(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0043563
(43) 공개일자 2025년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 11/11 (2006.01) *B23K 11/16* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 11/115 (2013.01)
B23K 11/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7007656
(22) 출원일자(국제) 2023년09월14일
심사청구일자 2025년03월07일
(85) 번역문제출일자 2025년03월07일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/033592
(87) 국제공개번호 WO 2024/063011
국제공개일자 2024년03월28일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-150137 2022년09월21일 일본(JP)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
(72) 발명자
사와니시 지카우미
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
가나자와 도모미
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 7 항

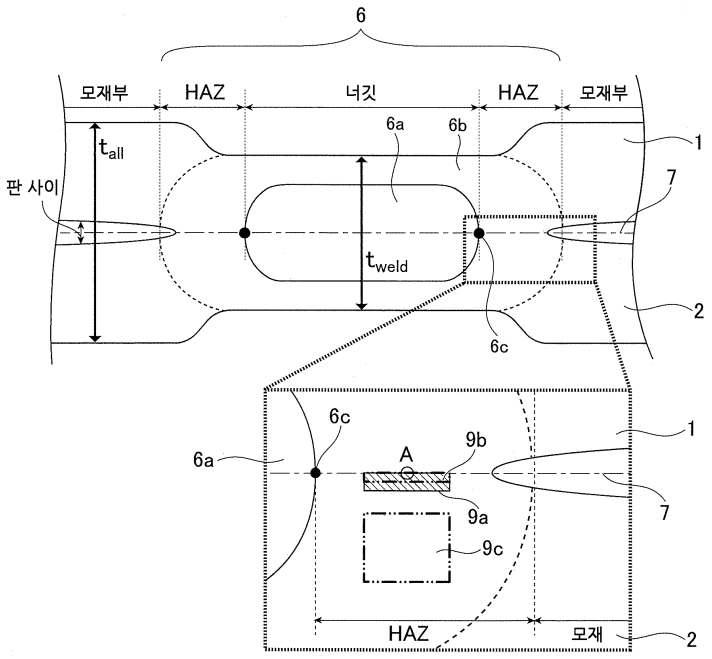
(54) 발명의 명칭 **용접 부재 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

용접 부재 및 그 제조 방법의 제공을 목적으로 한다. 본 발명의 용접 부재는, 판 세트의 총 판두께와 저항 스폿 용접부의 최소 두께가 식 (1) 을 충족하고, 판 세트 중 적어도 1 장은 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판이고, 또한, 내부 산화층을 갖는 강판측의 모재부에서는, 내부 산화층에 있어서의 단위 면적당 산소량이 식

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



(2) 를 충족하고, 당해 강판측의 용접 열 영향부에서는, 제 1 영역의 Si 함유 산화물의 밀도가 식 (3) 을 충족하고, 또한 제 2 영역 및 제 3 영역 내의 평균 Si 농도가 식 (4) 를 충족한다.

$0.5 < t_{weld}/t_{all} < 1.0$ … (1)

$0.02 < 0s < 1.0$ … (2)

$0.01 \leq Ns$ … (3)

$Ss/St < 1.0$ … (4)

(52) CPC특허분류
C22C 38/00 (2013.01)
(72) 발명자
다카시마 가츠토시
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
마츠다 히로시
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
야마모토 슌스케
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
호시노 가츠야
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이
가와노 다카시
일본 도꾜도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 지테키자이산부 나이

명 세 서

청구범위

청구항 1

2 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 저항 스폿 용접부를 갖는 용접 부재로서,

상기 판 세트의 총 판두께를 t_{all} (㎜), 상기 저항 스폿 용접부의 최소 두께를 t_{weld} (㎜) 로 했을 때, t_{all} (㎜) 및 t_{weld} (㎜) 가 식 (1) 을 충족하고,

상기 2 장 이상의 강판 중 적어도 1 장은, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판이고,

상기 내부 산화층을 갖는 강판측의 모재부에서는,

강판 이음면측의 상기 내부 산화층에 있어서의 단위 면적당 산소량을 Os (g/㎡) 로 했을 때, Os 가 식 (2) 를 충족하고,

상기 내부 산화층을 갖는 강판측의 용접 열 영향부에서는,

코로나 본드 단부에 있어서의 강판 이음면 상의 위치를 시점으로 하고, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 10 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도를 Ns (개/$㎛^2$) 로 했을 때, Ns 가 식 (3) 을 충족하고,

또한, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 5 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 2 영역 내에 있어서의, 평균 Si 농도를 Ss (질량%) 로 하고, 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 판두께의 1/4 의 두께만큼 떨어진 위치를 중심으로 한 100 ㎛ 사방의 제 3 영역 내에 있어서의, 평균 Si 농도를 St (질량%) 로 했을 때, Ss 및 St 가 식 (4) 를 충족하는, 용접 부재.

$0.5 < t_{weld}/t_{all} < 1.0$ … (1)

$0.02 < Os < 1.0$ … (2)

$0.01 \leq Ns$ … (3)

$Ss/St < 1.0$ … (4)

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 강판의 판두께를 t (㎜), 상기 강판의 인장 강도를 TS (MPa), 상기 강판 중의 평균 Si 함유량을 Si (질량%) 로 했을 때,

상기 내부 산화층을 갖는 강판이, 식 (5) 를 충족하는, 용접 부재.

$\{(t + Si + TS/1000) - 1.4\}/66 + 0.01 \leq Ns$ … (5)

여기서, 식 (5) 에 있어서의 Ns (개/$㎛^2$) 는 상기 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도이다.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 내부 산화층을 갖는 강판은, 상기 Ss 및 상기 St 가 식 (7) 을 충족하는, 용접 부재.

$\{(t + Si + TS/1000) - 1.4\}/66 < Ss/St < \{(t + Si + TS/1000) - 1.4\}/66 + 0.9$ … (7)

여기서, 식 (7) 에 있어서의 t (㎜) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께이고, TS (MPa) 는 상기 내부 산

화층을 갖는 강판의 인장 강도이고, Si (질량%) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판 중의 평균 Si 함유량이다.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 내부 산화층을 갖는 강판은, 탈탄층 및/또는 아연 도금층을 갖는, 용접 부재.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 아연 도금층의 하층에, Fe 계의 프리도금층을 갖는, 용접 부재.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 저항 스폿 용접부의 용접 타점 중심으로부터 상기 강판 단면까지의 최단 거리의 평균값이 3 ㎜ 이상이고,

또한, 복수의 용접 타점이 있는 경우에는, 이웃하는 용접 타점끼리의 타점 중심 사이의 평균 거리가 6 ㎜ 이상인, 용접 부재.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 기재된 용접 부재의 제조 방법으로서,

2 장 이상의 강판을 중첩하여 판 세트로 하는 준비 공정과, 상기 판 세트를 저항 스폿 용접하는 용접 공정을 갖고,

상기 용접 공정에서는,

상기 판 세트를 1 쌍의 용접 전극 사이에 끼우고, 가압하면서 통전하여 접합을 실시할 때에,

적어도 1 개소의 용접 타점에 대해서는, 상기 용접 전극에 의한 가압을 실시하기 직전에, (a) ~ (e) 의 1 개 또는 2 개 이상의 상태를 충족하고,

또한, 상기 통전은, 가압력 : 2.0 ~ 10.0 kN, 용접 전류 : 4.0 ~ 15.0 kA, 통전 시간 : 0.1 ~ 2.0 S 로 실시하는 통전 공정과,

통전 종료 후의 가압력 유지 시간을 Th (S) 로 했을 때, Th 가 식 (8) 의 관계를 충족하는 전극 유지 공정을 갖는, 용접 부재의 제조 방법.

(a) 용접 전극과 중첩한 강판의 경사각이 0.2 도 이상인 상태

(b) 1 쌍의 용접 전극의 오프셋량이 0.1 ㎜ 이상인 상태

(c) 어느 용접 전극과 중첩한 강판의 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

(d) 중첩한 강판 중, 적어도 1 세트 이상의 강판 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

(e) 용접 타점 중심으로부터 중첩한 강판에 있어서의 강판 단면까지의 최단 거리가 10 ㎜ 이하인 상태

$$\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/132<Th<[-\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66]+1.1 \quad \cdots (8)$$

여기서, 식 (8) 에 있어서의 t (㎜) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께이고, TS (MPa) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 인장 강도이고, Si (질량%) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판 중의 평균 Si 함유량이다.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 강판을 저항 스폿 용접한 용접 부재에 관한 것으로, 특히, 자동차 등의 구조 부품의 부재로서 적합

한 저항 스폿 용접부를 갖는 용접 부재 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 환경 문제의 고조로 인해 CO_2 배출 규제가 엄격화되고 있으며, 자동차 분야에 있어서는 연비 향상을 위한 차체의 경량화가 과제로 되어 있다. 그래서 자동차 부품에 대한 고강도 강판의 적용에 의한 박육화가 진행되고 있고, 인장 강도 (TS) 가 980 MPa 이상인 강판의 적용이 진행되고 있다. 또한, 내식성의 관점에서, 빗물에 노출되는 부위에는 아연 등의 녹방지능을 갖는 도금 강판이 사용된다.

[0003] 또한, 자동차의 조립에서는, 비용이나 제조 효율의 관점에서, 프레스 성형된 자동차 부품을 저항 스폿 용접에 의해 조합하는 경우가 많다. 일반적으로 중첩한 강판끼리의 접합에는, 겹치기 저항 용접법의 일종인 저항 스폿 용접 방법이 이용되고 있다. 이 용접 방법은, 중첩한 2 장 이상의 강판을 그 위아래에서 1 쌍의 용접 전극 사이에 끼우고, 당해 용접 전극에서 가압하면서, 상하 전극 사이에 고전류의 용접 전류를 단시간 통전하여 접합하는 방법이다. 도 1 에는, 중첩한 2 장의 강판 (1, 2) 을 용접 전극 (4, 5) 사이에 끼워서 저항 스폿 용접하는 일례를 나타낸다. 이 방법에 따르면, 고전류의 용접 전류를 흘려보냄으로써 발생하는 저항 발열을 이용하여, 점 형상의 용접부 (6) 를 얻는다. 이 점 형상의 용접부 (6) 는 너깃으로 불리고, 중첩한 강판에 전류를 흘려보냈을 때에 강판의 접촉 개소에서 두 강판 (1, 2) 이 용융되고, 응고된 부분이다. 이에 따라 강판끼리가 점 형상으로 접합된다.

[0004] 충돌 안전성을 확보하기 위해서, 강판의 강도를 향상시킴과 함께 용접부에 있어서의 강도를 향상시키는 것이 요구된다. 저항 스폿 용접부의 강도를 평가하는 시험 방법은 다양하지만, 일반적인 평가 방법의 하나로서 JIS Z3136 에 규정된 인장 전단 시험을 들 수 있다. 이것은, 용접 조인트를 인장 전단 방향으로 인장 하중을 부하하여 인장 전단 강도 (이하, 「TSS」라고 칭한다) 를 측정하는 시험법이다.

