

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7513229号
(P7513229)

(45)発行日 令和6年7月9日(2024.7.9)

(24)登録日 令和6年7月1日(2024.7.1)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K 11/24 (2006.01)

B 2 3 K 11/24 3 1 5

請求項の数 8 (全21頁)

(21)出願番号	特願2024-524445(P2024-524445)	(73)特許権者	000001258
(86)(22)出願日	令和6年1月26日(2024.1.26)		J F E スチール株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2024/002361		東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
審査請求日	令和6年4月23日(2024.4.23)	(74)代理人	100184859
(31)優先権主張番号	特願2023-11470(P2023-11470)		弁理士 磯村 哲朗
(32)優先日	令和5年1月30日(2023.1.30)	(74)代理人	100123386
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 熊坂 晃
早期審査対象出願		(74)代理人	100196667
			弁理士 坂井 哲也
		(74)代理人	100130834
			弁理士 森 和弘
		(72)発明者	金 振謙
			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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 溶接継手の製造方法および溶接継手

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鋼板を 2 枚以上重ねて抵抗スポット溶接し、2 枚以上の鋼板のうち少なくとも 1 枚は引張強度が 9 8 0 M P a 以上である高強度鋼板であり、溶接部を形成する溶接継手の製造方法であって、

前記引張強度が 9 8 0 M P a 以上である高強度鋼板は、質量 % で、

C : 0 . 1 0 0 % 以上 0 . 4 0 0 % 以下、

S i : 0 . 2 0 0 % 以上 2 . 5 0 0 % 以下、

M n : 1 . 0 0 0 % 以上 5 . 0 0 0 % 以下、

P : 0 . 0 1 0 % 以下、

S : 0 . 0 0 5 % 以下、

A l : 0 . 1 0 0 % 以下、

N : 0 . 0 0 4 % 以下を含有し、

さらに、

M o : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 5 0 0 % 、

C r : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 3 0 0 % のうち 1 種以上を含有し、

残部が F e および不可避免的不純物からなる成分組成を有し、

前記溶接部の熱影響部には粒径が円相当直径で 1 0 0 n m 以下の M o 、C r の 1 種以上を含む炭化物が 5 0 個 / μ m ² 以上存在し、前記溶接部の軟化部の平均結晶粒径が 2 0 μ m 以下である溶接継手の製造方法。

【請求項 2】

前記引張強度が 9 8 0 M P a 以上である高強度鋼板は、前記成分組成に加えて、さらに、質量 % で、

T i : 0 . 1 0 % 以下、

N b : 0 . 1 0 % 以下、

V : 0 . 1 0 % 以下、

C a : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

S b : 0 . 2 0 0 % 以下、

B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、

C u : 1 . 0 0 % 以下、

N i : 0 . 5 0 % 以下、

のうちから選択された 1 種または 2 種以上を含有する請求項 1 に記載の溶接継手の製造方法。

10

【請求項 3】

前記溶接部の熱影響部の M o 、 C r の 1 種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当直径で 5 0 0 n m 以下である請求項 1 または 2 に記載の溶接継手の製造方法。

【請求項 4】

前記抵抗スポット溶接の通電が本通電と後通電からなり、
前記後通電における電流値 I_2 は、前記本通電における電流値 I_1 に対して下記の式 (1) を満足し、前記後通電における通電時間 t_2 が下記の式 (2) を満足する、請求項 1 または 2 に記載の溶接継手の製造方法。

20

$$I_1 \times (1.0 - MC / m) / 0.9 < I_2 < I_1 \times (1.3 - MC / m) \cdots (1)$$

$$1.8 \times (0.8 - MC / m) / 0.7 < t_2 < 2.5 \times (1 - MC / m) \cdots (2)$$

【数 1】

$$MC = \sum_{n=1}^m \{ ([Mo]_n + [Cr]_n) \times (d_n / d_1) \}$$

30

ここで、

I_1 : 本通電工程における電流値 (k A)、

I_2 : 後通電工程における電流値 (k A)、

t_2 : 後通電時間 (s e c)、

$[Mo]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の M o 含有量 (質量 %)、

$[Cr]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の C r 含有量 (質量 %)、

d_n : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目鋼板の板厚 (m m)、

d_1 : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が一番薄い鋼板の板厚 (m m)、

40

m : 鋼板の総枚数、

重ね合わせた各鋼板は板厚が薄い順に 1 ~ m 番目

である。

【請求項 5】

前記抵抗スポット溶接の通電が本通電と後通電からなり、

前記後通電における電流値 I_2 は、前記本通電における電流値 I_1 に対して下記の式 (1) を満足し、前記後通電における通電時間 t_2 が下記の式 (2) を満足する、請求項 3 に記載の溶接継手の製造方法。

$$I_1 \times (1.0 - MC / m) / 0.9 < I_2 < I_1 \times (1.3 - MC / m) \cdots (1)$$

$$1.8 \times (0.8 - MC / m) / 0.7 < t_2 < 2.5 \times (1 - MC / m) \cdots (2)$$

50

【数 1】

$$MC = \sum_{n=1}^m \{ ([Mo]_n + [Cr]_n) \times (d_n/d_1) \}$$

ここで、

I₁：本通電工程における電流値（kA）、I₂：後通電工程における電流値（kA）、

10

t₂：後通電時間（sec）、[Mo]_n：重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Mo 含有量（質量 %）、[Cr]_n：重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Cr 含有量（質量 %）、d_n：重ね合わせた鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目鋼板の板厚（mm）、d₁：重ね合わせた鋼板のうち板厚が一番薄い鋼板の板厚（mm）、m：鋼板の総枚数、重ね合わせた各鋼板は板厚が薄い順に 1 ～ m 番目である。

20

【請求項 6】

2 枚以上の鋼板と溶接部を有しており、前記 2 枚以上の鋼板のうち少なくとも 1 枚は引張強度が 980MPa 以上である高強度鋼板である溶接継手であって、

前記引張強度が 980MPa 以上である高強度鋼板は、質量 % で、

C：0.100% 以上 0.400% 以下、

Si：0.200% 以上 2.500% 以下、

Mn：1.000% 以上 5.000% 以下、

P：0.010% 以下、

S：0.005% 以下、

Al：0.100% 以下、

30

N：0.004% 以下を含有し、

さらに、

Mo：0.030～0.500%、

Cr：0.030～0.300% のうち 1 種以上を含有し、

残部が Fe および不可避免的不純物からなる成分組成を有し、

前記溶接部の熱影響部には粒径が円相当直径で 100nm 以下の Mo、Cr の 1 種以上を含む炭化物が 50 個 / μm² 以上存在し、前記溶接部の軟化部の平均結晶粒径が 20 μm 以下である溶接継手。

【請求項 7】

前記引張強度が 980MPa 以上である高強度鋼板は、前記成分組成に加えて、さらに、質量 % で、

40

Ti：0.10% 以下、

Nb：0.10% 以下、

V：0.10% 以下、

Ca：0.0200% 以下、

Sb：0.200% 以下、

B：0.0100% 以下、

Cu：1.00% 以下、

Ni：0.50% 以下、

のうちから選択された 1 種または 2 種以上を含有する請求項 6 に記載の溶接継手。

50

【請求項 8】

前記溶接部の熱影響部の Mo、Cr の 1 種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当直径で 500nm 以下である請求項 6 または 7 に記載の溶接継手。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、重ね合わせた鋼板からなる抵抗スポット溶接による溶接継手の製造方法および溶接継手に関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

