性を向上させている。また、特許文献1には、上記電極保持の後、更に「溶接後の熱処理」を120～220 で100～6000s

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【文献】特許第6194765号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、特許文献1は、遅れ破壊に対して、もっぱら加圧力や通電パターンの適正化により引張残留応力を低減させることに主眼を置いた技術であり、鋼板の水素脆性については更なる改善の余地があった。しかも特許文献1の技術では、この水素脆性に関し、溶接通電と後通電との間に設けられた無通電の冷却時間により溶接部が急速に冷却されることから、多くの水素がナゲットの外部へと拡散することなく残存してナゲット内の残存水素量が高まるため、残存水素に起因した遅れ破壊を抑制し難いという懸念がある。また、残存水素に対して、特許文献1に開示された「溶接後の熱処理」を行うとしても、熱処理設備のためのコストアップが避けられないこと、及び、熱処理に起因して鋼板の組織が変化することにより、材料特性が変化してしまうことが更に懸念される。

20

したがって、より優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を得るべく、抵抗スポット溶接においてナゲット内に残存する水素をより良好に制御し得る手法を検討する必要がある。

30

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記課題に鑑み、水素脆性を改善することにより、優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を得ることが可能な、抵抗スポット溶接方法及び溶接継手の製造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】

【 0 0 0 9 】

上記課題を解決するため、本発明者らは、抵抗スポット溶接時にナゲット内に発生又は侵入した水素を鋼板の外部に逃がすことにより、得られる溶接継手の耐遅れ破壊特性を向上させる方途について鋭意検討した。その結果、本発明者らは、接合後の鋼板（接合体）に定常磁場を印加することが、熱処理による組織変化に起因する材質の変化を伴わずに、溶接継手の耐遅れ破壊特性を向上させるために有効であるとの新たな知見を得た。

40

そして、本発明者らは、抵抗スポット溶接において、ナゲットが形成された接合後の鋼板に対して所定の条件下で定常磁場を印加すれば、優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を簡便に得られることを見出した。

【 0 0 1 0 】

本発明は上記の知見に基づいてなされたものであり、その要旨は以下のとおりである。
[1] 二枚以上重ね合わせた鋼板を一对の溶接電極で挟持し、前記鋼板を加圧しながら通電し、前記鋼板相互の重ね合わせ面にナゲットを形成して、前記鋼板同士を接合する、抵抗スポット溶接方法において、

50

前記接合後に、接合後の鋼板の表面法線方向と定常磁場の印加方向のなす角度が 0° 超の角度で、磁束密度が $0.1 \sim 1.5 \text{ T}$ となるように定常磁場を、前記接合により前記接合後の鋼板表面に生じた溶接痕に印加することを含む、抵抗スポット溶接方法。

【0011】

ここで、本明細書において、「ナゲット」は、通常、鋼板相互の重ね合わせ面（図1, 3の符号12, 22を参照）側に形成され、抵抗スポット溶接後の鋼板の表面（図1, 3の符号11, 21を参照）からは直接視認することができないが、この溶接の際に、重ね合わせた鋼板の表面に生じる抵抗スポット溶接点である溶接痕（図2の符号6、図3の符号13, 23を参照）をもって「ナゲット」が形成されていることを確認することができる。

10

そして、本明細書において、「磁束密度」は、例えば、後述する方法に従って測定することができる。

【0012】

[2] 前記定常磁場を印加する時間が1秒以上である、前記1に記載の抵抗スポット溶接方法。

[3] 前記鋼板のうち少なくとも一枚が、 780 MPa 以上の引張強さを有する、前記1又は2に記載の抵抗スポット溶接方法。

[4] 前記鋼板のうち少なくとも一枚が、少なくとも一方の表面にめっき被膜を有する、前記1～3のいずれかに記載の抵抗スポット溶接方法。

[5] 前記めっき被膜が溶融亜鉛めっき被膜又は合金化溶融亜鉛めっき被膜である、前記4に記載の抵抗スポット溶接方法。

20

[6] [1]～[5]のいずれかの抵抗スポット溶接方法を用いて鋼板同士を接合して溶接継手を得ることを含む、溶接継手の製造方法。

【発明の効果】

【0013】

本発明の抵抗スポット溶接方法によれば、鋼板同士を接合しても、熱処理による組織変化に起因した鋼板の材質の変化なしに、遅れ破壊の問題を良好に回避することができる。また、本発明の溶接継手の製造方法によれば、優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を簡便に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0014】