[0005] 표면 처리 강판을 포함하는 복수의 강판을 중첩한 판 세트의 저항 스폿 용접에 있어서는, 도 8 에 나타내는 바와 같이, 용접부에 균열이 발생하는 경우가 있다는 문제가 있다. 여기서, 표면 처리 강판이란, 전기 아연 도금 및 용융 아연 도금 (합금화 용융 아연 도금을 포함한다) 으로 대표되는 아연 도금이나, 아연 외에 알루미늄이나 마그네슘 등의 원소를 포함한 아연 합금의 도금 등의 금속 도금층을, 모재 (하지 강판) 의 표면 상에 갖는 강판을 말한다. 아연 도금이나 아연 합금 도금의 융점은, 표면 처리 강판의 모재의 융점보다 낮기 때문에 이하와 같은 문제가 있다.

[0006] 즉, 용접부의 균열은, 용접 중에 강판 표면의 저융점의 금속 도금층이 용융되고, 전극의 가압력이나, 강판의 열팽창 및 수축에 의한 인장 응력이 용접부에 가해졌을 때에, 용융된 저융점 금속이 표면 처리 강판의 모재의 결정 입계에 침입하여 입계 강도를 저하시켜, 균열을 야기시키는, 이른바 액체 금속 취성에서 기인하는 균열인 것으로 생각되고 있다 (이하, 「LME 균열」이라고 칭한다). LME 균열의 발생 위치는, 도 8 에 나타내는 바와 같이, 용접 전극 (4, 5) 과 접하는 측의 강판 (1, 2) 의 표면이나 강판끼리가 접하는 측의 강판 (1, 2) 의 표면 등, 여러 가지이다.

[0007] 이와 같은 LME 균열의 대책으로서, 예를 들어 특허문헌 1 ~ 특허문헌 3 의 기술을 들 수 있다. 특허문헌 1 에서는, 판 세트인 강판의 조성을 특정 범위의 조성, 구체적으로는 중량% 로, C : 0.003 ~ 0.01 %, Mn : 0.05 ~ 0.5 %, P : 0.02 % 이하, sol.Al : 0.1 % 이하, Ti : 48×(N/14) ~ 48×{(N/14)+(S/32)} %, Nb : 93×(C/12) ~ 0.1 %, B : 0.0005 ~ 0.003 %, N : 0.01 % 이하, Ni : 0.05 % 이하, 잔부 : Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 조성으로 하는 것이 제안되어 있다.

[0008] 특허문헌 2 에는, 고강도 도금 강판의 저항 스폿 용접에 있어서, 이하의 조건 식 (A) 및 (B) 를 만족시키도록, 용접 통전 시간 및 용접 통전 후의 유지 시간을 설정하여 저항 스폿 용접을 실시하는, 고강도 도금 강판의 스폿 용접 방법이 제안되어 있다.

[0009] $0.25\times(10\times t+2)/50\leq WT\leq 0.50\times(10\times t+2)/50$ … (A)

[0010] $300-500\times t+250\times t^2\leq HT$ … (B)

[0011] 다만, 조건 식 (A) 및 (B) 에 있어서, t : 판두께 (mm), WT : 용접 통전 시간 (ms), HT : 용접 통전 후의 유지 시간 (ms) 으로 한다.

[0012] 또한, 특허문헌 2 에서는, 강판의 판두께에 따라 통전 시간 및 통전 후의 전극의 유지 시간을 적절하게 설정하고, 또한 강판 중의 합금 원소량이 일정 이하가 되는 고장력 아연 도금 강판을 사용하여, 용접을 실시하는 것도

제안되어 있다.

[0013] 특허문헌 3 에서는, 통전 패턴을 3 단계 이상의 다단계 통전으로 하고, 적정 전류 범위 (ΔI) 가 1.0 kA 이상, 바람직하게는 2.0 kA 이상이 되도록, 통전 시간 및 용접 전류 등의 용접 조건을 조정하고, 각 단계 사이에 냉각 시간을 설정하는 방법이 제안되어 있다. 상기 적정 전류 범위란, 원하는 너깃 직경 이상이고, 또한 용융되다 남은 두께가 0.05 ㎜ 이상인 너깃을, 안정적으로 형성할 수 있는 전류 범위이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 평10-195597호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 2003-103377호

(특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2003-236676호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 그러나, 특허문헌 1 에서는 강판의 합금 원소량을 한정할 필요가 있기 때문에, 요구 성능을 충족하는 강판의 사용이 제한되는 등의 과제가 있다. 특히, 최근의 강판에 있어서의, 고강도화에 수반하여 고합금화가 진행되고 있는 상황 하에서는, 특허문헌 1 의 기술의 적용은 매우 제한된다.

[0016] 특허문헌 2 에서는, 스플래시가 발생하는 과대한 용접 전류를 설정했을 때의 균열 억제 방법만이 제안되어 있고, 스플래시가 발생하지 않는 상태에서의 균열에 대해서는 언급되어 있지 않다.

[0017] 특허문헌 3 에서는, 용접 조건의 적정화에 많은 공수 (工數) 가 필요하고, 또한 적정 전류 범위의 확보가 어려운 강판 및 판 세트에 대해서는 적용할 수 없다는 과제가 있다. 게다가, 특허문헌 2 및 3 에서는, 전극의 경사각에 의한 영향에 대해서는 검토되지 않았기 때문에, 자동차 조립 시의 실제 시공을 고려하면, 대책으로서는 불충분한 경우가 있다.

[0018] 조인트 강도의 관점도 추가하여 특허문헌 1 ~ 3 의 공통적인 과제를 종합하면, 고강도 강판의 용접부의 강도를 확보하면서, LME 균열 발생도 억제하는 기술은 제안되어 있지 않다.

[0019] 본 발명은, 상기와 같은 사정을 감안하여 이루어진 것으로, 고강도 강판에 있어서의 저항 스폿 용접부의 강도의 확보와 LME 균열의 억제를 양립할 수 있는 저항 스폿 용접부를 갖는, 용접 부재 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명자들은, 상기 목적을 달성하기 위해, 예의 검토를 거듭하였다.

[0021] 용접 시에 발생하는 균열 (LME 균열) 에 대한 본 발명의 효과는, 다양한 인자가 복잡하게 영향 미치고 있기 때문에 단순하게는 설명할 수 없다. 그러나, 저항 스폿 용접부의 LME 균열은, 용접 시의 시공 외란 등으로 인해, 저항 스폿 용접부에 과대한 인장 잔류 응력이 발생했을 때에 발생하기 쉽다. 특히, 강판끼리가 접하는 강판 이음면측에 있어서는, 저항 스폿 용접에서의 통전 및 가압 종료 후이며, 1 쌍의 용접 전극을 개방했을 때에, 국소적으로 인장 응력이 큰 영역에서 LME 균열이 발생하기 쉬운 것으로 알려져 있다.

[0022] 또한, 강판 중의 성분의 영향으로는, 참고 문헌 1 에 기재된 바와 같이, Si 량이 증가하면, 강판의 내 LME 균열성이 열화되는 것으로 알려져 있다. 그래서, 용접 열 영향부의 강판 표면 근방에서, Si 를 내부 산화시켜 산화물로서 고정시킴으로써, 고용 Si 량을 감소시키는 것이 LME 균열 억제에 유효하다고 생각된다.

[0023] [참고 문헌 1] WO2021/200412호 공보

[0024] 그러나, 강판 표면 근방에 있어서 Si 의 내부 산화를 발생시켰다 하더라도, 용접 시의 열 영향으로 인해, 특히 강판끼리의 강판 이음면측에서 Si 의 내부 산화물이 소실되어 버리면, 본 발명에서 목적으로 하는 효과는 얻어지지 않는다. 즉, 용접 열 영향부에 있어서의 강판 표층의 Si 농도비를 일정한 범위로 제어함으로써, 용접

부의 강도의 확보와 LME 균열의 억제를 양립할 수 있다는 아이디어를 얻었다.

[0025] 또한, 상기 서술한 바와 같이 용접 열 영향부에 있어서 Si 내부 산화층이 존재하기 위해서는, 모재의 Si 내부 산화량을 일정 이상으로 할 필요가 있다. 모재의 Si 내부 산화의 형성을 촉진하기 위해서는, 후술하는 바와 같이, 예를 들어 강판의 어닐링 노점을 상승시키는 것이 유효하다. 모재의 Si 내부 산화량은, 강판 표층의 산소량과 상관이 있기 때문에, 강판 표층의 산소량을 일정 이상으로 함으로써, 모재에 있어서 일정 이상의 Si 내부 산화층을 존재시킬 수 있으며, 용접 열 영향부에 있어서의 Si 의 내부 산화물의 소실을 방지할 수 있다.

[0026] 도 3(A) ~ 도 3(C) 에 나타내는 바와 같이, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판을 포함하는 판 세트를 저항 스폿 용접한 용접 부재는, 강판 이음면 (7) 측의 하부판의 표층에 내부 산화층을 갖는다. 도 3(A) ~ 도 3(C) 에 나타내는 예에서는, 하부판에 상기 내부 산화층을 갖는 강판을 사용한다. 내부 산화층은, 용접 열 영향부 (HAZ) 및 모재부의 영역에 존재한다. 용접 열 영향부의 영역에 있어서의 내부 산화층은, 도 3(A) 에 나타내는 바와 같이, 기본적으로는 너깃 (6a) 에 가까워질수록 감소한다. 그러나, 용접 시의 열 영향에 따라, 도 3(B) 에 나타내는 바와 같이, C 등의 원소 확산에서 기인하여 용접 열 영향부의 내부 산화층의 일부가 완전히 소실되거나, 또는 도 3(C) 에 나타내는 바와 같이, 용접 열 영향부의 내부 산화층이 거의 소실되지 않고 잔존한 상태가 되는 경우도 있다. 본 발명에서는, 도 3(A) ~ 도 3(C) 에 나타내는 상태를 포함하는 용접 열 영향부 영역에 존재하는 내부 산화층을, 「용접 열 영향부에 있어서의 강판 표층의 내부 산화층」이라고 칭한다.

[0027] 본 발명은, 이상의 지견에 입각하는 것으로, 요지는 다음과 같다.

[0028] [1] 2 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 저항 스폿 용접부를 갖는 용접 부재로서,

[0029] 상기 판 세트의 총 판두께를 t_{all} (㎜), 상기 저항 스폿 용접부의 최소 두께를 t_{weld} (㎜) 로 했을 때, t_{all} (㎜) 및 t_{weld} (㎜) 가 식 (1) 을 충족하고,

[0030] 상기 2 장 이상의 강판 중 적어도 1 장은, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판이고,

[0031] 상기 내부 산화층을 갖는 강판측의 모재부에서는,

[0032] 강판 이음면측의 상기 내부 산화층에 있어서의 단위 면적당 산소량을 Os (g/㎡) 로 했을 때, Os 가 식 (2) 를 충족하고,

[0033] 상기 내부 산화층을 갖는 강판측의 용접 열 영향부에서는,

[0034] 코로나 본드 단부에 있어서의 강판 이음면 상의 위치를 시점 (始點) 으로 하고, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 10 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도를 Ns (개/$㎛^2$) 로 했을 때, Ns 가 식 (3) 을 충족하고,

[0035] 또한, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 5 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 2 영역 내에 있어서의, 평균 Si 농도를 Ss (질량%) 로 하고, 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 판두께의 1/4 의 두께만큼 떨어진 위치를 중심으로 한 100 ㎛ 사방의 제 3 영역 내에 있어서의, 평균 Si 농도를 St (질량%) 로 했을 때, Ss 및 St 가 식 (4) 를 충족하는, 용접 부재.