近年、自動車の分野では、車体軽量化による燃費向上および衝突時の車体安全性の向上のため、高強度鋼板を用いている。しかし、鋼板高強度化に伴い、溶接に起因する残留応力や、溶接時および使用環境下で溶接部に侵入する水素の存在による、溶接部の耐遅れ破壊特性の低下に対する懸念が生じてきた。

【0003】

詳述すると、自動車の生産工程で主に用いられている溶接方法は抵抗スポット溶接であるが、これにより形成される溶接部は溶融部が急冷されることでマルテンサイト相を持ち、非常に硬い組織となる。また、冷却工程での熱収縮により溶接部には引張残留応力が発生する。

【0004】

20

抵抗スポット溶接時に鋼板表面の防錆油や水分が溶接部内に侵入する場合と、使用環境下で外部から鋼板表面に付着した水分より水素が内部へと侵入する場合がある。侵入した油分や水分に由来する水素が耐遅れ破壊特性に影響するため、抵抗スポット溶接部の耐遅れ破壊特性の担保は重要な課題である。

【0005】

このような溶接部の遅れ破壊を防止する方法として、特許文献 1 には、本通電(ナゲット形成)後さらに後加熱通電を行う 2 段階通電によって、鋼板圧接部からナゲット端部の間を軟化させ、継手強度を向上する技術が開示されている。

【0006】

さらに、特許文献 2 には、本通電(ナゲット形成)後、後通電を付与するとともに、溶接電極を上昇と下降を交互に連続的に繰り返すように制御することにより引張残留応力を緩和させ、継手強度を向上する技術が開示されている。

30

【0007】

また、特許文献 3 には、本通電(ナゲット形成)後、後通電を付与し、水素が拡散しやすい高温環境を維持することで、溶接時に侵入した水素を外部に排出し、遅れ破壊を防止する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】国際公開第 2014/171495 号

40

【文献】特開 2018-144098 号公報

【文献】特開 2019-72764 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献 1、2 の技術は、ナゲット形成後の後通電による加熱を用いて圧接部の強化、残留応力の緩和を図る技術であり、遅れ破壊の主な要因である水素の影響を考慮しておらず、水素の集積による遅れ破壊の恐れがある。

【0010】

また、特許文献 3 の技術は、溶接時に溶接部に侵入する水素量を低減するものであるが

50

、溶接時より後の使用環境において外部から侵入する水素を考慮していないため、溶接継手作製後の使用環境における遅れ破壊が発生する懸念がある。

【 0 0 1 1 】

なお、これらの技術は遅れ破壊の発生要因である水素のトラップサイトとして働く Mo、Cr からなる炭化物の影響については考慮していない。これらの元素からなる炭化物と遅れ破壊特性の関係を調べることで、より優れた抵抗スポット溶接部を作製できる可能性がある。さらに、焼入れ性を向上する元素である Mo、Cr を添加することで、結晶粒の粗大化を防止し、炭化物を微細かつ均一に分布させることができる。これにより水素のトラップサイトとして働く炭化物界面や結晶粒界面の面積がより大きくなるため、さらなる遅れ破壊特性向上効果が期待できる。

10

【 0 0 1 2 】

本発明は、溶接後使用環境下で侵入する水素量を低減させ、使用中の溶接継手の遅れ破壊を抑制することが可能な抵抗スポット溶接による溶接継手の製造方法および溶接継手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 1 3 】

本発明者らは、高強度鋼板を抵抗スポット溶接して得られる溶接継手の遅れ破壊を抑制するために、遅れ破壊の要因である使用環境下で侵入する水素の挙動について調査し、以下のような知見を得た。

【 0 0 1 4 】

まず、水素は外部環境から溶接部内へ侵入する。また、抵抗スポット溶接部はナゲットの周辺に、距離によって異なる相と組織を持つ熱影響部を有する。外部から侵入する水素は、溶接部の主な破壊起点となるナゲット端部に侵入するためには熱影響部を通過する必要がある。熱影響部を通過した水素は残留応力が集中するナゲット端部に集積し、遅れ破壊が発生する。

20

【 0 0 1 5 】

そのため熱影響部を通過しナゲットへ侵入する水素量を低減し、ナゲット端部に集積する水素量を低減することが、遅れ破壊の抑制には有効である。

【 0 0 1 6 】

そこで本発明者らは、外部からナゲット端部に侵入する水素量を低減できる好適な溶接継手の製造方法について検討した。まず、抵抗スポット溶接部の熱影響部に高密度の炭化物を析出させることにより外部から侵入する水素を事前にトラップし、溶接継手の耐遅れ破壊特性が向上することが分かった。加えて、鋼板成分に Mo、Cr を添加し、抵抗スポット溶接を行い、熱影響部に Mo 系炭化物、Cr 系炭化物を析出させた場合は、溶接継手強度が低下することなく、より短い後通電だけで耐遅れ破壊特性を向上させることが分かった。また、上記炭化物の存在により、ナゲット及び熱影響部の結晶粒は微細化し、外部から侵入する水素をさらにトラップすることができ、かつ、継手の強度を上げることが分かった。さらに本溶接継手は、溶接通電後に後通電を付与し、熱影響部に焼戻しを行うことで製造できることが分かった。

30

【 0 0 1 7 】

本発明の溶接継手の製造方法は以上のような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] 鋼板を 2 枚以上重ねて抵抗スポット溶接し、2 枚以上の鋼板のうち少なくとも 1 枚は引張強度が 980 MPa 以上である高強度鋼板であり、溶接部を形成する溶接継手の製造方法であって、

前記引張強度が 980 MPa 以上である高強度鋼板は、質量 % で、

C : 0 . 1 0 0 % 以上 0 . 4 0 0 % 以下、

Si : 0 . 2 0 0 % 以上 2 . 5 0 0 % 以下、

Mn : 1 . 0 0 0 % 以上 5 . 0 0 0 % 以下、

P : 0 . 0 1 0 % 以下、

40

50

S : 0 . 0 0 5 % 以下、
 Al : 0 . 1 0 0 % 以下、
 N : 0 . 0 0 4 % 以下を含有し、
 さらに、
 Mo : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 5 0 0 %、
 Cr : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 3 0 0 % のうち 1 種以上を含有し、
 残部が Fe および不可避的不純物からなる成分組成を有し、
 前記溶接部の熱影響部には粒径が円相当直径で 1 0 0 nm 以下の Mo、Cr の 1 種以上を
 含む炭化物が 5 0 個 / μm^2 以上存在し、前記溶接部の軟化部の平均結晶粒径が 2 0 μm
 以下である溶接継手の製造方法。

10

[2] 前記引張強度が 9 8 0 MPa 以上である高強度鋼板は、前記成分組成に加えて、
 さらに、質量%で、

Ti : 0 . 1 0 % 以下、
 Nb : 0 . 1 0 % 以下、
 V : 0 . 1 0 % 以下、
 Ca : 0 . 0 2 0 0 % 以下、
 Sb : 0 . 2 0 0 % 以下、
 B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
 Cu : 1 . 0 0 % 以下、
 Ni : 0 . 5 0 % 以下、

20

のうちから選択された 1 種または 2 種以上を含有する [1] に記載の溶接継手の製造方法。

[3] 前記溶接部の熱影響部の Mo、Cr の 1 種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当
 直径で 5 0 0 nm 以下である [1] または [2] に記載の溶接継手の製造方法。

[4] 前記抵抗スポット溶接の通電が本通電と後通電からなり、
 前記後通電における電流値 I_2 は、前記本通電における電流値 I_1 に対して下記の式 (1)
) を満足し、前記後通電における通電時間 t_2 が下記の式 (2) を満足する、[1] ~ [3]
 のいずれかに記載の溶接継手の製造方法。