【図1】本発明の一実施形態に従った、ナゲットを形成して鋼板同士を接合する様子を示す模式図である。

【図2】本発明の一実施形態に従った、接合後の鋼板を一表面側から見た平面図である。

【図3】本発明の一実施形態に従った、鋼板同士を接合した後に、接合後の鋼板表面の溶接痕に対して定常磁場を照射する様子を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0016】

40

本発明の抵抗スポット溶接方法では、二枚以上重ね合わせた、例えば鋼板1, 2を、一对の溶接電極4, 5で挟持し、加圧しながら通電し、鋼板相互の重ね合わせ面（重ね合わせ部）12, 22側にナゲット3を形成し、鋼板同士を接合した後に、接合の際に、重ね合わせた鋼板の表面に生じる溶接痕13, 23のうちの少なくとも一方に対して、所定のなす角と所定の磁束密度で定常磁場を印加する。

【0017】

そして、本発明の抵抗スポット溶接方法に従えば、主にナゲットに集積する水素を効率的に鋼板外部へと逃がすことにより、熱処理による組織変化に起因する材質の変化を伴わずに、スポット溶接部の遅れ破壊の問題を良好にかつ簡便に回避することができる。

【0018】

50

また、本発明の溶接継手の製造方法は、上述した本発明の抵抗スポット溶接方法と同様の特徴を有する。そして、本発明の溶接継手の製造方法に従えば、優れた耐遅れ破壊特性を有する溶接継手が簡便に得られる。

【0019】

ここで、接合後の鋼板に定常磁場を印加することで鋼板の耐遅れ破壊特性を改善できる理由は明らかではないが、本発明者らは以下のとおり推察する。

すなわち、接合の際に、重ね合わせた鋼板の表面に生じる溶接痕に対して、所定の条件で定常磁場を印加することにより、磁歪効果により、鋼板形状が変化する。その形状変化は、格子間隔が拡張することに起因し、拡散のためのポテンシャルエネルギーが減少するために、鋼板中の水素の拡散速度が増加し、当該表面から脱離する。このように、鋼板に対して所定の条件で印加した磁場が、鋼中の拡散性水素を十分にかつ効率よく低減させ、ひいては、鋼中、特に引張残留応力部であるナゲットに集積する水素を十分にかつ効率よく低減させるので、溶接継手の耐遅れ破壊特性を改善できるものと推察される。

【0020】

以下、本発明の抵抗スポット溶接方法についていくつかの実施形態に従って詳述するが、本発明の抵抗スポット溶接方法はこれに限定されるものではない。また、本発明の溶接継手の製造方法は、本発明の抵抗スポット溶接方法について詳述される特徴と同様の特徴を有し、本発明の溶接継手の製造方法も後述される実施形態に限定されない。

【0021】

< 鋼板同士の接合 >

本発明の抵抗スポット溶接方法では、鋼板の接合後にナゲットから水素を効率的に逃がすことができる。したがって、複数の鋼板同士を接合して溶接体を得るまでの工程については特に制限されず、一般的な抵抗スポット溶接の条件に従えばよい。一般的な抵抗スポット溶接の通電条件として、例えば、電流は1 kA ~ 15 kA、通電時間は100 ms ~ 2000 ms、加圧力は0.5 kN ~ 10 kNの範囲とすることができる。

【0022】

図1、2に示す本発明の一実施形態では、二枚重ね合わせた鋼板1、2の表面11、21に一对の溶接電極4、5を押し当てて通電する。このとき、鋼板相互の重ね合わせ面12、22の通電された部位が、抵抗発熱により一旦溶融し、その後凝固してナゲット3を形成する。このように、抵抗スポット溶接方法では、鋼板1、2が固体状態のナゲット3を介して接合される。このナゲット3は、通常、接合後の鋼板の表面11、21には直接現れない。しかし、接合後の鋼板の表面11、21には、溶接電極4、5を押し当てた箇所に焼け跡及び/又は凹みの溶接痕6が生じている。したがって、この抵抗スポットの溶接痕6の板厚方向内部にナゲット3が存在することが確認でき、この溶接痕6を、後述する定常磁場を印加する工程において「ナゲット相当表面」ともいう。