[0036] $0.5 < t_{weld}/t_{all} < 1.0$ … (1)

[0037] $0.02 < Os < 1.0$ … (2)

[0038] $0.01 \leq Ns$ … (3)

[0039] $Ss/St < 1.0$ … (4)

[0040] [2] 상기 강판의 판두께를 t (㎜), 상기 강판의 인장 강도를 TS (MPa), 상기 강판 중의 평균 Si 함유량을 Si (질량%) 로 했을 때,

[0041] 상기 내부 산화층을 갖는 강판이, 식 (5) 를 충족하는, [1] 에 기재된 용접 부재.

[0042] $\{(t + Si + TS/1000) - 1.4\}/66 + 0.01 \leq Ns$ … (5)

[0043] 여기서, 식 (5) 에 있어서의 Ns (개/㎛^{2}) 는 상기 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도이다.

[0044] [3] 상기 내부 산화층을 갖는 강판은, 상기 Ss 및 상기 St 가 식 (7) 을 충족하는, [1] 또는 [2] 에 기재된 용접 부재.

[0045] $\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66<Ss/St<\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66+0.9$ … (7)

[0046] 여기서, 식 (7) 에 있어서의 t (㎜) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께이고, TS (MPa) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 인장 강도이고, Si (질량%) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판 중의 평균 Si 함유량이다.

[0047] [4] 상기 내부 산화층을 갖는 강판은, 탈탄층 및/또는 아연 도금층을 갖는, [1] ~ [3] 중 어느 하나에 기재된 용접 부재.

[0048] [5] 상기 아연 도금층의 하층에, Fe 계의 프리도금층을 갖는, [4] 에 기재된 용접 부재.

[0049] [6] 상기 저항 스폿 용접부의 용접 타점 중심으로부터 상기 강판 단면까지의 최단 거리의 평균값이 3 ㎜ 이상이고,

[0050] 또한, 복수의 용접 타점이 있는 경우에는, 이웃하는 용접 타점끼리의 타점 중심 사이의 평균 거리가 6 ㎜ 이상인, [1] ~ [5] 중 어느 하나에 기재된 용접 부재.

[0051] [7] [1] ~ [6] 중 어느 하나에 기재된 용접 부재의 제조 방법으로서,

[0052] 2 장 이상의 강판을 중첩하여 판 세트로 하는 준비 공정과, 상기 판 세트를 저항 스폿 용접하는 용접 공정을 갖고,

[0053] 상기 용접 공정에서는,

[0054] 상기 판 세트를 1 쌍의 용접 전극 사이에 끼우고, 가압하면서 통전하여 접합을 실시할 때에,

[0055] 적어도 1 개소의 용접 타점에 대해서는, 상기 용접 전극에 의한 가압을 실시하기 직전에, (a) ~ (e) 의 1 개 또는 2 개 이상의 상태를 충족하고,

[0056] 또한, 상기 통전은, 가압력 : 2.0 ~ 10.0 kN, 용접 전류 : 4.0 ~ 15.0 kA, 통전 시간 : 0.1 ~ 2.0 S 로 실시하는 통전 공정과,

[0057] 통전 종료 후의 가압력 유지 시간을 Th (S) 로 했을 때, Th 가 식 (8) 의 관계를 충족하는 전극 유지 공정을 갖는, 용접 부재의 제조 방법.

[0058] (a) 용접 전극과 중첩한 강판의 경사각이 0.2 도 이상인 상태

[0059] (b) 1 쌍의 용접 전극의 오프셋량이 0.1 ㎜ 이상인 상태

[0060] (c) 어느 용접 전극과 중첩한 강판의 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0061] (d) 중첩한 강판 중, 적어도 1 세트 이상의 강판 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0062] (e) 용접 타점 중심으로부터 중첩한 강판에 있어서의 강판 단면까지의 최단 거리가 10 ㎜ 이하인 상태

[0063] $\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/132<Th<[-\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66]+1.1$ … (8)

[0064] 여기서, 식 (8) 에 있어서의 t (㎜) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께이고, TS (MPa) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 인장 강도이고, Si (질량%) 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판 중의 평균 Si 함유량이다.

발명의 효과

[0065] 본 발명에 따르면, 고강도 강판을 사용한 저항 스폿 용접이어도, 강판 표면 근방의 Si 량 증가에서 기인하는 저항 스폿 용접부의 강도 저하를 방지하면서, LME 균열도 발생하지 않는, 용접 부재 및 그 제조 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0066] 도 1 은, 본 발명의 저항 스폿 용접의 일례를 모식적으로 나타내는 단면도이다.

도 2 는, 본 발명의 일 실시형태에 관련된 용접 부재에 있어서의, 저항 스폿 용접부 및 그 주변을 모식적으로 나타내는 단면도이다.

도 3(A) ~ 도 3(C) 는, 용접 열 영향부에 있어서의 강판 표층의 내부 산화층을 설명하는 확대 단면도이다.

도 4 는, 본 발명에 사용하는, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판의 일례를 설명하는 판두께 방향 단면도이다.

도 5 는, 본 발명의 용접 부재에 있어서의, 용접 타점 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리 (H_1) 를 설명하는 도면이다.

도 6 은, 본 발명의 용접 부재에 있어서의, 이웃하는 용접 타점 중심 사이의 거리 (H_2) 를 설명하는 도면이다.

도 7 은, 본 발명의 실시예에 있어서의, 3 장 판 세트의 경우의 인장 시험의 일례를 설명하는 단면도이다.

도 8 은, 종래의 저항 스폿 용접 시의 균열의 발생예를 모식적으로 나타내는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0067] 이하, 도 1 ~ 도 6 을 참조하여, 본 발명의 일 실시형태인 용접 부재 및 그 제조 방법에 대해서 설명한다. 또, 본 발명은 이 실시형태에 한정되지 않는다.

[0068] 먼저, 본 발명의 용접 부재에 대해서 설명한다.

[0069] 도 2 는, 본 발명의 용접 부재의 일례를 나타내는 판두께 방향 단면도이고, 또한 당해 용접 부재에 있어서의 저항 스폿 용접부 및 그 주변의 일부를 확대한 단면도이다. 이 확대 단면도에 나타내는 개소는, 도 2 중의 사각 프레임으로 둘러싸인 영역이다. 도 3(A) ~ 도 3(C) 는, 용접 열 영향부의 내부 산화층을 설명하는 단면도이고, 도 2 중의 사각 프레임으로 둘러싸인 영역을 나타낸다. 도 4 에는, 본 발명에 사용하는 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께 방향 단면도를 나타낸다. 도 5 및 도 6 에는, 용접 부재의 저항 스폿 용접부 주변을 나타내는 상면도 (즉, 용접 부재를 상방에서 본 도면) 를 나타낸다.

[0070] 본 발명은, 2 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 저항 스폿 용접부 (이하, 「용접부」라고 칭한다) 를 갖는 용접 부재이다.

[0071] 본 발명의 용접 부재는, 후술하는 바와 같이, 중첩한 2 장 이상의 강판 중 적어도 1 장이, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판이다 (도 4 를 참조). 강판의 장수는 특별히 한정되지 않으며, 2 장 이상이면 된다. 바람직하게는 3 장 이상이다. 또, 강판의 장수의 상한은 특별히 규정되지 않지만, 5 장 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0072] 도 2 에는, 중첩한 2 장의 강판이 용접된 용접 부재 (10) 의 일례를 나타낸다. 하측에 배치되는 강판 (2) (즉 하부판) 및 상측에 배치되는 강판 (1) (즉 상부판) 의 양방 또는 어느 일방이, 상기 내부 산화층을 갖는 강판이다. 강판 (1, 2) 이 접하는 강판 이음면 (7) 에, 이하에 설명하는 용접부 (6) 가 형성된다.

[0073] 도 2 에 나타내는 예의 용접 부재의 경우, 하부판 (2) 만이 내부 산화층을 갖는 강판으로 하고, 상부판 (1) 은 내부 산화층을 갖지 않는 강판으로 한다. 이 경우, 하부판 (2) 의 강판 이음면 (7) 측에만, 본 발명의 용접부 (6) 가 형성된다. 또, 상부판 (1) 및 하부판 (2) 의 양방에 본 발명의 내부 산화층을 갖는 강판을 사용한 경우에는, 강판 이음면에 대하여 상부판 (1) 측 및 하부판 (2) 측의 양방에, 본 발명의 용접부 (6) 가 형성된다.

[0074] 도시는 생략되어 있지만, 3 장 이상의 강판을 중첩하여 용접한 경우에는, 가장 하측에 배치되는 강판 (즉 하부판), 가장 상측에 배치되는 강판 (즉 상부판), 및 그것들 사이에 배치되는 강판 (즉 중간판) 의 전부 또는 적어도 1 장이, 상기 내부 산화층을 갖는 강판이 된다. 각 강판 사이의 강판 이음면을 포함하도록, 본 발명의 용접부가 형성된다.

[0075] 예를 들어, 3 장의 강판으로 이루어지는 판 세트의 경우, 하부판과 중간판, 및 중간판과 상부판이 접하는 2 개의 강판 이음면을 포함하도록, 본 발명의 용접부가 형성된다. 3 장의 강판 전부에 상기 내부 산화층을 갖는 강판을 사용한 경우에는, 각 강판 이음면에 대하여 상하측에 있는 각 강판 표층의 내부 산화가 각각 제어된다.

[0076] <용접부>

[0077] 본 발명의 용접부에 대해서, 상세하게 설명한다. 또, 2 장의 강판을 중첩한 판 세트의 경우에도, 3 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트의 경우에도, 동일한 용접부가 형성되기 때문에, 이후의 설명에는 도 2 를 사용한다.

[0078] 본 발명의 용접부 (6) 는, 도 2 에 나타내는 바와 같이, 판 세트의 총 판두께를 t_{all} (㎜), 용접부의 최소 두께를 t_{weld} (㎜) 로 했을 때, 총 판두께 (t_{all}) 및 용접부의 최소 두께 (t_{weld}) 가 이하의 식 (1) 을 충족한다.

[0079] $$0.5 < t_{weld}/t_{all} < 1.0 \quad \cdots (1)$$

[0080] 총 판두께 및 용접부의 최소 두께의 비 (t_{weld}/t_{all}) 가 상기 식 (1) 을 충족하지 못할 경우, 특히 식 (1) 의 하한값 이하가 되는 경우, 용접부 (6) 의 두께 감소가 현저해지기 때문에, 용접부 (6) 에 발생하는 인장 잔류 응력이 과대해져 LME 균열이 발생하기 쉬워짐과 함께, 조인트 강도의 저하를 초래한다. 또, 용접 시에 있어서의, 1 쌍의 용접 전극에 의한 가압과 열 영향으로 인해 판 세트의 판두께는 감소되기 때문에, t_{weld}/t_{all} 의 상한은 1.0 미만이 된다.

[0081] 식 (1) 의 하한은, 바람직하게는 0.55 이상으로 한다. 식 (1) 의 상한은, 바람직하게는 0.95 이하로 한다.

[0082] 여기서, 상기 「용접부의 최소 두께 (t_{weld})」란, 도 2 에 나타내는 바와 같이, 너깃 (6a) 의 판폭 방향의 영역 내에 있어서의 판두께 방향의 최소 두께를 가리킨다. 또, 이 최소 두께 (t_{weld}) 는, 후술하는 실시예에 기재된 방법으로 측정할 수 있다.