$I_1 \times (1 . 0 - MC / m) / 0 . 9 < I_2 < I_1 \times (1 . 3 - MC / m) \cdots (1)$
 $1 . 8 \times (0 . 8 - MC / m) / 0 . 7 < t_2 < 2 . 5 \times (1 - MC / m) \cdots (2)$

【数 1】

30

$$MC = \sum_{n=1}^m \{ ([Mo]_n + [Cr]_n) \times (d_n / d_1) \}$$

ここで、

I_1 : 本通電工程における電流値 (kA)、

I_2 : 後通電工程における電流値 (kA)、

t_2 : 後通電時間 (sec)、

$[Mo]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Mo 含有量 (質量
 %)、

40

$[Cr]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Cr 含有量 (質量
 %)、

d_n : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目鋼板の板厚 (mm)、

d_1 : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が一番薄い鋼板の板厚 (mm)、

m : 鋼板の総枚数、

重ね合わせた各鋼板は板厚が薄い順に 1 ~ m 番目
 である。

[5] 2 枚以上の鋼板と溶接部を有しており、前記 2 枚以上の鋼板のうち少なくとも 1
 枚は引張強度が 9 8 0 MPa 以上である高強度鋼板である溶接継手であって、

50

前記引張強度が 9 8 0 M P a 以上である高強度鋼板は、質量 % で、

C : 0 . 1 0 0 % 以上 0 . 4 0 0 % 以下、

S i : 0 . 2 0 0 % 以上 2 . 5 0 0 % 以下、

M n : 1 . 0 0 0 % 以上 5 . 0 0 0 % 以下、

P : 0 . 0 1 0 % 以下、

S : 0 . 0 0 5 % 以下、

A l : 0 . 1 0 0 % 以下、

N : 0 . 0 0 4 % 以下を含有し、

さらに、

M o : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 5 0 0 % 、

C r : 0 . 0 3 0 ~ 0 . 3 0 0 % のうち 1 種以上を含有し、

残部が F e および不可避免的不純物からなる成分組成を有し、

前記溶接部の熱影響部には粒径が円相当直径で 1 0 0 n m 以下の M o 、 C r の 1 種以上を含む炭化物が 5 0 個 / μm^2 以上存在し、前記溶接部の軟化部の平均結晶粒径が 2 0 μm 以下である溶接継手。

[6] 前記引張強度が 9 8 0 M P a 以上である高強度鋼板は、前記成分組成に加えて、さらに、質量 % で、

T i : 0 . 1 0 % 以下、

N b : 0 . 1 0 % 以下、

V : 0 . 1 0 % 以下、

C a : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

S b : 0 . 2 0 0 % 以下、

B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、

C u : 1 . 0 0 % 以下、

N i : 0 . 5 0 % 以下、

のうちから選択された 1 種または 2 種以上を含有する [5] に記載の溶接継手。

[7] 前記溶接部の熱影響部の M o 、 C r の 1 種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当直径で 5 0 0 n m 以下である [5] または [6] に記載の溶接継手。

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

本発明の溶接継手の製造方法によれば、抵抗スポット溶接により溶接された高強度鋼板が使用環境で侵入する水素により遅れ破壊する問題が解決できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】図 1 は、本発明の抵抗スポット溶接方法の一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および加圧パターンの一例を示すグラフである。

【図 3】図 3 (a) および図 3 (b) 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、図 3 (a) が平面図であり、図 3 (b) が側面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

本発明は、抵抗スポット溶接（以下単に溶接ともいう。）の熱影響部（以下単に熱影響部ともいう。）に十分な M o 系炭化物、C r 系炭化物を析出させた溶接継手の製造方法である。

【 0 0 2 1 】

本発明の抵抗スポット溶接方法は、後述の成分組成を有する高強度鋼板を 1 枚以上含む 2 枚以上の鋼板を重ね合わせ、重ね合わせた鋼板を 1 対の溶接電極で挟持および加圧しながら通電し、板間で発生する抵抗熱で加熱することでナゲットを形成すると共に前記鋼板を接合する方法である。

【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50

〔成分組成〕

前記高強度鋼板は、成分組成が、質量％で、C：0.100％以上0.400％以下、Si：0.200％以上2.500％以下、Mn：1.000％以上5.000％以下、P：0.010％以下、S：0.005％以下、Al：0.100％以下、N：0.004％以下を含有し、Mo：0.030～0.500％、Cr：0.030～0.300％のうち1種以上を含有し、引張強度が980MPa以上である。なお、本発明において、引張強度が980MPa以上の鋼板のことを高強度鋼板という。

【0023】

以下に、本発明における高強度鋼板の平均組成の限定理由を説明する。

【0024】

C：0.100％以上0.400％以下

Cは、上記高強度鋼板のTSを980MPa以上とするための組織制御と、ナゲットの硬さ制御のために用いられる。Cの含有量が0.100％未満では、TSを980MPa以上とすることが困難になる。したがって、Cの含有量は、0.100％以上とする。Cの含有量は、好ましくは0.130％以上とする。Cの含有量は、より好ましくは0.140％以上であり、さらに好ましくは0.145％以上である。一方、Cの含有量が0.400％を超えると、ナゲット内の硬さが増加するため、ナゲット内破壊の抑制が困難である。したがって、Cの含有量は、0.400％以下とする。また、Cの含有量は、好ましくは0.380％以下である。Cの含有量は、より好ましくは0.375％以下である。Cの含有量は、もっとも好ましくは0.370％以下である。

【0025】

Si：0.200％以上2.500％以下

Siは、高強度鋼板の組織制御および介在物のサイズと量を制御するために用いられる。Siの含有量が0.200％未満では、TSを980MPa以上とすることが困難になる。したがって、Siの含有量は、0.200％以上とする。Siの含有量は、好ましくは0.210％以上とする。Siの含有量は、より好ましくは0.220％以上とする。Siの含有量は、さらに好ましくは0.240％以上とする。一方、Siの含有量が2.500％を超えると、Siの炭化物生成抑制効果により、熱影響部に目標とする炭化物量が生成されず、熱影響部の遅れ破壊特性を向上させることが困難になる。したがって、Siの含有量は、2.500％以下とする。Siの含有量は、好ましくは2.480％以下とする。Siの含有量は、より好ましくは2.460％以下とする。Siの含有量は、もっとも好ましくは2.440％以下とする。

【0026】

Mn：1.000％以上5.000％以下

Mnは、高強度鋼板およびナゲットの組織制御と、介在物のサイズと量を制御するために用いられる。Mnの含有量が1.000％未満では、TSを980MPa以上とすることが困難になる。したがって、Mnの含有量は、1.000％以上とする。Mnの含有量は、好ましくは1.200％以上とする。Mnの含有量は、より好ましくは1.220％以上であり、さらに好ましくは1.250％以上とする。一方、Mnの含有量が5.000％を超えると、ナゲット内の粗大な介在物量が増加し、ナゲットの脆性破壊傾向が強まる。したがって、Mnの含有量は、5.000％以下とする。Mnの含有量は、好ましくは4.950％以下であり、より好ましくは4.920％以下とする。Mnの含有量は、さらに好ましくは4.900％以下とする。

【0027】

P：0.010％以下

Pは、ナゲット内に固溶状態で存在し、ナゲットの脆性破壊傾向を強める。そのため、Pの含有量が0.010％を超えると、ナゲットの硬さやナゲットの組織を制御しても、ナゲット内破壊が発生する可能性がある。したがって、Pの含有量は、0.010％以下とする。Pの含有量は、好ましくは0.008％以下、より好ましくは0.006％以下とする。さらに好ましくはPの含有量は、0.005％以下とする。下限については特に