【0023】

<< 鋼板の特性 >>

本発明の抵抗スポット溶接方法で用いる鋼板は、特に制限されないが、高強度鋼板であることが好ましい。具体的には、接合する複数の鋼板のうち少なくとも一枚の引張強さが780 MPa以上であることが好ましく、1000 MPa以上であることがより好ましく、1300 MPa以上であることが更に好ましい。また、接合する複数の鋼板のいずれもが上記引張強さを有することが一層好ましい。接合する鋼板の引張強さが780 MPa未満である場合、抵抗スポット溶接によってナゲットに生じる引張残留応力の程度が小さいので、もともと、得られる溶接継手に遅れ破壊が生じ難い。一方、接合する鋼板が上記のとおり高強度であるほど、抵抗スポット溶接によってナゲットに水素が発生又は侵入しやすく、溶接継手に遅れ破壊が生じ易いため、定常磁場を印加することによる溶接継手の耐遅れ破壊特性の改善効果が高まる。なお、鋼板の引張強さは特に限定されないが、3000 MPa以下とすることができる。

【0024】

鋼板の成分組成は、特に制限されないが、上述した高強度鋼板とすることができる成分

10

20

30

40

50

組成であることが好ましい。高強度鋼板の成分組成としては、例えば、C量が0.05質量%以上0.50質量%以下である鋼板を好適に使用することができる。

【0025】

<<鋼板への表面処理>>

本発明の抵抗スポット溶接方法は、定常磁場の印加を非接触で行い、鋼板の表面状態に影響されない溶接方法であるため、接合する鋼板に所望の特性を付与する目的で、めっき等の任意の表面処理を施すことができる。接合する複数の鋼板の少なくとも一枚が、少なくとも一方の表面に表面処理を施されていることが好ましい。少なくとも一方の表面は、接合後の鋼板の表面に対応する面であっても、重ね合わせ面に対応する面であってもよい。

表面処理によるめっき被膜は、有機めっき、無機めっき、金属めっきのいずれによるものであってもよく、既知の手法に従ってめっきを行えばよい。中でも、錆及び腐食を防止できる観点からは、めっき被膜が溶融亜鉛めっき(GI)被膜又は合金化溶融亜鉛めっき(GA)被膜であることが好ましい。

10

【0026】

<定常磁場の印加>

次に、本発明の抵抗スポット溶接方法では、上述した鋼板同士の接合後に、溶接痕(ナゲット相当表面)の少なくとも一方に、定常磁場を意図的に印加する。ここで、定常磁場を印加するに際しては、0.1T以上1.5T以下の磁束密度を有する定常磁場を、接合後の鋼板の表面法線方向と定常磁場の印加方向のなす角度が0°超を満たすようにすることが肝要である。角度を上記のとおり制御することにより、ナゲットから水素を効率的に逃がし、熱処理による組織変化に起因する材質の変化を伴わずに、水素脆化による溶接継手の遅れ破壊を良好かつ簡便に低減させることができる。

20

なお、本発明における定常磁場の印加は、鋼板に非接触で行われる。

【0027】

<<磁束密度>>

水素の拡散を促進して、鋼板中に含有された水素を十分に脱離する観点から、接合後の鋼板の表面の溶接痕への磁束密度は0.1T以上であることが好ましく、0.2T以上であることがより好ましく、0.5T以上であることが更に好ましい。他方で、一般的な磁場印加装置の性能を考慮して、接合後の鋼板表面の溶接痕への磁束密度は、1.5T以下であることが好ましく、1.4T以下であることがより好ましい。「磁束密度」は、テスラメータを用いて溶接痕近傍で測定することができ、例えば溶接痕直上で非接触の位置にテスラメータのプローブを配置して行うことができる。

30

溶接痕(ナゲット相当表面)が受ける磁束密度は、例えば、磁場印加装置のコイルの巻き数や電流値を調整することにより、調整することができる。

【0028】

<<接合後の鋼板の表面法線方向と磁極面法線方向のなす角度>>

接合後の鋼板の表面法線方向と定常磁場の印加方向のなす角度が0°超であることも、本発明において重要な構成条件である。角度が0°で定常磁場を印加しても、格子間隔の広がる方向は板表面に対して平行のため、鋼板外への水素の拡散が促進されず、ナゲット中の水素量が十分に減少しない。角度が大きいくほど、格子間隔の広がる方向が板表面に対して垂直に近づくため、鋼中、特にナゲット中から残存水素をより放出することにより遅れ破壊をより抑制できる。角度が15°以上が好ましく、30°以上がより好ましい。角度の上限は90°であり、この場合、定常磁場は鋼板表面に平行に印加される。