[0083] 상기 서술한 바와 같이, 본 발명에 있어서의, 용접 열 영향부의 강판 표층 근방의 내부 산화의 목적은, 고용 Si 량의 감소이다. 그래서, 본 발명에서는, 상기 두께 비의 조건 식에 추가하여, 내부 산화층을 갖는 강판측 (도 2 에 나타내는 예에서는, 하부판 (2) 측) 의 모재부와 용접 열 영향부에 있어서 이하의 조건 식도 규정한다.

[0084] 구체적으로는, 내부 산화층을 갖는 강판측의 모재부에서는, 강판 이음면측의 내부 산화층에 있어서의 단위 면적당 산소량을 Os (g/㎡) 로 했을 때, 당해 산소 (Os) 가 이하의 식 (2) 를 충족한다.

[0085] $$0.02 < Os < 1.0 \quad \cdots (2)$$

[0086] 상기 식 (2) 를 충족하지 못할 경우, 특히, Os 가 0.02 이하인 경우, Si 내부 산화량이 적고, 용접 열 영향을 받은 경우에는 강판 표층 근방의 내부 산화층은 거의 소실되어 버린다. 그 결과, 후술한 용접 열 영향부의 표층의 고용 Si 량의 감소를 실현하는 것이 어려워진다. Os 가 1.0 이상인 경우, 입내뿐만 아니라 입계의 산화도 현저해진다. 그 결과, 입계의 산화로 인해 LME 감수성이 증가하여, 균열 억제 효과가 얻어지지 않게 된다.

[0087] (2) 식의 하한은, 바람직하게는 0.08 이상으로 하고, 보다 바람직하게는 0.1이상으로 한다. (2) 식의 상한은, 바람직하게는 0.8 이하로 한다.

[0088] 또, 상기 「강판 이음면측의 내부 산화층에 있어서의 단위 면적당 산소량 (Os)」은, 후술하는 실시예에 기재된 방법으로 측정할 수 있다.

[0089] 이것에 추가하여, 내부 산화층을 갖는 강판측의 용접 열 영향부에서는, 코로나 본드 단부에 있어서의 강판 이음면 상의 위치를 시점 (도 2 에 나타내는 점 A) 으로 하고, 당해 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향 (즉, 판폭 방향) 으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 당해 시점으로부터 판두께 방향 (즉, 강판 이음면과 수직 방향) 으로 10 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 영역 (제 1 영역 (9a)) 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도를 Ns (개/$㎛^2$) 로 했을 때, 당해 Si 를 함유하는 산화물의 밀도 (Ns) 는 식 (3) 을 충족한다.

[0090] 또한, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 5 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 영역 (제 2 영역 (9b)) 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물을 제외한 위치의 평균 Si 농도를 Ss (질량%) 로 하고, 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 판두께의 1/4 의 두께만큼 떨어진 위치를 중심으로 한 100 ㎛ 사방의 영역 (제 3 영역 (9c)) 내에 있어서의, 평균 Si 농도를 St (질량%) 로 했을 때, 제 3 영역 (9c) 에 대한 제 2 영역 (9b) 의 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 는 식 (4) 를 충족한다 (도 2 를 참조).

[0091] $$0.01 \leq Ns \quad \cdots (3)$$

[0092] $Ss/St < 1.0 \quad \cdots (4)$

[0093] 상기 산화물의 밀도 (Ns) 가 0.01 (개/μm^2) 미만이 되는 상태에서는, Si 내부 산화량이 불충분해져, 용접 열 영향부의 강판 표층 근방의 고용 Si 량이 증가하고, 그 결과, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 그래서, 제 1 영역은 식 (3) 의 관계 ($0.01 \leq Ns$) 를 충족하는 것이 유효해진다. 상기 산화물의 밀도는, 바람직하게는 $0.02 \leq Ns$ 의 관계를 충족하는 것이 보다 유효하고, 보다 바람직하게는 $0.05 \leq Ns$ 의 관계를 충족하는 것이 더욱 유효하다.

[0094] 또, 상기 산화물의 밀도의 상한값은 특별히 규정되지 않는다. 다만, 입계의 과도한 산화를 억제한다라는 관점에서, 상기 산화물의 밀도 (Ns) 는 100 (개/μm^2) 이하로 하는 것이 바람직하다. 상기 산화물의 밀도 (Ns) 는, 20 (개/μm^2) 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.

[0095] 또한, 제 2 및 제 3 영역의 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 가 1.0 이상이 되는 상태에서는, 용접 열 영향부의 강판 표층 근방의 고용 Si 량이 증가하고, 그 결과, LME 균열의 억제 효과가 얻어지지 않는다. 상기 평균 Si 농도의 비는, 바람직하게는 $Ss/St < 0.9$ 의 관계를 충족하고, 보다 바람직하게는 $Ss/St < 0.7$ 의 관계를 충족하는 것으로 한다.

[0096] 또, 상기 평균 Si 농도의 비의 하한값은 특별히 규정되지 않는다. 내부 산화를 촉진해도, 고용 Si 량을 제로로 하는 것은 어렵기 때문에, 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 는 0.05 이상으로 하는 것이 바람직하고, 0.10 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다.

[0097] 상기 산화물의 밀도 (Ns) 및 평균 Si 농도의 비 (Ss, St) 는, 후술하는 실시예에 기재된 방법으로 측정할 수 있다.

[0098] 이상과 같은 구성에 의해, 용접부의 강도의 확보와 LME 균열의 억제를 양립할 수 있다.

[0099] <강판>

[0100] [판두께, 인장 강도]

[0101] LME 균열은, 중첩하는 강판의 판두께, Si 함유량 및 인장 강도가 각각 증가하면 발생하기 쉬울 것으로 생각된다. 구체적으로는, 모재의 Si 함유량이나 인장 강도가 증가하면, 강판의 내 LME 균열성이 열화된다. 그래서, 내부 산화량을 더 늘리고, 고용 Si 량을 감소시키지 않으면, LME 균열을 억제할 수 없다. 즉, 이들 파라미터의 증가에 따라, 용접 열 영향부의 LME 균열을 억제하기 위해서 유효해지는 내부 산화물의 양이 증가하는 것으로 생각된다.

[0102] 따라서, 본 발명에서는, 강판 표층 근방에 있어서의 상기 Si 를 함유하는 산화물의 밀도 (Ns) 를 이들 파라미터에 따라 적정하게 제어하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 본 발명의 효과를 한층 더 유효하게 얻을 수 있다.

[0103] 구체적으로는, 강판의 판두께를 t (mm), 강판의 인장 강도를 TS (MPa), 강판 중의 평균 Si 함유량을 Si (질량%) 로 했을 때, 내부 산화층을 갖는 강판은, 식 (5) 를 만족하는 것이 바람직하다.

[0104] $\{(t + Si + TS/1000) - 1.4\}/66 + 0.01 \leq Ns \quad \cdots (5)$

[0105] 여기서, 식 (5) 에 있어서의 Ns 는, 상기 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 밀도이다.

[0106] 또, 상기 Si 를 함유하는 산화물의 밀도 (Ns) 를 보다 적절하게 제어한다는 관점에서, 이 조건 식 ((식) 5) 에 추가하여, 이하의 식 (6) 을 충족하는 것이 보다 바람직하다.

[0107] $1.4 \leq t + Si + TS/1000 \leq 8.0 \quad \cdots (6)$

[0108] 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께 (t) 가 큰 경우, 용접 시공 외란에 의해 용접 열 영향부가 크게 변형되었을 때에, 국소적인 열 응력이 증가하여, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 그래서, 강판의 판두께 (t) 가 클수록, 바람직한 Ns 의 하한값은 커진다.

[0109] 한편, 내부 산화층을 갖는 강판의 인장 강도 (TS) 가 큰 경우, 용접 시의 열 영향으로 인한 마텐자이트 변태가 발생하기 때문에, 일반적으로는 용접 열 영향부는 경화되기 쉽다. 그래서, 강판 표층의 내부 산화층과 강판 내부의 Si 농도의 차이가 커지는 것에서 기인하여 발생하는, 용접 열 영향부의 표층 연화에 의해, 용접부의 강

도는 저하되기 쉬워진다. 요컨대, 강판의 인장 강도 (TS) 가 클수록, 바람직한 Ns 의 하한값은 커진다.

[0110] 또한, 내부 산화층을 갖는 강판의 강판 중의 평균 Si 함유량 (Si) 이 큰 경우, 내부 산화량을 더 증가시킴으로써, 고용 Si 량을 감소시킬 필요가 있다.

[0111] 따라서, 강판의 판두께 (t) 및 인장 강도 (TS) 및 강판 중의 평균 Si 함유량 (Si) 의 관점에서는, Ns 는, 식 (5) 를 만족하는 것이 바람직하다.

[0112] 식 (5) 의 하한은, 바람직하게는 {(t＋Si＋TS/1000)－1.4}/66＋0.03 이상이다. 식 (5) 의 상한은, 바람직하게는 100 이하이다.

[0113] 또, 상기 서술한 이유에서, 추가로 식 (6) 을 만족하는 것이 보다 바람직하다. 식 (6) 의 하한은, 바람직하게는 2.5 이상이고, 식 (6) 의 상한은, 바람직하게는 7.0 이하이다.

[0114] 또한 본 발명에서는, 상기 서술과 마찬가지로, 강판의 판두께, Si 함유량 및 인장 강도의 증가에 따라, 용접 열 영향부의 LME 균열을 억제하기 위해서 유효해지는, 강판 표층 근방의 고용 Si 농도의 저하율이 변화하는 것으로 생각된다.

[0115] 구체적으로는, 강판의 판두께를 t (㎜), 강판의 인장 강도를 TS (㎫), 강판 중의 평균 Si 함유량을 Si (질량%) 로 했을 때, 내부 산화층을 갖는 강판은, 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 가 식 (7) 을 충족하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 본 발명의 효과를 한층 더 유효하게 얻을 수 있다.

[0116] {(t＋Si＋TS/1000)－1.4}/66＜Ss/St＜{(t＋Si＋TS/1000)－1.4}/66＋0.9 … (7)

[0117] 식 (7) 에 있어서 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 에 하한값을 형성하는 이유로서는, 다음과 같다. 용접 열 영향부 표층 부근의 고용 Si 농도를 대폭 저하시키기 위해서는, Si 뿐만 아니라 다른 합금 원소의 강판 표층 부근의 농도를 대폭 저하시키는 강판의 제조 방법이 필요해지기 때문에, 용접 열 영향부의 강판 표층이 대폭 연화될 우려가 있다. 특히 강판끼리의 이음면에 있어서의 과도한 연화는, 용접부의 강도를 저하시키기 위해, 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 에는 하한값을 형성하는 것이 바람직하다.

[0118] 또한, 식 (7) 에 있어서 상한값을 형성하는 이유는, 상기 평균 Si 농도의 비 (Ss/St) 가 과대해지는 경우에는, 용접 열 영향부 표층의 고용 Si 량이 큰 것을 의미한다는 점에서, LME 균열을 억제하는 효과가 얻어지지 않기 때문이다.