10

20

30

40

50

限定されるものではないが、Pを完全に除去することに関する経済的費用といった理由から、Pの含有量は0.0001%以上であることが好ましい。

【0028】

S：0.005%以下

Sは、ナゲット内で固溶状態あるいは硫化物として存在し、ナゲットの脆性破壊傾向を強める。Sの含有量が0.005%を超えると、ナゲットの硬さやナゲットの組織を制御しても、ナゲット内破壊が発生する可能性がある。そのため、Sの含有量は0.005%以下にする。好ましくは、Sの含有量は0.004%以下とする。より好ましくは、Sの含有量は0.003%以下とする。Sの含有量は、さらに好ましくは0.001%以下とする。下限については特に限定されるものではないが、経済的費用といった理由から、Sの含有量は0.0001%以上であることが好ましい。

10

【0029】

Al：0.100%以下

Alは、溶接部と外気の反応により形成される酸化物系介在物のサイズと量を制御する元素である。Al含有量が0.100%を超えると、ナゲット内の粗大な介在物量が増加し、ナゲットの脆性破壊傾向が強まる。したがって、Alの含有量は、0.100%以下とする。Alの含有量は、好ましくは0.080%以下とする。Alの含有量は、より好ましくは0.070%以下である。さらに好ましくは0.060%以下とする。Alの含有量は、もっとも好ましくは0.050%以下とする。Alの含有量の下限は規定しないが、生産技術上の制約から、Alの含有量は0.005%以上とすることが好ましい。Alの含有量は0.006%以上とすることがより好ましい。Alの含有量は0.007%以上とすることがさらに好ましい。

20

【0030】

N：0.004%以下

Nは、鋼中で窒化物として存在する。Nの含有量が0.004%を超えると、高強度鋼板の変形能を低下されるため、溶接中や溶接後、ナゲット内の脆性破壊を抑制することが困難になる。そのため、Nの含有量は0.004%以下にする。Nの含有量は、好ましくは0.003%以下とする。Nの含有量は、より好ましくは0.002%以下とする。Nの含有量は、さらに好ましくは0.001%以下とする。なお、Nの含有量の下限は特に規定しないが、生産技術上の制約から、Nの含有量は0.0005%以上とすることが好ましい。

30

【0031】

Mo：0.030%以上0.500%以下、Cr：0.030%以上0.300%以下のうち1種以上

Mo、Crは、高強度鋼板および熱影響部の炭化物のサイズと量の制御のために用いられる。Mo、Crのうち、少なくとも1種を含有する必要がある、それらの含有量はMo：0.030%以上0.500%以下、Cr：0.030%以上0.300%以下とする。Mo、Crの少なくとも1種の含有量が、それぞれの上限を超える場合、過度な焼戻しにより、熱影響部内に粗大な析出物が多く形成され、継手強度が低下する。したがって、Mo含有量は0.500%以下とする。Mo含有量は、好ましくは0.475%以下とする。Mo含有量は、より好ましくは0.450%以下とする。Mo含有量は、さらに好ましくは、0.420%以下とする。Cr含有量は、0.300%以下とする。Cr含有量は、好ましくは0.290%以下とする。Cr含有量は、より好ましくは0.280%以下とする。Cr含有量は、さらに好ましくは0.270%以下とする。Mo、Crがどちらも0.030%未満である場合、目標とする熱影響部の水素トラップ効果を達成することが困難になる。したがって、Mo含有量は0.030%以上とする。Mo含有量は好ましくは0.035%以上とし、より好ましくは0.040%以上とする。Mo含有量は、さらに好ましくは、0.050%以上とする。Cr含有量は0.030%以上とする。Cr含有量は好ましくは0.035%以上とする。Cr含有量はより好ましくは0.040%以上とする。Cr含有量は、さらに好ましくは、0.050%以上とする。

40

50

【0032】

本発明の高強度鋼板は、上記各元素を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物である。

【0033】

上記成分組成が高強度鋼板の基本の成分組成である。本発明では、上記成分組成に加え、必要に応じて、Ti、Nb、V、Ca、Sb、B、Cu、Niのうちから選択される1種または2種以上を含有することができる。

【0034】

Ti：0.10%以下、Nb：0.10%以下、V：0.10%以下

Ti、NbおよびVは、熱間圧延時または焼鈍時に、微細な炭化物、窒化物または炭窒化物を形成することによって、TSを上昇させる一方、Ti、NbおよびVの少なくとも1種の含有量が、それぞれ0.10%を超えると、粗大な析出物や介在物が多量に生成し、鋼板中に拡散性水素を含有する場合、曲げ試験時に亀裂の起点となるため、曲げ性が低下する。したがって、Ti、NbおよびVの少なくとも1種を含有する場合、それらの含有量はそれぞれ0.10%以下とする。それらの含有量は、好ましくはそれぞれ0.09%以下とする。それらの含有量は、より好ましくはそれぞれ0.08%以下とする。それらの含有量は、もっとも好ましくはそれぞれ0.06%以下とする。下限は特に限定されるものではないが、生産技術的制約といった理由から、それらの含有量は、それぞれ0.001%以上とすることが好ましい。それらの含有量は、それぞれ0.002%以上とすることがより好ましい。

【0035】

Ca：0.0200%以下

Caは、鋼中で介在物として存在する。Caの含有量が0.0200%を超えると、高強度鋼板中に拡散性水素を含有する場合、上記介在物が曲げ試験時に亀裂の起点となるため、曲げ性が低下する。そのため、Caを含有する場合はCaの含有量は0.0200%以下にする。Caの含有量は、好ましくは0.0180%以下とする。Caの含有量は、より好ましくは0.0160%以下とする。Caの含有量は、さらに好ましくは0.0150%以下とする。なお、Caの含有量の下限は0.0000%であってもよいが、生産技術上の制約から、Caの含有量は0.0001%以上とすることが好ましい。Caの含有量は0.0002%以上とすることがより好ましい。また、Caの含有量は、さらに好ましくは0.0003%以上とする。

【0036】

Sb：0.200%以下

Sbは、焼鈍中の鋼板表面の酸化を抑制し、表層軟化厚みを制御するために有効な元素である。また、Sbは、焼鈍中に高強度鋼板表層の窒化を抑制することで、高強度鋼板表層の対応粒界頻度を低減することができる元素である。Sbの含有量が0.200%を超えると、表層軟化部を形成することができないため、曲げ性および耐LME特性が低下する。そのため、Sbを含有する場合はSbの含有量は0.200%以下にする。Sbの含有量は0.190%以下とすることが好ましい。Sbの含有量は0.170%以下とすることがより好ましい。Sbの含有量は0.150%以下とすることがさらに好ましい。Sbの含有量は、もっとも好ましくは0.130%以下とする。なお、Sbの含有量の下限は0.000%であってもよいが、対応粒界頻度を低減し、より良好な耐LME特性を得るためには、Sbの含有量は0.001%以上とすることが好ましい。Sbの含有量は、より好ましくは0.002%以上、さらに好ましくは0.005%以上とする。

【0037】

B：0.0100%以下

Bは、オーステナイト粒界に偏析することで、焼入れ性を向上させることができる元素であり、Bを鋼中に添加することで、焼鈍冷却時のフェライトの生成および粒成長を抑制することが可能である。こうした効果を得るためには、Bを含有する場合はBの含有量を0.0001%以上とすることが好ましい。Bの含有量を0.0002%以上とすることがより好ましい。一方、Bの含有量が0.0100%を超えると、熱間圧延中に高強度鋼