40

【0029】

<<磁場印加時間>>

溶接痕(ナゲット相当表面)に磁場を印加する時間が短いと、ナゲット中に残存する水素を鋼板外へと脱離させるのに十分でなく、鋼中水素量を良好に低減できないことがある。したがって、定常磁場を印加する時間は1秒以上であることが好ましく、5秒以上であることがより好ましく、10秒以上であることが更に好ましい。

50

一方、溶接痕に定常磁場を3600秒以上印加することは生産性を低下させる。したがって、定常磁場を印加する時間は3600秒未満が好ましく、1800秒以下がより好ましく、1500秒以下が更に好ましい。

【0030】

<<通電開始から定常磁場を印加開始するまでの時間>>

溶接電極を用いた抵抗スポット溶接に起因した遅れ破壊は、通電開始時を0秒として、180分～720分の間に生じる場合がある。このような遅れ破壊が生じる前に定常磁場を印加し、接合後の鋼板の引張応力部であるナゲットへの水素集積を抑制、解消することが好ましい。この観点から、溶接痕（ナゲット相当表面）への定常磁場の印加は、鋼板への通電開始から360分以内に行うことが好ましく、180分未満に行うことがより好ましく、60分以内に行うことが更に好ましい。遅れ破壊が生じるリスクを少しでも回避する観点からは、通電開始から定常磁場を印加開始するまでの時間は短いほど有利である。したがって、通電開始から定常磁場を印加開始するまでの時間の下限は特に制限されないが、通電自体に要する時間を考慮すると、上記時間の下限は通常10秒である。

10

【0031】

<<ナゲット中の残存水素量>>

そして、本発明に従って抵抗スポット溶接を行った後のナゲット内では、残存水素量が、質量分率で0.5ppm以下であることが好ましく、0.3ppm以下であることがより好ましく、もちろん、0ppmとしてもよい。ナゲット中に残存する水素は溶接継手における水素脆化の原因となるため、残存水素量は少ないほど好ましい。一般に、高強度鋼板に対する抵抗スポット溶接であるほど遅れ破壊が生じやすいところ、本願では所定条件で定常磁場を印加するので、高強度鋼板の場合であっても良好に残存水素量を低減させることができる。

20

【0032】

<<磁場印加装置>>

定常磁場の印加には、一般的な、磁場を発生して対象物に印加する装置（磁場印加装置）を用いることができる。磁場印加装置としては、例えば、電磁石などが挙げられる。一例において、磁場印加装置は、上鋼板側と下鋼板側にそれぞれ位置する一对の電磁石であることができる。各電磁石は、それぞれ、鉄心と、鉄心を巻回するコイルと、コイルに電流を流すための駆動電源と、を有することができる。駆動電源をONにして、コイルに直流の連続電流を流すことにより、各電磁石を磁化させることができ、定常磁場を発生させることができる。各電磁石は、それぞれ、所定の間隔をあけて溶接痕（ナゲット相当表面）に向かって位置する磁極面を有し、コイルに流す電流の方向を制御することで、片方の電磁石の磁極面をN極とし、他方の電磁石の磁極面をS極とすることができる。この一对の磁極面を、重ね合わせた鋼板の上下表面の溶接痕（ナゲット相当表面）を挟んで対向させることができる。そのようにして、一对の電磁石により発生する定常磁場を、その主たる磁束が、片方の電磁石の磁極面（N極）から他方の電磁石の磁極面（S極）に向かうようにすることができ、その方向を定常磁場の印加方向とすることができる。この場合、定常磁場の方向は、磁極面の法線方向と一致することになる。これにより、接合後の鋼板の表面法線方向に対し、所定の角度をなして均一に定常磁場を印加することができる。この場合、角度は、磁極面の法線方向と磁極面の法線方向とがなす角度といえることができ、磁極面の法線方向は、磁極面と溶接痕を結ぶ直線といえることができる。なお、本明細書において、「直流の連続電流」とは、電流値がパルス的ではなく連続的に（好ましくは一定に）維持される直流電流を意味する。また、本明細書において「定常磁場」とは、パルス的ではなく連続的に維持される磁場を意味し、静止した磁石が形成する磁場と、直流の連続電流が供給された電磁石が形成する磁場とを含む。