[0119] 상기 서술한 바와 같이, 일반적으로 강판의 고강도화 및 고합금 성분화에 수반하여, LME 균열은 발생하기 쉬운 경향이 있다. 그래서, 본 발명에서는, 탈탄층을 갖는 강판의 인장 강도는, TS≥980 인 것이 바람직하다. 이 관계를 충족하는 고강도 강판의 경우에, 본 발명의 효과를 한층 더 유효하게 얻을 수 있기 때문이다.

[0120] [내부 산화층을 갖는 강판]

[0121] 본 발명에서는, 상기 서술한 바와 같이, 중첩하는 2 장 이상의 강판 중 적어도 1 장은, 강판의 표층에 내부 산화층을 갖는 강판이다. 도 4 를 참조하여, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판에 대해서 설명한다. 도 4 에는, 강판 표층에 내부 산화층을 갖는 강판의 일례를 나타낸다. 이 내부 산화층을 갖는 강판으로서, 예를 들어 내부 산화층 상에 아연 도금층을 갖는 아연 도금 강판이나, 내부 산화층을 최표층에 포함하는 탈탄층을 갖는 강판을 들 수 있다.

[0122] 본 발명에 사용한 강판에 대해서, 강판 표층에 내부 산화층을 부여하는 방법은 특별히 제한되지 않는다.

[0123] 또, 도 4 에는, 일례로서, 탈탄층, Si 내부 산화층, 아연 도금층 및 후술하는 Fe 계 프리도금층을 갖는 구조의 강판을 나타내고 있다.

[0124] [아연 도금 강판]

[0125] LME 균열은, 용융 아연이 강판과 접한 상태에서 인장 응력이 부여됨으로써 발생하는 현상이다. 그래서, 본 발명에서는, 내부 산화층을 갖는 강판은 아연 도금 강판인 것이 바람직하다. 아연 도금 강판인 경우에, 본 발명의 효과를 한층 더 유효하게 얻을 수 있기 때문이다. 특히, 강판의 프레스성이나 연속 타점 용접성도 포함시켜 고려하면, 아연 도금 강판은, 합금화 용융 아연 도금 강판 (GA 강판), 용융 아연 도금 강판 (GI 강판), 전기 아연 도금 강판 (EG 강판) 인 것이 보다 바람직하다.

[0126] 도 4 에 나타내는 바와 같이, 아연 도금 강판은, 아연 도금층의 하층에, Fe 계의 프리도금층을 갖고 있어도 된

다. Fe 계의 프리도금층을 형성함으로써, 강판 표층의 고용 Si 량을 저감시킬 수 있다.

[0127] [Fe 계 프리도금층]

[0128] 이 프리도금층은, Fe 계 전기 도금층인 것이 바람직하다. Fe 계 전기 도금층으로는, 순 Fe 외에, Fe-B 합금, Fe-C 합금, Fe-P 합금, Fe-N 합금, Fe-O 합금, Fe-Ni 합금, Fe-Mn 합금, Fe-Mo 합금, Fe-W 합금 등의 합금 도금층을 사용할 수 있다. Fe 계 전기 도금층의 성분 조성은 특별히 한정되지 않지만, 본 발명에서는, B, C, P, N, O, Ni, Mn, Mo, Zn, W, Pb, Sn, Cr, V 및 Co 로 이루어지는 군에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상의 원소를 합계로 10 질량% 이하 포함하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성으로 하는 것이 바람직하다. Fe 이외의 원소의 양을 합계로 10 질량% 이하로 함으로써, 전해 효율의 저하를 방지하고, 저비용으로 Fe 계 전기 도금층을 형성할 수 있다.

[0129] 또한 Fe 계 전기 도금층의 편면당 부착량은, 0.5 g/㎡ 이상이 바람직하다. 당해 부착량은, 더욱 바람직하게는 1.0 g/㎡ 이상이다. Fe 계 전기 도금층의 편면당 부착량의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 비용의 관점에서, Fe 계 전기 도금층의 편면당 부착량을 60 g/㎡ 이하로 하는 것이 바람직하다. 당해 부착량은, 바람직하게는 50 g/㎡ 이하로 하고, 보다 바람직하게는 40 g/㎡ 이하로 하고, 더욱 바람직하게는 30 g/㎡ 이하로 한다.

[0130] 또, Fe 계 전기 도금층의 두께는, 이하와 같이 측정한다. 용융 아연 도금 후의 합금화된 고강도 용융 아연 도금 강판으로부터 10 × 15 ㎜ 사이즈의 샘플을 채취하여 수지에 매립하고, 단면 매립 샘플로 한다. 같은 단면의 임의의 3 군데를 주사형 전자 현미경 (Scanning Electron Microscope : SEM) 을 사용하여 가속 전압 15 kV, 및 Fe 계 전기 도금층의 두께에 따라 배율 2000 ~ 10000 배로 관찰하고, 3 시야의 두께의 평균값에 철의 비중을 곱함으로써 Fe 계 전기 도금층의 편면당 부착량으로 환산한다.

[0131] 고강도 어닐링 전 냉연 강판의 표면에 Fe 계 전기 도금 처리를 실시하여, 어닐링 전 Fe 계 전기 도금 처리 강판으로 하는 것이 바람직하다. Fe 계 전기 도금 처리 방법은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, Fe 계 전기 도금욕으로는 황산욕, 염산욕 혹은 양자의 혼합 등을 적용할 수 있다. 또, 냉간 압연 후의 고강도 어닐링 전 냉연 강판에 대하여 예열로 등에 있어서의 산화 처리를 실시하지 않고, Fe 계 전기 도금 처리를 실시할 수도 있다.

[0132] 통전 개시 전의 Fe 계 전기 도금욕 중의 Fe 이온 함유량은, Fe^{2+} 로서 1.0 mol/L 이상으로 하는 것이 바람직하다. Fe 계 전기 도금욕 중의 Fe 이온 함유량이, Fe^{2+} 로서 1.0 mol/L 이상이면, 충분한 Fe 부착량을 얻을 수 있다.

[0133] 이와 같은 강판을 사용함으로써, 본 발명의 효과를 보다 유효하게 얻을 수 있다. 특히, 아연 도금층을 형성하기 전에 프리도금을 실시하여, 용융 아연 도금 후에 합금화 처리한 합금화 용융 아연 도금 강판인 경우에는 한층 더 유효하다.

[0134] [탈탄층]

[0135] 도 4 에 나타내는 바와 같이, 예를 들어, 탈탄층에 Si 내부 산화층을 내포하는 강판의 경우에는, 강판 제조에 있어서 어닐링 시의 노점을 상승시킴으로써, 강판 최표층에 Si 의 내부 산화층을 형성함과 함께, 그에 따라 발생하는 다른 합금 원소의 거동도 제어한다. 이와 같은 강판을 사용함으로써, 본 발명의 효과를 보다 유효하게 얻을 수 있다.

[0136] 상기 「Si 내부 산화층」이란, 구체적으로는 결정 입내 및 또는 결정 입계의 일부에, Si 산화물이 형성된 영역을 가리킨다.

[0137] <용접 부재의 용접 타점>

[0138] 도 5 및 도 6 을 사용하여, 용접 부재에 있어서의 용접 타점에 대해서 설명한다. 도 5 및 도 6 은, 용접 부재의 용접부 주변을 나타내는 상면도 (부재를 상방에서 본 도면) 이다.

[0139] 도 5 및 도 6 에 나타내는 바와 같이, 본 발명의 용접 부재 (10) 는, 용접부의 용접 타점 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리 (H_1) 의 평균값이 3 ㎜ 이상이고, 또한, 복수의 용접 타점이 있는 경우에는, 이웃하는 용접 타점끼리의 타점 중심 사이의 평균 거리 (H_2) 가 6 ㎜ 이상인 것이 바람직하다.

[0140] 여기서, 「용접 타점 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리의 평균값 (H_1)」이란, 도 5 에 나타내는 바와 같이 용접 타점 (8) 의 중심으로부터 가장 가까운 강판 단면을 설정하고, 그 거리를 타점마다 측정함으로써 구한다. 용접 부재 중의 용접 타점수가 5 점 이상인 경우에는, 적절히 선택한 5 타점의 평균값을 「최단 거리의 평균값」으로 하고, 용접 부재 중의 용접 타점수가 5 점 미만인 경우에는, 전체 타점의 평균값을 「최단 거리의 평균값」으로 한다.

[0141] 이 최단 거리의 평균값 (H_1) 이 3 ㎜ 미만인 경우, 강판 단면측에 있어서의 너깃 주위의 판-판 사이의 가압이 불충분해져, 용융 금속이 판-판 사이로부터 강판 단면측으로 비산되기 쉬워진다. 그래서, 용접 시의 스플래시 발생이 현저해지고, 너깃 직경이 불규칙해지기 쉬워짐으로써, 용접부의 강도가 불안정화된다. 이 최단 거리의 평균값의 상한은 규정되지 않는다. 일반적인 형상의 용접 건으로 용접 가능하게 하기 위해서는, 이 최단 거리의 평균값 (H_1) 은 1000 ㎜ 이하로 하는 것이 바람직하고, 30 ㎜ 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.

[0142] 또한, 「이웃하는 용접 타점끼리의 타점 중심 사이의 평균 거리 (H_2)」란, 도 6 에 나타내는 바와 같이, 이웃하는 각 타점 (8) 의 중심 사이의 거리를 각각 측정함으로써 구한다. 이 타점 중심 사이의 평균 거리 (H_2) 가 6 ㎜ 미만인 경우, 용접 시에 기존 용접점에 대한 분류 (分流) 가 발생하여 용접부의 전류 밀도가 저하되기 때문에, 너깃 직경이 축소되고, 용접부의 강도가 저하되기 쉬워진다. 또한, 기존 용접점에 의해 용접부가 구속되고, 인장 잔류 응력이 증가함으로써 LME 균열도 발생하기 쉬워진다. 이 타점 중심 사이의 평균 거리의 상한은 규정되지 않는다. 용접 부재의 강도 및 강성 확보의 관점에서는, 이 타점 중심 사이의 평균 거리 (H_2) 는 100 ㎜ 이하로 하는 것이 바람직하고, 60 ㎜ 이하로 하는 것이 보다 바람직하다. 이 타점 중심 사이의 평균 거리 (H_2) 는, 10.0 ㎜ 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0143] 또, 본 발명의 용접 부재에는, 용접 타점수가 1 점뿐인 경우도 포함한다. 이 경우에는, 상기 서술한 용접 타점의 조건 중, 「용접부의 용접 타점 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리 (H_1) 의 평균값이 3 ㎜ 이상」인 것을 충족하면 된다.

[0144] 다음으로, 본 발명의 용접 부재의 제조 방법의 일 실시형태에 대해서 설명한다.

[0145] 본 발명의 용접 부재는, 2 장 이상의 강판을 중첩하여 판 세트로 하는 준비 공정과, 당해 판 세트를 저항 스폿 용접하는 용접 공정을 갖는 제조 공정을 거쳐 제조된다.

[0146] <준비 공정>

[0147] 이 공정에서는, 적어도 1 장의 상기 내부 산화층을 갖는 강판을 포함하는, 2 장 이상의 강판을 준비하고, 당해 2 장 이상의 강판을 중첩하여 판 세트로 한다. 도 1 에는, 2 장의 강판을 저항 스폿 용접하고 있는 일례를 나타낸다. 도 1 에 나타내는 예의 경우, 2 장의 강판 (1, 2) 을 중첩하여 판 세트로 한다. 또, 강판에 대해서는, 상기 서술되어 있기 때문에 설명은 생략한다. 이어서, 용접 공정이 실시된다.