10

20

30

40

50

板内部に割れが生じ、高強度鋼板の極限変形能を低下させることから、打抜き後の総ボイド数密度が増加し、伸びフランジ性が低下する。また、曲げ性も低下する。したがって、Bを含有する場合、その含有量は0.0100%以下とする。Bを含有する場合、その含有量は、好ましくは0.0080%以下とする。B含有量は、より好ましくは0.0070%以下とする。B含有量は、さらに好ましくは0.0050%以下とする。

【0038】

Cu: 1.00%以下

Cuは、焼入れ性を大きくする元素であり、硬質相の面積率をより好適な範囲内とし、TSをより好適な範囲内とし、さらに成形時の寸法精度をより向上するために有効な元素である。こうした効果を得るためには、Cuを含有する場合はCuの含有量を0.01%以上にすることが好ましい。Cu含有量は、0.02%以上とすることがより好ましい。一方、Cuの含有量が1.00%を超えると、硬質相の面積率が増加し、成形時の寸法精度および延性が低下する。また、粗大な析出物や介在物が増加し、鋼板中に拡散性水素を含有する場合、曲げ試験時に粗大な析出物や介在物が亀裂の起点となるため、曲げ性が低下する。したがって、Cuを含有する場合、その含有量は1.00%以下とする。Cuを含有する場合、その含有量は、好ましくは0.95%以下とする。Cuを含有する場合、その含有量は、より好ましくは0.90%以下とする。

10

【0039】

Ni: 0.50%以下

Niは、焼入れ性を大きくする元素であり、硬質相の面積率をより好適な範囲内とし、TSをより好適な範囲内とし、さらに成形時の寸法精度をより向上するために有効な元素である。こうした効果を得るためには、Niを含有する場合はNiの含有量を0.01%以上にすることが好ましい。Niの含有量は0.02%以上とすることがより好ましい。一方、Niの含有量が0.50%を超えると、硬質相の面積率が増加し、成形時の寸法精度および延性が低下する。また、粗大な析出物や介在物が増加し、高強度鋼板中に拡散性水素を含有する場合、曲げ試験時に粗大な析出物や介在物が亀裂の起点となるため、曲げ性が低下する。したがって、Niを含有する場合、その含有量は0.50%以下とする。Niを含有する場合、その含有量は、好ましくは0.45%以下である。Niを含有する場合、その含有量は、より好ましくは0.43%以下である。Niを含有する場合、その含有量は、もっとも好ましくは0.40%以下である。

20

30

【0040】

[引張強度]

高強度鋼板は遅れ破壊が問題と言われる強度である、引張強度は980MPa以上とする必要がある。引張強度は1180MPa以上であることがより好ましい。上限は特に限定されるものではないが、引張強度は2000MPa以下とすることが好ましい。

【0041】

また、上記高強度鋼板の板厚は特に限定されるものではないが、0.8mm以上であることが好ましい。また、5.0mm以下であることが好ましい。

【0042】

また、抵抗スポット溶接する際に、少なくとも1枚は上述した高強度鋼板を用いる必要があるが、その他の鋼板については、特に限定しない。

40

【0043】

ナゲットの周囲に溶接の熱影響を受ける熱影響部が存在し、前記熱影響部の中に軟化部が含まれている。前記軟化部は焼戻しにより母材より軟化している領域であり、前記軟化部とは、母材とナゲットの間に形成される領域で、母材の平均硬さ(HV)よりも低い硬さを持つ領域である。

【0044】

[熱影響部の炭化物]

含有されたMo、Crは、抵抗スポット溶接により生じた熱の影響で、ナゲット周辺の熱影響部においてMo系炭化物、Cr系炭化物(Mo、Crの1種以上を含む炭化物で、

50

MoとCrの複合炭化物も含まれる)を生成する。生成したMo系炭化物やCr系炭化物は、熱影響部において外部から侵入する水素をトラップすることができ、ナゲット端部で集積する水素量を低減させ、遅れ破壊を抑制する。生成したMo系炭化物、Cr系炭化物が同一量の場合において、円相当直径で100nm超の粒径を持つ場合、100nm以下の粒径を持つ場合に比べて炭化物の総表面積が小さくなる。これによって、ナゲットへ侵入する水素を十分トラップできる表面積を得られる炭化物量を析出させるためには過度な焼戻しが必要となり、過度な焼戻しによって継手強度が低下する。そのため、炭化物の粒径は円相当直径で100nm以下とする。なお、水素トラップに有効なサイズの炭化物は100nm以下であるため、上記サイズの炭化物に着目した。上記粒径は円相当直径である。

10

【0045】

生成した粒径100nm以下のMo系炭化物と粒径が100nm以下のCr系炭化物が50個/ μm^2 未満の密度である場合、生成したMo系炭化物やCr系炭化物は遅れ破壊の原因であるナゲットへと侵入する水素量を十分に低減できない。そのため、粒径が円相当直径で100nm以下のMo系炭化物と粒径が円相当直径で100nm以下のCr系炭化物の合計の密度を50個/ μm^2 以上とした。好ましいMo系炭化物、Cr系炭化物の合計の密度は80個/ μm^2 以上とする。上限は特に限定されるものではないが、Mo系炭化物、Cr系炭化物の合計の密度は1000個/ μm^2 以下とすることが好ましい。900個/ μm^2 以下とすることがより好ましい。

また、Mo系炭化物、Cr系炭化物の好ましい粒径は円相当直径で80nm以下とする。下限は特に限定されるものではないが、Mo系炭化物、Cr系炭化物の好ましい粒径は5nm以上である。

20

【0046】

溶接部の熱影響部のMo、Crの1種以上を含む炭化物の最大粒径を小さくすると、水素のトラップサイトである炭化物界面の表面積が増大することによって、炭化物界面において追加で水素をトラップすることによって、外部から侵入する水素中、ナゲットまで到達する水素量を低減できる。なお、上記炭化物の最大粒径は円相当直径である。溶接部の熱影響部のMo、Crの1種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当直径で500nmを超える場合、同じ炭化物密度において、十分に水素量を低減できるほどの炭化物界面の表面積を確保できない。この場合は、遅れ破壊防止のための水素量低減のため、より多くの炭化物析出が必要となり、過度な焼戻しにより、継ぎ手強度を担保することができない。そのため、溶接部の熱影響部のMo、Crの1種以上を含む炭化物の最大粒径が円相当直径で500nm以下とすることが好ましい。より好ましくは、炭化物の最大粒径が円相当直径で450nm以下とする。さらに好ましくは、炭化物の最大粒径が円相当直径で400nm以下とする。下限については特に限定されるものではないが、強度担保といった理由から炭化物の最大粒径が円相当直径で5nm以上とすることが好ましい。

30

【0047】

[溶接部の軟化部の平均結晶粒径]

軟化部の旧 γ 結晶粒を微細化し平均結晶粒径を小さくすると、結晶粒界の面積が増大することによって、前述の炭化物による外部から侵入する水素量を低減する効果に加えて、結晶粒界において追加で水素をトラップすることによって、外部から侵入する水素量を低減できる。ここで、軟化部とは、母材とナゲットの間に形成される領域で、母材の平均硬さ(HV)よりも低い硬さを持つ領域を意味する。軟化部の平均結晶粒径が20 μm を超える場合、結晶粒界の面積が小さく、十分な水素量を低減できない。この場合は、遅れ破壊防止のための水素量低減のため、より多くの炭化物析出が必要となり、継ぎ手強度を担保することができない。そのため、軟化部の平均結晶粒径は20 μm 以下とする。好ましくは、平均結晶粒径は18 μm 以下とする。より好ましくは、平均結晶粒径は15 μm 以下とする。さらに好ましくは、平均結晶粒径は14 μm 以下とする。下限については特に限定されるものではないが、強度担保といった理由から平均結晶粒径は1 μm 以上とすることが好ましい。