30

40

【0033】

溶接痕（ナゲット相当表面）に上述した所定の定常磁場が印加される限り、磁場印加装置の設置方法は特に限定されない。例えば、定常磁場の印加方向が、溶接痕（図3の符号13及び23）の少なくとも一方側に定常磁場が角度をもって最短直線距離（図3のL

50

)で印加されるように磁場印加装置30を設置してもよい。

接合後の鋼板の一表面上に溶接痕が複数存在する場合、各溶接痕13又は23に対して磁場印加装置を一台ずつ設けてもよいし、一表面上の複数のナゲット相当表面に亘って定常磁場を印加できる磁場印加装置を単数又は複数設けてもよい。また、磁場印加装置は、接合後の鋼板の両表面11、21側に対向して設けてもよい。

【0034】

また、一表面上に溶接痕が複数存在する場合、そのうちの一つの溶接痕のみに対して定常磁場を印加してもよいし、任意の複数の溶接痕に対して定常磁場を印加してもよいし、全ての溶接痕に対して定常磁場を印加してもよいし、接合後の鋼板の一表面全体に亘って定常磁場を印加してもよい。特にナゲット中に水素が残存し易いことを考慮すれば、一表面上に溶接痕が複数存在する場合、複数の溶接痕に定常磁場を印加することが好ましく、全ての溶接痕に定常磁場を印加することがより好ましい。

10

【0035】

また、上記所定の周波数による耐遅れ破壊特性への効果を高める観点からは、鋼板の表面と磁場印加装置との最短直線距離を15m以内とすることが好ましく、5m以内とすることがより好ましい。

【0036】

本発明では、加熱処理を行うことなくナゲット中の残存水素を低減させることができる。したがって、本発明に従えば、溶接後に熱処理を行う従来の技術に比して、鋼板の成分組成及び/又は微細組織が熱によって所望の状態から変わるリスクを回避しつつ優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を得ることができる。また、本発明は、水素脆性に対処するための加熱装置を要せず、作業時間及び作業コストの面でも有利である。

20

【0037】

更には、鋼板と接触することなく定常磁場を印加するといった簡便な手法を採用している本発明は、例えば、多数の細かな溶接施工を要する自動車製造における抵抗スポット溶接に、とりわけ有利に用いることができる。

【実施例】

【0038】

実施例に基づいて本発明をさらに具体的に説明する。以下の実施例は、本発明の好適な一例を示すものであり、本発明は、該実施例によって何ら限定されるものではない。

30

【0039】

長手方向：150mm×短手方向：50mm×板厚：1.4mmの2枚の鋼板を、鉛直方向下側に配置した下鋼板1、及び、該下鋼板1よりも鉛直方向上側に配置した上鋼板2として用いた。下鋼板1及び上鋼板2の引張強さ、鋼板の表面及び重ね合わせ面におけるめっき被膜の有無は表1のとおりであり、めっき処理を施さなかった場合(CR)、又は、めっき処理を施した場合(熔融亜鉛めっき(GI)、合金化熔融亜鉛めっき(GA)、付着量は片面当たり50g/m²)のいずれかであった。

【0040】

なお、引張強さは、各鋼板から、圧延方向に対して垂直方向に沿ってJIS5号引張試験片を作製し、JIS Z 2241(2011)の規定に準拠して引張試験を実施して求めた引張強さである。

40

【0041】

図1及び図2に示すように、2枚の鋼板(下鋼板1及び上鋼板2)が重ね合わされた板組を、一对の溶接電極(下電極4及び上電極5)で挟持し、表1に記載する接合(通電)条件で接合することにより、溶接継手を得た。この接合により接合後の鋼板(溶接継手)の表面に溶接痕6(模式的に楕円で表してある)が生じた。

上述した工程は、下電極4及び上電極5を常に水冷した状態とし、鋼板を常温(20)の状態として行った。

下電極4及び上電極5としては、いずれも先端の直径(先端径)が6mm、曲率半径が40mmである、クロム銅製のDR形電極を用いた。また、接合時の加圧力は、下電極4

50

と上電極 5 とをサーボモータで駆動することによって制御し、通電の際には周波数 5 0 H z の単相交流を供給した。

【 0 0 4 2 】

このように、接合後の下鋼板 1 及び上鋼板 2 の表面 1 1、2 1 では、図 2 に示すように、溶接痕 6 が観察された。そして、この溶接痕 6 から板厚方向に沿った、下鋼板 1 及び上鋼板 2 の重ね合わせ面 1 2、2 2 側には、図 1 に模式的に示されるナゲット 3 が形成されている。なお、溶接継手は、定常磁場印加前後のナゲット内の残存水素量をそれぞれ測定するため、各通電条件にて 2 つずつ作製した。