[0148] <용접 공정>

[0149] 용접 공정은, 후술하는 통전 공정과 전극 유지 공정을 갖는다. 이 용접 공정에서는, 준비 공정에서 준비한 판 세트의 접합을 실시한다. 이 공정에서는, 예를 들어 도 1 에 나타내는 바와 같이, 판 세트의 하측 및 상측에 배치되는 1 쌍의 용접 전극 (4, 5) 사이에 그 판 세트를 끼우고, 1 쌍의 용접 전극 (4, 5) 에서 가압하면서 소정의 용접 조건이 되도록 제어하여 통전을 실시한다. 이에 따라, 강판 (1, 2) 의 강판 이음면 (7) 이 되는 강판 사이에 상기 서술한 본 발명의 용접부 (6) 를 형성함으로써, 강판끼리를 접합할 수 있다 (도 2 를 참조).

[0150] 또, 내부 산화층을 갖는 강판과 내부 산화층을 갖지 않는 강판을 사용하여 판 세트로 하는 경우에는, 내부 산화층을 갖는 면측이 강판 이음면이 되도록 중첩한다. 내부 산화층을 갖는 강판이 아연 도금층을 갖는 아연 도금 강판 (GI 강판, GA 강판, EG 강판) 인 경우에는, 아연 도금층을 갖는 면측이 강판 이음면이 되도록 중첩한다. 또한, 용접 전극과 접하는 측의 강판 표면에도, 내부 산화층 및/또는 아연 도금층을 갖고 있어도 당연히 문제는 없다.

[0151] 본 발명의 저항 스폿 용접 방법에서 사용 가능한 용접 장치로서는, 상하 1 쌍의 용접 전극을 구비하고, 용접 중에 가압력 및 용접 전류를 각각 임의로 제어할 수 있는 용접 장치를 사용할 수 있다. 또한, 직류, 교류 중 어느 용접 전원에도 본 발명을 적용할 수 있다. 교류의 경우에는, 「전류」는 「실효 전류」를 의미한다.

용접 장치의 가압 기구 (에어 실린더나 서보 모터 등), 형식 (정치식 (定置式), 로봇 건 등), 전극 형상 등은 특별히 한정되지 않는다. 전극 선단의 형식으로서는, 예를 들어 JIS C 9304 : 1999 에 기재된 DR 형 (돔 레이디어스형), R 직경 (레이디어스형), D 형 (돔형) 등을 들 수 있다. 또한, 전극의 선단 직경은, 예를 들어 4 ㎜ ~ 16 ㎜ 이다.

[0152] 계속해서, 본 발명의 용접 공정의 용접 조건에 대해서 설명한다.

[0153] 용접 공정에서는, 판 세트를 1 쌍의 용접 전극 사이에 끼우고, 가압하면서 통전하여 접합을 실시할 때에, 적어도 1 개소의 용접 타점에 대해서는, 용접 전극에 의한 가압을 실시하기 직전에, 이하에 나타내는 (a) ~ (e) 의 1 개 또는 2 개 이상의 상태를 충족하고, 또한, 통전은, 가압력 : 2.0 ~ 10.0 kN, 용접 전류 : 4.0 ~ 15.0 kA, 통전 시간 : 0.1 ~ 2.0 S 로 실시하는 통전 공정과, 통전 종료 후의 가압력 유지 시간을 Th (S) 로 했을 때, Th 가 식 (8) 의 관계를 충족하는 전극 유지 공정을 갖는다.

[0154] [통전 공정]

[0155] [가압력, 용접 전류, 통전 시간]

[0156] 가압력이 2.0 kN 미만에서는, 강판 사이의 가압이 불충분해져, 스플래시가 발생하기 쉽기 때문에, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 한편, 가압력이 10.0 kN 초과에서는, 고가압 사양의 특수한 용접 건이 필요하며, 설비 제약이 크다. 그것뿐만 아니라, 용접부의 두께 감소도 현저해지기 때문에, LME 균열이 발생하거나 조인트 강도가 저하되거나 한다. 가압력은, 바람직하게는 3.0 kN 이상으로 하고, 바람직하게는 7.0 kN 이하로 한다.

[0157] 용접 전류가 4.0 kA 미만에서는, 열 입력이 부족하여, 너깃 직경을 확보할 수 없다. 한편, 용접 전류가 15.0 kA 초과에서는, 열 입력이 과대하여 스플래시가 발생하기 쉽기 때문에, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 용접 전류는, 바람직하게는 5.0 kA 이상으로 하고, 바람직하게는 12.0 kA 이하로 한다.

[0158] 통전 시간이 0.1 S 미만에서는, 용접 열 영향부의 합금 원소의 확산이 불충분해져, 용접 열 영향부의 고용 Si 층과 아울러 형성하는 탈탄층의 두께가 모재와 거의 변화하지 않는 경우가 있다. 이 때, 조대한 페라이트 중심의 조직이 용접 열 영향부 표층에 형성된다. 그 결과, 인장 하중이 부여되었을 때에 이 표층 조직이 용이하게 네킹을 야기시키기 때문에, TSS 가 저하되어 버린다. 한편, 통전 시간이 2.0 S 초과에서는, 자동차 조립 공정의 택트 타임이 길어져, 생산성이 저하된다. 통전 시간은, 바람직하게는 0.12 S 이상으로 하고, 바람직하게는 1.5 S 이하로 한다.

[0159] 또, 저항 스폿 용접은, 가압력이나 전류값을 다단계로 하거나, 통전과 무통전을 조합한 특정 패턴으로서 실시해도 된다. 예를 들어, 통전 중의 가압력을 다단계로 하는 경우, 통전 중의 가압력의 최솟값을 2.0 kN 이상으로 하고, 가압력의 최댓값을 10.0 kN 이하로 한다. 통전 중의 전류값을 다단계로 하는 경우, 무통전 기간을 제외한 통전 중의 전류값의 최솟값을 4.0 kA 이상으로 하고, 전류값의 최댓값을 15.0 kA 이하로 한다. 또한, 무통전 기간을 제외한 통전 시간의 총합을, 0.1 S 이상, 2.0 S 이하로 한다.

[0160] [용접 시공 외란]

[0161] 본 발명에서는, 상기 조건에 추가하여, 용접 부재의 제조 시에, 적어도 1 개소의 용접 타점에 대해서는, 용접 전극에 의한 가압을 실시하기 직전에, 이하의 (a) ~ (e) 의 1 개 또는 2 개 이상의 상태를 충족하는 경우, 본 발명의 효과를 보다 유효하게 얻을 수 있다.

[0162] (a) 용접 전극과 중첩한 강판의 경사각이 0.2 도 이상인 상태

[0163] (b) 1 쌍의 용접 전극의 오프셋량이 0.1 ㎜ 이상인 상태

[0164] (c) 어느 용접 전극과 중첩한 강판의 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0165] (d) 중첩한 강판 중, 적어도 1 세트 이상의 강판 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0166] (e) 용접 타점의 중심으로부터 중첩한 강판에 있어서의 강판 단면까지의 최단 거리가 10 ㎜ 이하인 상태

[0167] 이들의 용접 시공 외란은, 모두 전극 해방 시에 있어서의 용접부의 온도 및/또는 인장 응력을, 국소적으로 상승시키기 때문에, LME 균열이 발생하기 쉬운 상태가 된다. 그러나, 본 발명의 용접부의 표층 제어를 실시함으로써, 이들의 용접 시공 외란이 있는 상태이더라도 LME 균열을 억제할 수 있으며, 용접 부재 제조 시의 시공 외란 관리의 허용 오차가 향상된다. 이하, 각 시공 외란의 상세함에 대해서 설명한다.

[0168] (a) 용접 전극과 중첩한 강판의 경사각이 0.2 도 이상인 상태

[0169] 경사각이란, 강판에 대해 전극이 기울어지는 각도, 즉, 「전극 가압력 방향과 강판 판두께 방향이 이루는 각도」를 의미한다. 경사각이 크면, 용접부에 굽힘 응력이 가해져, 국소적으로 큰 압축 소성 변형이 발생함으로써, 전극 해방 후의 인장 응력이 증가하여, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 경사각은 0.2 도 이상인 경우에, 본 발명의 효과를 유효하게 얻을 수 있다. 경사각이 과대한 경우에는 너깃 형성이 불안정해져, 스플래시 발생의 원인이 되기 때문에, 경사각은 10 도 이하로 하는 것이 바람직하다. 경사각은, 더욱 바람직하게는 1 도 이상으로 하고, 더욱 바람직하게는 8 도 이하로 한다.

[0170] (b) 1 쌍의 용접 전극의 오프셋량이 0.1 ㎜ 이상인 상태

[0171] 오프셋이란, 1 쌍의 용접 전극의 중심축이 정렬되지 않은 상태를 의미한다. 상기 서술한 경사각과 마찬가지로, 오프셋이 크면, 용접부에 굽힘 응력이 가해짐으로써, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 오프셋량이 0.1 ㎜ 이상인 경우에, 본 발명의 효과를 유효하게 얻을 수 있다. 오프셋량이 과대한 경우에는 너깃 형성이 불안정해져, 스플래시 발생의 원인이 되기 때문에, 오프셋량은 5 ㎜ 이하로 하는 것이 바람직하다. 오프셋량은, 더욱 바람직하게는 0.2 ㎜ 이상으로 하고, 더욱 바람직하게는 3 ㎜ 이하로 한다.

[0172] (c) 어느 용접 전극과 중첩한 강판의 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0173] 가압 개시 직전에 어느 전극과 강판의 사이에 간극이 있는 상태에서는, 예를 들어 일방의 전극이 가동 (이하, 가동측 전극), 다른 일방의 전극이 고정 (이하, 고정측 전극) 으로 했을 때, 고정측 전극과 강판의 사이에 간극이 있는 상태에서는, 가동측 전극에 의한 가압이 개시된다. 그 결과, 강판에 굽힘 변형이 발생하기 때문에, 용접부에 굽힘 응력이 가해짐으로써, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 이 간극량이 0.5 ㎜ 이상인 경우에, 본 발명의 효과를 유효하게 얻을 수 있다. 이 간극량이 과대한 경우에는 너깃 형성이 불안정해져, 스플래시 발생의 원인이 되기 때문에, 이 간극량은 5 ㎜ 이하로 하는 것이 바람직하다. 간극량은, 더욱 바람직하게는 1 ㎜ 이상으로 하고, 더욱 바람직하게는 3 ㎜ 이하로 한다.

[0174] (d) 중첩한 강판 중, 적어도 1 세트 이상의 강판 사이에 간극이 0.5 ㎜ 이상인 상태

[0175] 상기 서술한 (c) 와 마찬가지로, 가압 개시 직전에 어느 강판 사이에 간극이 있는 상태에서는, 강판이 굽힘 변형이 발생하기 때문에, 용접부에 굽힘 응력이 가해짐으로써, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 이 간극량이 0.5 ㎜ 이상인 경우에, 본 발명의 효과를 유효하게 얻을 수 있다. 이 간극량이 과대한 경우에는 너깃 형성이 불안정해져, 스플래시 발생의 원인이 되기 때문에, 이 간극량은 4 ㎜ 이하로 하는 것이 바람직하다. 간극량은, 더욱 바람직하게는 1 ㎜ 이상으로 하고, 더욱 바람직하게는 3 ㎜ 이하로 한다. 또, 상기 「1 세트 이상의 강판 사이의 간극」이란, 중첩한 2 장 이상의 강판에 있어서, 상하 방향으로 배치된 2 장의 강판을 1 세트로 할 때, 1 세트 이상의 강판 사이에 간극이 있는 것을 의미한다.