40

50

【 0 0 4 8 】

〔 めっき 〕

なお、本発明では、上記高強度鋼板は、必要に応じて、母材である高強度鋼板の表面にめっき層を有することができる。めっき層は、亜鉛めっき層、合金化亜鉛めっき層であることが好ましい。特に自動車用途向けとして、熔融亜鉛めっき処理を施して、母材である高強度鋼板表面に亜鉛めっき層を有する熔融亜鉛めっき鋼板（G I）としてもよい。また、前記熔融亜鉛めっき処理を施した後、さらに合金化処理を施して、母材である高強度鋼板表面に合金化亜鉛めっき層を有する合金化熔融亜鉛めっき鋼板（G A）としても良い。めっき層が0.1 mm以下である場合、ナゲット形成時に溶け込む体積が非常に小さいため、遅れ破壊に影響しない。そのため、めっき層は0.1 mm以下とすることが好ましい。下限は特に限定されるものではないが、めっき性担保の観点から、0.05 mm以上とすることが好ましい。

10

【 0 0 4 9 】

〔 溶接方法 〕

図1は、抵抗スポット溶接方法の一例を模式的に示す断面図であり、2枚の鋼板の抵抗スポット溶接を行う例を示している。以下、図1を参照して、本発明の抵抗スポット溶接方法について説明する。

【 0 0 5 0 】

まず、2枚以上の鋼板を重ね合わせる。図1においては、下側に配置される鋼板（以下、下鋼板1という。）と上側に配置される鋼板（以下、上鋼板2という。）とを重ね合わせる。

20

【 0 0 5 1 】

次いで、1対の溶接電極、すなわち下側に配置される電極（以下、下電極4という）および上側に配置される電極（以下、上電極5という）で、重ね合わせた鋼板（下鋼板1と上鋼板2）を挟持して、加圧しながら通電する。下電極4と上電極5によって加圧し、且つその加圧力を制御する構成は特に限定されず、エアシリンダやサーボモータ等の従来から知られている機器が使用できる。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、従来から知られている機器を使用できる。また、直流、交流のいずれにも本発明を適用できる。なお、交流の場合は、「電流」は「実効電流」を意味する。また、下電極4や上電極5の先端の形式も特に限定されず、例えば、J I S C 9 3 0 4 : 1 9 9 9 に記載されるD R形（ドームラジウス形）、R形（ラジウス形）、D形（ドーム形）等が挙げられる。また、電極の先端径は、例えば4 mm以上であればよい。また、電極の先端径は、16 mm以下であればよい。なお、電極が常に水冷されている状態で抵抗スポット溶接を行うことが好ましい。

30

【 0 0 5 2 】

このように重ね合わせた鋼板を、1対の溶接電極で挟持した状態で加圧しながら通電して、抵抗発熱によりナゲット3を形成すると共に重ね合わせた鋼板を接合することで、溶接継手が得られる。本発明においては、この加圧および通電を特定のパターンで行う。

【 0 0 5 3 】

図2は、本発明に係る抵抗スポット溶接方法の通電パターンおよび加圧パターンの一例を示すグラフである。図2において、縦軸は電流値または加圧力であり、電流値、加圧力ともにグラフ上で縦軸の上方向にいくにつれて大きくなる。

40

【 0 0 5 4 】

本通電（以下、主通電ともいう。）工程は、凝固するとナゲット3（図1参照）となるナゲット部を形成する工程である。そのナゲット部を形成するための通電条件、加圧条件は特に限定されず、従来から用いられている溶接条件を採用することができる。例えば、主通電工程の電流 I_1 は1.0 k A以上あればよい。主通電工程の電流 I_1 は15.0 k A以下であればよい。また、加圧力 F_1 は2.0 k N以上あればよい。加圧力 F_1 は7.0 k N以下であればよい。また、主通電工程の時間 t_1 も特に限定されず、例えば、0.1 s以上あればよい。主通電工程の時間 t_1 は1.00 s以下であればよい。な

50

お、「ナゲット」とは、抵抗溶接において溶接部に生じる溶融凝固した部分である。また、主通電工程は、電流値、加圧力が通電工程内で変化する多段通電、多段加圧工程であっても良い。ナゲット径は特に限定されるものではないが、板厚を $t \text{ mm}$ とした時に、 $3 \sqrt{t}$ 以上とすることが好ましい。また、 $6 \sqrt{t}$ 以下とすることが好ましい。

【0055】

主通電工程の後、冷却工程があっても良い。

【0056】

冷却工程は、主通電工程により形成された溶融部が凝固しナゲット3となった後、冷却時間 $t_c \text{ (sec)}$ だけ電極を鋼板に接触し、溶接部を冷却する工程である。この工程により後通電工程を行う前にナゲット3の温度を下げ、後通電工程時にナゲット3が過度に加熱され再溶融や散りの発生などの現象が起こることを防止することができる。冷却時間 $t_c \text{ (sec)}$ が大きすぎる場合は、ナゲット3の温度が下がりすぎるため、十分に溶接部を再加熱できず、必要な遅れ破壊特性が得られない可能性がある。そのため、冷却時間 $t_c \text{ (sec)}$ は 1.00 sec 以下とすることが好ましい。冷却時間 $t_c \text{ (sec)}$ は、より好ましくは、 0.80 sec 以下とする。下限は特に限定されるものではないが、冷却時間 $t_c \text{ (sec)}$ は 0.05 sec 以上とすることが好ましい。

【0057】

冷却工程の後、後通電工程を行う。後通電工程では、供給する電流値を変更することで、ナゲットの径を拡大せずに熱影響部を加熱することを目的として行う。

【0058】

まず、後通電工程の電流値について説明する。

【0059】

後通電工程は、下記の式(1)式を満足する電流 $I_2 \text{ (kA)}$ で通電し、さらに通電時間は、下記の式(2)を満足する通電時間 $t_2 \text{ (sec)}$ である後通電工程で実施することが好ましい。

【0060】

本発明では、主通電工程終了後、後通電工程における電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ で通電し、ナゲット内を再加熱する。つまり、主通電工程において形成されたナゲット3を、後通電工程において溶接部を再加熱することで、熱影響部を焼戻し、後通電の間に炭化物をより多く析出させられる状態を維持する。なお、重ね合わせた各鋼板は板厚が薄い順に1～m番目と数え、 n 番目の鋼板のMoの含有量(質量%)を $[Mo]_n$ とし、Crの含有量(質量%)を $[Cr]_n$ とする。

【0061】

後通電工程は凝固したナゲット周辺の熱影響部を再加熱する工程であり、電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ が $I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.9$ 以下の場合は、溶接部が十分に再加熱されず、外部から侵入する水素をトラップするに十分な炭化物が析出されない。そのため、電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、主通電工程で設定された I_1 に対して $I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.9$ 超に設定することが好ましい。電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、 $I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.88$ 超に設定することがより好ましい。電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、 $I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.85$ 超に設定することがさらに好ましい。電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、 $I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.82$ 超に設定することがもっとも好ましい。また、電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ が高すぎる場合は熱影響部が過加熱し、十分な炭化物を得られず、さらに高い電流値である場合は溶融による散りなどの欠陥が発生し易い。そのため、電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、主通電工程で設定された I_1 に対して $I_1 \times (1.3 - MC/m)$ 未満に設定する。電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、 $I_1 \times (1.3 - MC/m) \times 0.98$ 未満に設定することが好ましい。電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ は、 $I_1 \times (1.3 - MC/m) \times 0.95$ 未満に設定することがより好ましい。