【 0 0 4 3 】

上述のとおり通電して鋼板同士を接合した後、各通電条件で得られた溶接継手のうち 1 つに対し、表 1 に記載の「通電開始から定常磁場を印加開始するまでの時間」が経過した後、表 1 に記載の条件にて、接合後の鋼板（溶接継手）の表面の一方側から、溶接痕 6（ナゲット相当表面）に向けて定常磁場を印加した。定常磁場の印加は、溶接痕 6 と磁極面を結ぶ直線の長さ（最短直線距離。図 3 の L）が 0 . 5 m の位置に設置した電磁石を使用して行い、磁束密度は電流値で制御した。磁束密度の測定は、溶接痕の直上で表面から 5 c m の高さの位置に、テスラメータ（レイクショア社製 F 4 1 型）のプローブ先端を鋼板表面に対して平行に配置して行った。角度 は、接合後の鋼板（溶接継手）の表面法線方向と、溶接痕 6 と磁極面を結ぶ直線とがなす角度である。

10

【 0 0 4 4 】

得られた溶接継手を常温（2 0 ）で大気中に 2 4 時間静置し、静置後に遅れ破壊が生じるか否かについて目視で判定した。更に、表面から目視でナゲットの剥離及び亀裂が認められなかった場合、ナゲット中央部を含む板厚方向の断面を光学顕微鏡（× 5 0 倍）で観察し、断面における亀裂の有無を確認した。ナゲットの剥離（接合界面でナゲットが二つに剥離する現象）が観察された場合を D、表面から亀裂が目視で観察された場合を C、ナゲット中央部を含む板厚方向の断面観察を行い、表面に到達しない亀裂が断面に観察された場合を B、断面からも亀裂が確認されなかった場合を A として評価した。結果を表 1 に示す。断面からも亀裂が確認されなかった場合（A）及び表面に到達しない亀裂が断面に観察された場合（B）を、溶接継手の耐遅れ破壊特性に優れると判定した。

20

【 0 0 4 5 】

ナゲット内の残存水素量は、昇温脱離分析により測定した。定常磁場印加前の残存水素量については、各通電条件で得られた溶接継手のうち定常磁場印加を施さなかった溶接継手から、抵抗スポット溶接点を中央に含むように 1 c m × 1 c m × 板厚となるよう切断してサンプルを得、エタノールで脱脂後、昇温脱離分析を行った。また、定常磁場印加後の残存水素量については、上記溶接継手のうち定常磁場印加を施した溶接継手から、抵抗スポット溶接点を中央に含むように 1 c m × 1 c m × 板厚となるよう切断してサンプルを得、エタノールで脱脂後、昇温脱離分析を行った。2 0 0 / 時間の条件でサンプルを昇温し、5 分毎にサンプルから放出された水素量をガスクロマトグラフで定量し、各温度での水素放出速度（w t / m i n）を求めた。求めた水素放出速度を積算することにより、水素放出量を計算により求めた。そして、2 1 0 までに放出される水素量の積算値をサンプルの質量で割った値の百万分率を、質量分率での、ナゲット内の残存水素量（w t . p p m）とし、表 1 に合わせて記載した。