[0176] (e) 용접 타점의 중심으로부터 중첩한 강판에 있어서의 강판 단면까지의 최단 거리가 10 ㎜ 이하인 상태

[0177] 용접 타점의 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리가 짧으면, 강판 단면에서는 용접부로부터의 열 전도가 저해되므로, 용접부의 냉각 속도가 저하된다. 그래서, 전극 해방 시의 온도가 증가함으로써, LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 용접 타점의 중심으로부터 강판 단면까지의 최단 거리가 10 ㎜ 이하인 경우에, 본 발명의 효과를 유효하게 얻을 수 있다. 또한, 상기 서술한 바와 같이, 이 최단 거리가 3 ㎜ 미만인 경우, 용접 시의 스플래시 발생이 현저해지고, 너깃 직경이 불규칙해지기 쉬워짐으로써, 용접부의 강도가 불안정화된다. 그래서, 이 최단 거리는 3 ㎜ 이상으로 하는 것이 바람직하다. 이 최단 거리는, 바람직하게는 4 ㎜ 이상으로 하고, 더욱 바람직하게는 8 ㎜ 이하로 한다.

[0178] [전극 유지 공정]

[0179] 전극 유지 공정이란, 통전 완료 후에 일정 가압력으로 용접 전극을 유지함으로써, 블로우홀의 발생 억제를 목적으로 하는 공정이다.

[0180] 전극 유지 공정은, 전극 해방 시의 온도 제어의 관점에서, 통전 종료 후의 가압력 유지 시간을 Th (S) 로 했을 때, 가압력 유지 시간 (Th) 이 이하의 식 (8) 의 관계를 충족한다. 이에 따라, 본 발명의 효과를 유효하게 얻어진다.

[0181] $\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/132<Th<[-\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66]+1.1 \quad \cdots (8)$

[0182] 여기서, 식 (8) 에 있어서의 t 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판의 판두께이고, TS 는 상기 내부 산화층을 갖는

강판의 인장 강도이고, Si 는 상기 내부 산화층을 갖는 강판 중의 평균 Si 함유량이다.

[0183] 또, 보다 적절하게 온도 제어한다는 관점에서, 이 조건 식 ((식) 8) 에 추가하여, 이하의 식 (9) 를 충족하는 것이 보다 바람직하다.

[0184] $0 < Th$ … (9)

[0185] 가압력 유지 시간 (Th) 이 과소하면, 전극 해방 시의 온도가 증가하여 LME 균열이 발생하기 쉬워진다. 한편, 가압력 유지 시간 (Th) 이 과대하면, 용접 1 타점당 택트 타임이 증가함으로써 생산성이 저하된다. 이와 함께, 용접부의 냉각 속도가 증가함으로써 용접부의 조직이 취약해지기 때문에, 조인트 강도가 저하되거나 용접부의 지연 파괴가 발생하기 쉬워지거나 한다. 특히, 강판의 판두께, Si 함유량, 인장 강도가 클수록, LME 나 지연 파괴에 대한 감수성이 커지기 때문에, 가압력 유지 시간 (Th) 의 상하한을 충족하는 범위는 좁아진다.

[0186] 이와 같은 이유에서, 가압력 유지 시간은, 식 (8) 을 만족하는 시간으로 한다. 식 (8) 의 상한은, 바람직하게는 $[-\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/66]+0.9$ 이하로 한다. 식 (8) 의 하한은, 바람직하게는 $\{(t+Si+TS/1000)-1.4\}/110$ 이상으로 한다.

[0187] 또, 상기 이유에서, 추가로 식 (9) 를 만족하는 것이 보다 바람직하다. 식 (9) 의 하한은, 바람직하게는 0.02 이상으로 하고, 보다 바람직하게는 0.1 이상으로 한다. 식 (9) 의 상한은, 바람직하게는 1.0 이하로 하고, 보다 바람직하게는 0.8 이하로 한다.

[0188] 실시예

[0189] 이하, 본 발명의 작용 및 효과에 대해서, 실시예를 사용하여 설명한다. 또, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되지 않는다.

[0190] 표 1 에 나타내는 판 세트를 사용하여, 표 2, 3 에 나타내는 용접 조건에서 용접 조인트 (용접 부재) 를 제작하였다. 또, 판 세트는, 표 1 에 나타내는 강판 (1), 강판 (2), 강판 (3) 의 순서로 상측에서부터 배치하여 중첩하였다. 표 3 의 「가압 직전의 상태」란에 나타내는 부호는, 상기 서술한 용접 시공 외란에 나타낸 (a) ~ (e) 에 대응하는 것으로 하였다. 또한, 용접 장치에는, 용접 건에 장착된 서보 모터 가압식으로 단상 교류 (50 Hz) 의 저항 용접기를 사용하였다. 사용한 1 쌍의 전극 팁은, 선단의 곡률 반경 R 40 ㎜, 선단 직경 6 ㎜ 를 갖는 크롬 구리의 DR 형 전극으로 하였다.

[0191] 또한, 표 1 의 「인장 강도」란에는, 각 강판으로부터 압연 방향으로 JIS 5 호 인장 시험편을 채취하고, JIS Z 2241 에 준거하여 인장 시험을 실시하여 측정한 인장 강도 (MPa) 를 나타낸다.

[0192] 이하에 나타내는 방법으로, 용접 조인트의 TSS 및 LME 균열의 유무를 평가하였다. 또한, 이하의 방법으로, 용접 조인트에 있어서의 두께 (t_{all}, t_{weld}), 탈탄층에 있어서의 단위 면적당 산소량 (Os), Si 를 함유하는 산화물의 밀도 (Ns), 및 평균 Si 농도 (Ss, St) 를 측정하였다.

[0193] [각 두께의 측정]

[0194] 제작한 용접 조인트는, 용접부 중심을 통과하도록 마이크로 커터로 절단하고, 판두께 방향 단면을 관찰하였다. 판 세트의 총 판두께 (t_{all}) 는, 용접 전의 강판의 판두께를 측정하고, 그 총합을 총 판두께로서 구하였다. 또한, 용접부의 최소 두께 (t_{weld}) 는, 100 ㎛ 간격으로 너깃의 판폭 방향의 영역 내에 있어서의 판두께 방향의 크기를 측정하고, 그 최솟값을 「최소 두께」로 하였다 (도 2 를 참조). 얻어진 각 값을 사용하여, 「t_{weld}/t_{all}」의 값을 구하였다.

[0195] [내부 산화층의 단위 면적당 산소량]

[0196] 표 1 에 나타내는 판 세트는, 적어도 1 장의 강판이 강판 표층에 내부 산화층을 갖는다. 여기서는, 강판 편면 (즉 강판 이음면측의 내부 산화층) 에 있어서의 단위 면적당 산소량 (Os) (g/m^2) 을, 다음의 방법으로 구하였다.

[0197] 용접에 사용되는 강판과 동일 강종을 준비하고, 아연 도금을 갖지 않는 강판에 대해서는 강판 표층의 외부 산화물을 제거하기 위해, 5 mass% HCl 중에서 산세 처리를, 아연 도금을 갖는 강판에 대해서는 트리에탄올아민 함유 20 mass% NaOH 수용액 중에서 아연 도금층의 용해 처리를 실시하였다. 그 후, 융해 적외선 흡수법으로

강판 편면의 단위 면적당 산소량으로서 Os 를 계측하였다.

[0198] 또, 표 2 의 「평가 강판」란에 기재된 강판의 Os 를, 대푯값으로 표 2 에 기재하였다.

[0199] [산화물의 밀도 (Ns) 및 평균 Si 농도 (Ss, St)]

[0200] 전자 프로브 마이크로애널라이저 (EPMA) 에 의해, 각 조인트의 Ns, Ss, St 를 측정하였다. 구체적으로는, Ns 에 대해서는, 코로나 본드 단부에 있어서의 강판 이음면 상의 위치를 시점 (도 2 중의 점 A) 으로 하고, 당해 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 당해 시점으로부터 판두께 방향으로 10 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 1 영역 내에 있어서의, Si 를 함유하는 산화물의 개수를, EPMA 에 의한 Si 및 O 의 매핑 화상으로부터 계측하였다. 얻어진 개수를 면적 (100 × 10 = 1000 ($㎛^2$)) 으로 나눔으로써 Ns 를 구하였다. 여기서, Si 및 O 모두 주변에 대해 농화된 영역을, Si 를 함유하는 산화물로 정의하였다.

[0201] Ss 에 대해서는, 상기 시점을 중심으로 하여 강판 이음면과 평행 방향으로 ±50 ㎛ 까지의 범위 및 당해 시점으로부터 판두께 방향으로 5 ㎛ 까지의 범위로 둘러싸인 제 2 영역 내에 있어서의, Si 산화물을 포함하지 않은 임의의 5 점의 Si 농도를 EPMA 의 점 분석으로 구하였다. 그 평균값을 Ss 로 하였다.

[0202] St 에 대해서는, 상기 시점으로부터 판두께 방향으로 판두께의 1/4 의 두께만큼 떨어진 위치를 중심으로 한 100 ㎛ 사방의 제 3 영역 내에 있어서의, Si 산화물을 포함하지 않은 임의의 5 점의 Si 농도를 EPMA 의 점 분석으로 구하고, 그 평균값을 St 로 하였다.

[0203] 얻어진 각 값을 사용하여, 각 용접 조인트에 있어서의 「Ss/St」의 값을 구하였다. 여기서는, 표 2 의 「평가 강판」란에 기재된 강판에서의 각 값을, 대푯값으로 표 2 에 기재하였다.

[0204] [TSS 의 평가]

[0205] 인장 전단 강도 (TSS) 의 평가는, 인장 전단 시험 방법 (JIS Z3136) 에 의거하여 평가하였다. 인장 전단 시험에는, 표 1 에 나타내는 각 강판으로부터, 전단 인장 시험편을 잘라내어, 표 1 에 나타내는 판 세트 및 표 3 에 나타내는 용접 조건에서 저항 스폿 용접을 실시하여 제작한 용접 조인트 (시험편) 를 사용하였다.

[0206] 또한, 얻어진 각 시험편 (본 발명의 용접 방법으로 제작된 용접 조인트) 과 비교하기 위해서, 용접부의 표면 성상을 제어하지 않은 비교용 조인트 (즉, 얻어지는 용접 조인트의 평균 Si 농도의 비가 Ss/St≒1.0 이 되는 용접 조인트) 도 제작하였다. 비교용 조인트도, 동일한 인장 전단 시험 방법에 의거하여 TSS 를 평가하였다.

[0207] TSS 평가 시의 시험편 형상은 JIS Z3136 에 준거하였으나, 3 장 겹친 판 세트 (표 1 의 판 세트 No.H) 에 있어서는, 도 7 에 나타내는 바와 같이, 강판 (2)-강판 (3) 사이에 인장 부하를 부여하는 평가를 실시하였다.