【0062】

電流値 $I_2 \text{ (kA)}$ で通電する場合、式(2)の範囲を満足する通電時間 t_2 により、目標とする溶接部の焼戻しによる炭化物が形成される。後通電工程の通電時間 t_2 が式(

2) の左辺以下の場合、熱影響部が十分に加熱されず、炭化物が十分に析出されないため、目標した遅れ破壊特性を得られない。したがって、後通電工程の通電時間は $1.8 \times (0.8 - MC/m) / 0.7$ 以上とすることが好ましい。後通電工程の通電時間は $1.8 \times (0.8 - MC/m) / 0.65$ 以上とすることがより好ましい。後通電工程の通電時間は $1.8 \times (0.8 - MC/m) / 0.6$ 以上とすることがさらに好ましい。また、後通電工程の通電時間 t_2 が式(2)の右辺以上の場合、過度な焼戻しにより、溶接継手強度を担保できない。そのため、後通電工程の通電時間 t_2 は、 $2.5 \times (1 - MC/m)$ 以下とすることが好ましい。後通電工程の通電時間は $2.4 \times (1 - MC/m)$ 以下とすることがより好ましい。後通電工程の通電時間は $2.3 \times (1 - MC/m)$ 以下とすることがさらに好ましい。

10

$$I_1 \times (1.0 - MC/m) / 0.9 < I_2 < I_1 \times (1.3 - MC/m) \cdots (1)$$

$$1.8 \times (0.8 - MC/m) / 0.7 < t_2 < 2.5 \times (1 - MC/m) \cdots (2)$$

【数1】

$$MC = \sum_{n=1}^m \{ ([Mo]_n + [Cr]_n) \times (d_n/d_1) \}$$

ここで、

I_1 : 本通電工程における電流値 (kA)、

20

I_2 : 後通電工程における電流値 (kA)、

t_2 : 後通電時間 (sec)、

$[Mo]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Mo 含有量 (質量%)、

$[Cr]_n$: 重ね合わせた各鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目の鋼板の Cr 含有量 (質量%)、

d_n : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が薄い順に n 番目鋼板の板厚 (mm)、

d_1 : 重ね合わせた鋼板のうち板厚が一番薄い鋼板の板厚 (mm)、

m : 鋼板の総枚数、

重ね合わせた各鋼板は板厚が薄い順に 1 ~ m 番目

30

【実施例】

【0063】

図1に示すように、下鋼板1と上鋼板2を重ね合わせて、抵抗スポット溶接を行った。

【0064】

抵抗スポット溶接は常温の雰囲気中で行い、電極を常に水冷した状態で行った。下電極4と上電極5は、いずれも先端の直径(先端径)6mm、曲率半径40mmとし、クロム銅製のDR形電極とした。また、下電極4と上電極5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、通電の際には周波数50Hzの単相交流を供給した。また、下鋼板1と上鋼板2としてはいずれも、引張強さを980MPa以上とし、長辺100mm、短辺30mm、板厚1.4mmを用いた。各鋼板に用いた鋼板の強度、めっき層の有無、成分組成は表1に記載の通りとした。なお、引張強さは、各鋼板から、圧延方向に対して平行方向に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

【0065】

【表 1】

銅板	引張強度 (MPa)	めっき層 の有無	板厚 (mm)	成分組成(質量%)※1											
				C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Ti	Nb	V
A	1200	無	1.4	0.135	1.200	1.800	0.005	0.005	0.040	0.002	0.015	0.015	0.040	0.020	0.010
B	1350	無	1.6	0.150	1.000	1.600	0.003	0.004	0.010	0.003	0.400	0.017	0.020	0.030	0.020
C	1550	無	1.2	0.185	1.100	2.200	0.006	0.003	0.030	0.001	0.016	0.260	0.040	0.010	0.030
D	1400	無	1.4	0.165	0.900	2.000	0.004	0.005	0.020	0.004	0.420	0.270	0.010	0.040	0.020
E	1380	有	1.4	0.160	1.100	1.700	0.002	0.003	0.040	0.003	0.410	0.014	0.040	0.030	0.010
F	1700	有	1.6	0.195	1.700	2.400	0.005	0.004	0.010	0.003	0.019	0.250	0.020	0.010	0.030
G	1530	有	1.4	0.180	1.200	2.100	0.004	0.005	0.030	0.001	0.430	0.280	0.010	0.020	0.040
H	1440	無	1.0	0.180	1.200	2.100	0.003	0.005	0.030	0.001	0.000	0.210	0.010	0.020	0.040
I	1370	無	1.2	0.180	1.200	2.100	0.006	0.003	0.030	0.001	0.410	0.000	0.000	0.000	0.040
J	1550	無	1.4	0.180	1.200	2.100	0.005	0.002	0.030	0.001	0.430	0.280	0.000	0.000	0.000
K	1450	無	1.4	0.140	1.600	1.300	0.004	0.005	0.020	0.002	0.130	0.220	0.060	0.000	0.000
L	1390	無	1.4	0.135	1.200	1.800	0.005	0.003	0.020	0.002	0.250	0.180	0.040	0.030	0.000

※1 成分組成について、上記以外の残部はFeおよび不可避的不純物である。

10

20

30

40

【0066】

抵抗スポット溶接は、図3に示すように、上記鋼板（長辺：100mm、短辺：30mm）2枚の間に、厚さ1.5mmで30mm四方のスペーサ6を両側に挟み込んで仮溶接し、2枚の鋼板を重ね合わせた板組中心を表2に記載する条件で溶接した。図3は、抵抗スポット溶接の試験片を示す平面図（図3（a））および側面図（図3（b））であり、図3中の符号7は溶接点、8は仮溶接点である。なお、すべての試料はナゲット径（mm）が板厚t（mm）に対して $4\sqrt{t}$ になる電流値と通電時間で本通電工程を行った。なお「 $\sqrt{t}$ 」はtの平方根を意味する。

【0067】

50

【表 2】

試料 番号	板組	MC	本通電 加圧力 (kN)	本通電 時間 t_1 (sec)	本通電 電流 I_1 (kA)	冷却 時間 t_c (sec)	後通電 加圧力 (kN)	後通電 電流 I_2 (kA)	後通電 時間 t_2 (sec)	ホールド 時間 (sec)	(1)式 左辺	(1)式 右辺	(2)式 左辺	(2)式 右辺
1	A-A	0.060	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	6.3	7.4	1.98	2.43
2	B-B	0.834	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	3.8	5.1	0.98	1.46
3	C-C	0.552	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	4.7	5.9	1.35	1.81
4	D-D	1.380	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	2.0	3.5	0.28	0.78
5	B-E	0.901	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	3.5	4.9	0.90	1.37
6	C-F	0.635	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	4.4	5.7	1.24	1.71
7	D-G	1.400	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	1.9	3.5	0.26	0.75
8	B-B	0.834	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	6.0	0.50	0.02	3.8	5.1	0.98	1.46
9	D-D	1.380	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	1.5	0.50	0.02	2.0	3.5	0.28	0.78
10	B-B	0.834	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	4.2	1.20	0.02	3.8	5.1	0.98	1.46
11	D-D	1.380	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.5	0.50	0.02	2.0	3.5	0.28	0.78
12	A-B	0.507	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	5.2	1.70	0.02	4.8	6.1	1.41	1.87
13	C-D	1.081	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	3.5	1.00	0.02	3.0	4.4	0.67	1.15
14	D-D	1.380	3.5	0.28	5.8	0.05	3.5	3.1	0.50	0.02	2.0	3.5	0.28	0.78
15	H-D	1.176	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	4.0	0.70	0.02	2.7	4.1	0.55	1.03
16	I-D	1.215	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	3.8	0.70	0.02	2.5	4.0	0.50	0.98
17	J-J	1.420	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	2.7	0.50	0.02	1.9	3.4	0.23	0.73
18	A-C-D	1.116	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	4.5	1.30	0.02	4.0	5.4	1.10	1.57
19	D-K	1.040	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	3.9	1.10	0.02	3.1	4.5	0.72	1.20
20	D-L	1.120	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	4.0	0.85	0.02	2.8	4.3	0.62	1.10
21	A-B	0.507	3.5	0.28	5.8	0.75	3.5	5.0	1.50	0.02	4.8	6.1	1.41	1.87