30

40

【 0 0 4 6 】

【表 1】

表1

No.	鋼板		接合(通電)条件				定常磁場の印加条件				評価			区分		
	上鋼板		下鋼板		電流 (kA)	通電時間 (ms)	加圧力 (kN)	通電開始から磁場を印可開始するまでの時間 (分)	接合後の鋼板の表面法線と磁極面法線方向のなす角 (°)	磁束密度 (T)	印可時間 (秒)	溶接継手の遅れの破壊特性	定常磁場印加後のナゲット内の残留水素量 (wtppm)		定常磁場印加前のナゲット内の残留水素量 (wtppm)	水素低減割合 (%)
	引張強さ (MPa)	めっき被膜	引張強さ (MPa)	めっき被膜												
1	1510	CR	1510	CR	5	200	5	-	-	-	-	D	0.82	0.82	0	比較例
2	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	0	7.5	600	D	0.69	0.87	21	比較例
3	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	20	7.5	600	B	0.29	0.85	65	実施例
4	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	40	7.5	600	A	0.13	0.80	84	実施例
5	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	75	7.5	600	A	0.02	0.80	97	実施例
6	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	90	7.5	600	A	0.01	0.82	99	実施例
11	1510	CR	1510	CR	5	200	5	1	75	7.5	600	A	0.01	0.77	98	実施例
12	1510	CR	1510	CR	5	200	5	30	75	7.5	600	A	0.02	0.77	97	実施例
13	1510	CR	1510	CR	5	200	5	60	75	7.5	600	A	0.03	0.84	96	実施例
14	1510	CR	1510	CR	5	200	5	120	75	7.5	600	A	0.02	0.84	98	実施例
15	1510	CR	1510	CR	5	200	5	360	75	7.5	600	A	0.01	0.79	99	実施例
16	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	75	0.03	600	D	0.74	0.82	10	比較例
17	1510	CR	1510	CR	5	200	5	5	75	16	600	C	0.51	0.79	35	比較例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

CR: めっき処理なし

GI: 溶融亜鉛めっき

GA: 合金化溶融亜鉛めっき

10

20

30

40

50

表1(続き)

No.	鋼板			接合(通電)条件			定常磁場の印加条件				評価			区分	
	上鋼板		下鋼板	電流 (kA)	通電時間 (ms)	加圧力 (kN)	通電開始から 磁場を印可開始 するまでの時間 (分)	接合後の鋼 板の素面法 線と磁極面 法線方向の なす角 (°)	磁束 密度 (T)	印可時間 (秒)	溶接継手 の遅れ 破壊特性	定常磁場印加 後の ナゲット内の 残存水素量 (wt.ppm)	定常磁場印加 前の ナゲット内の 残存水素量 (wt.ppm)		水素低減 割合 (%)
	引張強さ (MPa)	めっき 被膜	引張強さ (MPa)												
18	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	0.1	600	A	0.09	0.82	89	実施例
19	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	0.5	600	A	0.01	0.79	99	実施例
20	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	15	600	A	0.01	0.80	98	実施例
21	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	2	B	0.34	0.84	60	実施例
22	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	8	A	0.17	0.79	79	実施例
23	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	15	A	0.11	0.81	86	実施例
24	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	1200	A	0.02	0.84	97	実施例
25	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	1800	A	0.01	0.79	98	実施例
26	1510	CR	1510	CR	5	200	5	75	7.5	3500	A	0.02	0.77	97	実施例
27	1522	GA	1510	CR	5	200	5	75	7.5	600	A	0.03	0.80	96	実施例
28	1510	CR	1522	GA	5	200	5	75	7.5	600	A	0.01	0.81	99	実施例
29	1522	GA	1522	GA	5	200	5	75	7.5	600	A	0.02	0.81	97	実施例
30	1531	GI	1510	CR	5	200	5	75	7.5	600	A	0.02	0.84	98	実施例
31	1510	CR	1531	GI	5	200	5	75	7.5	600	A	0.01	0.82	98	実施例
32	1531	GI	1531	GI	5	200	5	75	7.5	600	A	0.03	0.78	96	実施例
33	815	CR	815	CR	5	200	5	75	7.5	600	A	0.00	0.55	99	実施例
34	1220	CR	1220	CR	5	200	5	75	7.5	600	A	0.01	0.64	99	実施例
35	1310	CR	1310	CR	5	200	5	75	7.5	600	B	0.33	0.72	55	実施例

下線は本発明の範囲外であることを示す。

CR:めっき処理なし

GI:溶融亜鉛めっき

GA:合金化溶融亜鉛めっき

【0047】

表1より、特定の条件に従った定常磁場印加を経て得られた溶接継手では、いずれも、ナゲット内の残存水素量を十分に低減できており、その結果、遅れ破壊が確認されず、良好な耐遅れ破壊特性を發揮していることがわかる。特に、従来は遅れ破壊が生じやすかった高強度鋼板であっても、良好な耐遅れ破壊特性を実現できた。一方、定常磁場印加を行わなかった、又は、定常磁場の印加条件が特定の範囲から外れるNo. 1、2、10、16、17の溶接継手では、ナゲット内の残存水素量が高く、且つ、遅れ破壊が発生しており、ナゲットにおける残存水素に起因した遅れ破壊を抑制できていない。

【産業上の利用可能性】

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

本発明の抵抗スポット溶接方法によれば、鋼板同士を接合した後における、遅れ破壊の問題を良好に回避することが可能である。また、本発明の溶接継手の製造方法によれば、優れた耐遅れ破壊特性を発揮する溶接継手を簡便に得ることが可能である。よって、本発明は、高強度鋼板を抵抗スポット溶接する場合に適しており、自動車等の車両部品の製造工程及び車体の組立工程に好適に使用可能である。

【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

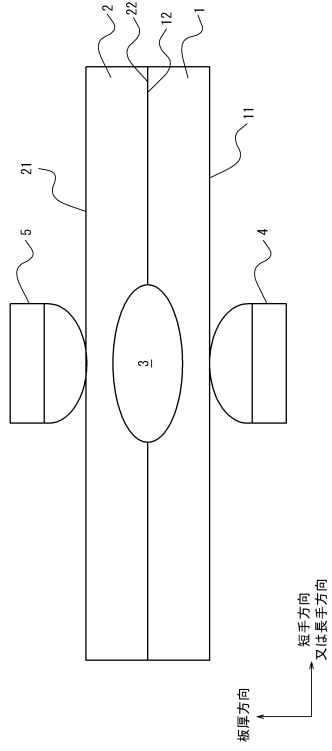
- | | | |
|-----|-------------|----|
| 1 | 鋼板（下鋼板） | |
| 1 1 | 表面 | 10 |
| 1 2 | 鋼板相互の重ね合わせ面 | |
| 1 3 | 溶接痕 | |
| 2 | 鋼板（上鋼板） | |
| 2 1 | 表面 | |
| 2 2 | 鋼板相互の重ね合わせ面 | |
| 2 3 | 溶接痕 | |
| 3 | ナゲット | |
| 4 | 溶接電極（下電極） | |
| 5 | 溶接電極（上電極） | |
| 6 | 溶接痕 | 20 |
| 3 0 | 磁場印加装置 | |

30

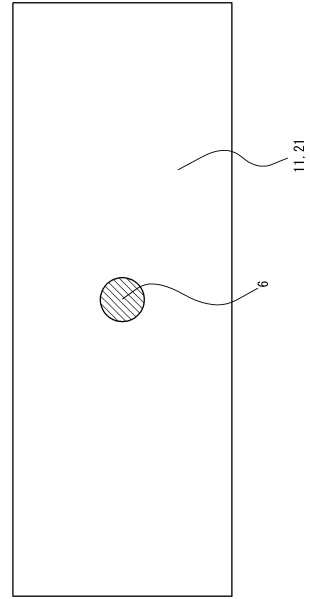
40

50

【図面】
【図 1】



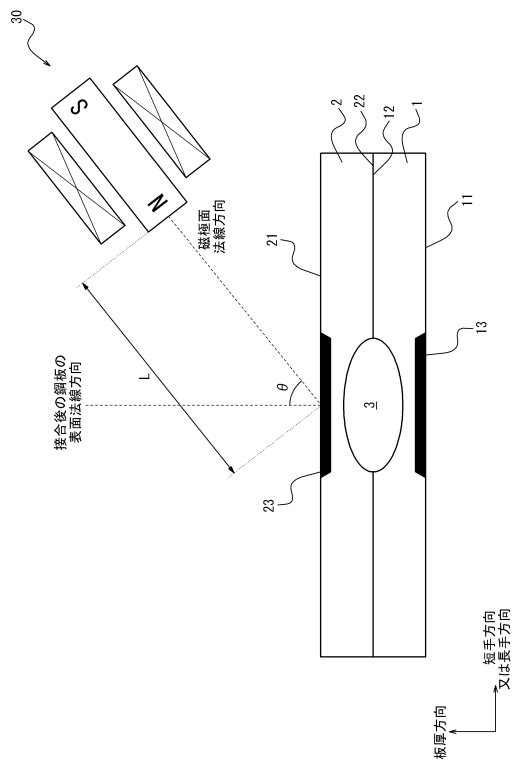
【図 2】



10

20

【図 3】



30

40

50

フロントページの続き

- 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 田路 勇樹
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 川邊 直雄
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
審査官 松田 長親
(56)参考文献 特開2008-246538(JP,A)
特開2019-072764(JP,A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B23K 11/11