板組は、左から上銅板2、下銅板の順に並んでいる。3枚組は、左から上銅板2、真ん中の銅板、下銅板1の順に並んでいる。

10

20

30

【0068】

得られた溶接継手を常温（20）で大気中に静置して、光学顕微鏡およびSEM（Scanning Electron Microscope）による断面観察、および浸漬試験による遅れ破壊特性評価を行った。ナゲット径の測定は溶接部の中央を切断し、厚み方向の断面をピクリン酸エッチングし、前記対象面の断面観察を光学顕微鏡で40倍にて行った。

続いて、上記対象面に対して前記エッチングの影響を受けなくなるまで鏡面研磨を行い、ナイトルエッチングし、SEMを用いて上記対象面の熱影響部に含まれるMo系炭化物とCr系炭化物を確認し、前記Mo系炭化物とCr系炭化物をEPMA（Electron Probe Micro Analyzer）にて同定した。なお、前記EPMAの測定条件として、加速電圧：15kV、照射電流： 2×10^{-7} A、観察倍率：10000倍、ビーム径：1.4 μ m、時間：30ms、視野数：5視野、で行った。前記濃度は、5視野の平均値とした。

その後、SEM観察で撮影した写真において、Mo系炭化物とCr系炭化物の粒径を測定し、円相当直径で100nm以下であるMo系炭化物とCr系炭化物密度を測定した。SEMの観察条件は、加速電圧5kV、倍率5000倍で実施し、観察視野数は5箇所とし、5視野の平均値とした。

【0069】

また、熱影響部の炭化物粒径は、加速電圧5kV、倍率10000倍でSEM観察を実施し、炭化物の直径を円相当径に換算して測定した。観察視野数は5箇所とし、その中の

40

50

最大値を炭化物の最大粒径とした。

【 0 0 7 0 】

上記で測定した試料を用いて、平均結晶粒径は軟化部をランダムで5個所選定し、1000倍に拡大し、JIS G 0551に基づいて粒径を測定し、平均化した。

【 0 0 7 1 】

浸漬試験による遅れ破壊特性評価については、溶接後大気中に24時間以上静置した試料を、pH2.5の塩酸溶液で96時間浸漬し、ナゲットがはく離（接合界面でナゲットが二つに剥離する現象）しない試料を○、ナゲット内にき裂は認められるが、はく離はしていない試料を△、はく離した試料を×とした。ここでは記号「○」、「△」の場合に、優れた耐遅れ破壊特性を有すると評価した。

10

【 0 0 7 2 】

表3には断面観察から得られたナゲット径、熱影響部における炭化物密度、炭化物の最大粒径、軟化部の平均結晶粒径および遅れ破壊評価を行った結果を示す。

【 0 0 7 3 】

【表3】

試料番号	ナゲット径 (mm)	軟化部 平均結晶粒径 (μm)	熱影響部内 炭化物 最大粒径 (nm)	熱影響部における Mo系炭化物、Cr系炭化物密度の合計 (個/μm ²)	遅れ破壊特性評価	備考
1	4.70	45	810	30	×	比較例1
2	4.72	25	530	50	×	比較例2
3	4.68	30	720	55	×	比較例3
4	4.71	15	130	95	○	発明例1
5	4.73	32	560	60	×	比較例4
6	4.70	38	620	55	×	比較例5
7	4.75	16	160	91	○	発明例2
8	4.66	33	570	35	×	比較例6
9	4.68	17	510	45	×	比較例7
10	4.73	19	180	95	○	発明例3
11	4.71	14	140	105	○	発明例4
12	4.74	18	160	115	○	発明例5
13	4.68	13	130	120	○	発明例6
14	4.72	12	120	85	○	発明例7
15	4.76	18	490	120	○	発明例8
16	4.80	16	450	85	○	発明例9
17	4.84	11	140	120	○	発明例10
18	4.85	18	180	72	○	発明例11
19	4.88	16	160	87	○	発明例12
20	4.93	18	110	96	○	発明例13
21	4.79	16	510	100	△	発明例14

20

30

40

【 0 0 7 4 】

表3から明らかなように、本発明例では使用環境下で侵入する水素量を低減でき、優れた耐遅れ破壊特性を有する、良好な溶接継手を得られた。これに対し、比較例では良好な

50

溶接継手が得られなかった。

【符号の説明】

【 0 0 7 5 】

1：下鋼板

2：上鋼板

3：ナゲット

4：下電極

5：上電極

6：スペーサ

7：溶接点

8：仮溶接点

10

20

30

40

50

【要約】

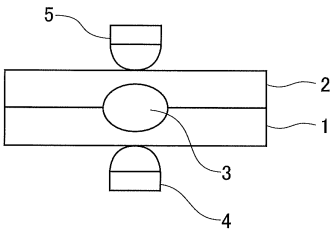
本発明は、溶接後使用環境下で侵入する水素量を低減させ、使用中の溶接継手の遅れ破壊を抑制することが可能な抵抗スポット溶接による溶接継手の製造方法および溶接継手を提供することを目的とする。

鋼板は引張強度が980MPa以上である高強度鋼板を少なくとも1枚を含み、前記鋼板を2枚以上重ねて抵抗スポット溶接し、溶接部を形成する溶接継手の製造方法であって、前記引張強度が980MPa以上である高強度鋼板は特定の成分を有し、前記溶接部の熱影響部には粒径が円相当直径で100nm以下のMo、Crの1種以上を含む炭化物の合計が50個/μm²以上存在し、前記溶接部の軟化部の平均結晶粒径が20μm以下である溶接継手の製造方法。

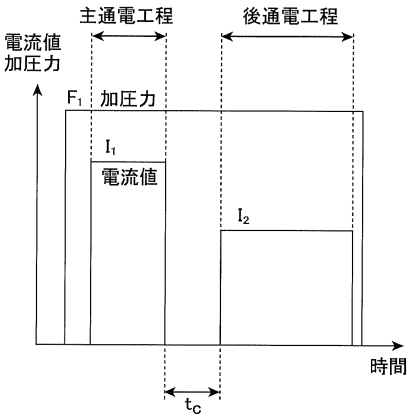
10

【図面】

【図1】

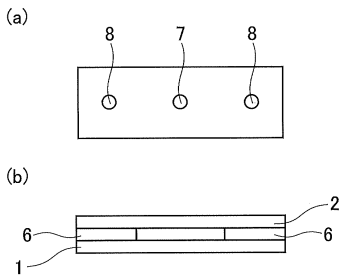


【図2】



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 ▲高▼島 克利
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 岩見 勤
(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 1 / 0 2 5 0 1 5 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 1 4 / 1 9 6 4 9 9 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 2 2 / 2 1 0 7 4 9 (W O , A 1)
特開 2 0 1 2 - 3 6 5 0 1 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 2 4 3 9 3 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 3 K 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 6