[0208] 또, TSS 를 평가하는 용접 조인트의 제작에 있어서는, 용접 타점은 1 점만으로 하고, 표 2 및 3 에 나타내는 경사각·판 간극 등의 용접 시공 외란은 설정하지 않았다.

[0209] 그리고, 이하의 기준으로 TSS 를 평가하였다.

[0210] <평가 기준>

[0211] A : (본 발명의 용접 방법으로 제작된 용접 조인트의 TSS)/(비교용 조인트의 TSS)≥0.9

[0212] B : 0.9>(본 발명의 용접 방법으로 제작된 용접 조인트의 TSS)/(비교용 조인트의 TSS)≥0.8

[0213] F : 0.8>(본 발명의 용접 방법으로 제작된 용접 조인트의 TSS)/(비교용 조인트의 TSS)

[0214] 여기서는, 평가 결과가 A, B 인 경우에, 합격 (우수한 전단 인장 강도를 갖는다) 으로 평가되었다.

[0215] [LME 균열의 평가]

[0216] 상기 서술한 (a) ~ (e) 의 용접 시공 외란 중, 1 개 또는 2 개 이상을 갖는 상태에서 용접을 실시하고, 얻어진 용접 조인트의 용접부 중앙을 통과하도록 마이크로 커터로 절단한 후, 용접부의 판두께 방향의 단면 관찰을 실시하였다. 그 관찰 결과로부터, 이하의 기준으로 LME 균열의 유무를 평가하였다. 구체적으로는, 표 3 에 나타내는 각 용접 조건에서 각각 10 개의 용접 조인트를 제작하고, 강판 사이의 이음면측에서 단면 관찰을 실시하고, LME 균열을 확인하였다. 또, 표 2 의 「평가 강판」란에 기재된 강판의 용접부에 있어서, 강판 사이의 이음면측에서의 단면 관찰을 실시하고, 평가하였다.

[0217] <평가 기준>

[0218] A : 10 개 전부 균열 없음

[0219] B : 균열이 발생한 용접 조인트가 2 개 이하, 또한 균열 깊이의 최댓값이 100 ㎛ 미만

[0220] F : 균열이 발생한 용접 조인트가 3 개 이상, 또는 균열 깊이의 최댓값이 100 ㎛ 이상

[0221] 여기서는, 평가 결과가 A 및 B 인 경우에, 합격으로 평가되었다.

[0222] 얻어진 각 값 및 평가 결과를, 표 2 및 표 3 에 각각 나타내었다.

표 1

[0223]

판 세트 No.	강판 1						강판 2						강판 3					
	판두께 (mm)	인장 강도 (MPa)	표면 탈탄층	Si 내부 산화층	아연 도금의 종류	Fe 계 프리도금	판두께 (mm)	인장 강도 (MPa)	표면 탈탄층	Si 내부 산화층	아연 도금의 종류	Fe 계 프리도금	판두께 (mm)	인장 강도 (MPa)	표면 탈탄층	Si 내부 산화층	아연 도금의 종류	Fe 계 프리도금
A	1.6	980	없음	**없음**	GA	없음	1.6	980	있음	있음	GA	없음						
B	1.2	1180	있음	있음	GA	있음	1.2	1180	있음	있음	GA	있음						
C	2.0	1470	있음	있음	GA	없음	2.0	1470	있음	있음	GA	없음						
D	1.6	980	있음	있음	GA	없음	1.6	980	있음	있음	GA	없음						
E	1.6	980	있음	있음	GA	없음	1.6	980	있음	있음	GA	없음						
F	1.6	1470	있음	있음	GI	있음	1.6	1180	없음	**있음**	GI	없음						
G	1.0	1470	있음	있음	EG	없음	1.0	1470	있음	있음	EG	없음						
H	0.7	270	있음	있음	GA	없음	1.4	980	있음	있음	GA	없음	1.6	1180	있음	있음	GA	없음
I	1.6	980	있음	있음	GA	없음	1.0	1180	있음	있음	GA	없음						
J	1.6	1180	없음	**있음**	GA	없음	1.6	1180	없음	**있음**	GA	없음						
K	1.4	1180	있음	있음	—	없음	1.6	1470	있음	있음	—	없음						
L	1.2	980	있음	있음	GA	없음	1.6	1470	있음	있음	GA	없음						
M	1.2	980	없음	있음	—	없음	1.4	980	없음	있음	—	없음						
N	0.6	270	없음	**없음**	GA	없음	2.0	1180	있음	있음	—	없음	2.0	1470	있음	있음	GA	없음
O	1.8	980	없음	**없음**	GA	없음	2.0	980	없음	**없음**	—	없음	2.0	1180	있음	있음	GA	있음
P	1.8	980	없음	**없음**	—	없음	1.6	980	있음	있음	GA	없음	1.6	1850	있음	있음	GA	있음

*GA…합금화 용융 아연 도금
*GI…용융 아연 도금
*EG…전기 아연 도금

표 2

조건 No.	판 세트 No.	t_{weld}/t_{all}	용접부의 성상												최단 거리의 평균값 H_1 (mm)	타점 중심 사이의 평균 거리 H_2 (mm)	타점수	비고
			평가 강판	판두께 t (mm)	인장 강도 TS (MPa)	내부 산화량 Os (g/m²)	강판 중의 평균 Si 량 Si (질량%)	Si 를 함유하는 산화물의 밀도 Ns (개/μm²)	평균 Si 농도의 비 Ss/St	t+Si +TS/1000	식 (5) 의 하한값	식 (5) 의 적합 여부	식 (7) 의 하한값	식 (7) 의 상한값	식 (7) 의 적합 여부			
1	A	0.90	강판 2	1.6	980	0.2	1.0	0.10	0.70	3.58	0.04	○	0.03	0.93	○	15.0	—	1	발명예
2	B	0.80	강판 1	1.2	1180	0.4	2.0	0.20	0.10	4.38	0.06	○	0.05	0.95	○	15.0	20.0	3	발명예
3	C	0.95	강판 1	2.0	1470	0.8	1.7	1.00	0.30	5.17	0.07	○	0.06	0.96	○	15.0	10.0	3	발명예
4	D	0.70	강판 2	1.6	980	0.01	1.5	0.002	1.00	4.08	0.05	×	0.04	0.94	×	15.0	—	1	비교예
5	E	0.80	강판 1	1.6	980	0.03	1.2	0.04	0.95	3.78	0.05	×	0.04	0.94	×	15.0	5.0	2	발명예
6	F	0.55	강판 1	1.6	1470	0.7	0.8	1.00	0.02	3.87	0.05	○	0.04	0.94	×	2.7	—	1	발명예
7	G	0.80	강판 2	1.0	1470	0.08	0.7	0.07	0.90	3.17	0.04	○	0.03	0.93	○	8.0	—	1	발명예
8	H	0.85	강판 3	1.6	1180	0.08	1.2	0.80	0.20	3.98	0.05	○	0.04	0.94	○	12.0	—	1	발명예
9	I	0.40	강판 2	1.0	1180	1.1	2.0	30.00	0.03	4.18	0.05	○	0.04	0.94	×	15.0	—	1	비교예
10	J	0.80	강판 2	1.6	1180	—	1.5	—	—	4.28	0.05	-	0.04	0.94	-	15.0	—	1	비교예
11	K	0.85	강판 2	1.6	1470	0.8	1.4	10.00	0.10	4.47	0.06	○	0.05	0.95	○	15.0	—	1	발명예
12	L	0.90	강판 2	1.6	1470	0.4	1.5	15.00	0.08	4.57	0.06	○	0.05	0.95	○	15.0	—	1	발명예
13	M	0.80	강판 2	1.4	980	0.3	1.0	0.30	0.20	3.38	0.04	○	0.03	0.93	○	15.0	—	1	발명예
14	N	0.80	강판 3	2.0	1470	0.1	1.3	2.00	0.10	4.77	0.06	○	0.05	0.95	○	15.0	—	1	발명예
15	O	0.70	강판 3	2.0	1180	0.08	1.0	1.50	0.15	4.18	0.05	○	0.04	0.94	○	15.0	—	1	발명예
16	P	1.60	강판 3	1.6	1850	0.2	1.2	4.00	0.20	4.65	0.06	○	0.05	0.95	○	15.0	—	1	발명예
17	A	0.90	강판 2	1.6	980	0.2	1.0	0.08	0.80	3.58	0.04	○	0.03	0.93	○	30.0	60.0	2	발명예
18	A	0.90	강판 2	1.6	980	0.2	1.0	0.05	0.75	3.58	0.04	○	0.03	0.93	○	15.0	—	1	발명예

*1. $[(t+Si+TS/1000)-1.4]/66+0.01 \leqq Ns$ ···(5)

*2. $[(t+Si+TS/1000)-1.4]/66 < Ss/St < [(t+Si+TS/1000)-1.4]/66+0.9$ ···(7)

[0224]

표 3

조건 No.	판 세트 No.	용접 공정					결과				비고
		통전 공정			전극 유지 공정						
		가압 직전의 상태	가압력 (kN)	용접 전류 (kA)	통전 시간 (s)	전극 유지 시간 Th (s)	식 (8) 의 하한값	식 (8) 의 상한값	식 (8) 의 적합 여부	TSS	LME	
1	A	(a) (c)	경사각: 5 도, 전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.0	5.8	0.40	0.250	0.017	1.067	○	A	A	발명예
2	B	(a)	경사각: 5 도	3.5	7.0	0.25	0.100	0.023	1.055	○	A	A	발명예
3	C	(b)	오프셋량: 1 mm	5.0	7.2	0.34	0.300	0.029	1.043	○	A	A	발명예
4	D	(a) (c)	경사각: 5 도, 전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.5	6.0	0.30	0.018	0.020	1.059	×	A	F	비교예
5	E	(a) (c)	경사각: 5 도, 전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.5	6.0	1.00	0.020	0.018	1.064	○	A	B	발명예
6	F	(e)	강판 단면까지의 최단 거리: 2.7 mm	4.5	6.0	0.10	0.030	0.019	1.063	○	B	B	발명예
7	G	(c) (e)	전극-판 사이의 간극: 2 mm, 강판 단면까지의 최단 거리: 8.0 mm	5.5	8.0	0.32	0.200	0.013	1.073	○	A	A	발명예
8	H	(d)	판 사이의 간극: 2 mm	4.5	7.2	0.42	0.180	0.020	1.061	○	A	A	발명예
9	I	(a) (c)	경사각: 7 도, 전극-판 사이의 간극: 2 mm	5.0	16.0	0.60	0.200	0.021	1.058	○	F	F	비교예
10	J	(a) (c)	경사각: 5 도, 전극-판 사이의 간극: 2 mm	3.5	6.0	0.25	0.020	0.022	1.056	×	–	F	비교예
11	K	(c)	전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.0	7.0	0.16	0.200	0.023	1.053	○	A	A	발명예
12	L	(a)	경사각: 5 도	4.0	7.0	0.12	0.200	0.024	1.052	○	A	A	발명예
13	L	(a)	경사각: 3 도	4.5	8.0	0.14	0.900	0.015	1.070	○	A	A	발명예
14	N	(c)	전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.5	8.0	0.50	0.300	0.026	1.049	○	A	A	발명예
15	O	(a)	경사각: 5 도	5.0	8.0	0.45	0.400	0.021	1.058	○	A	A	발명예
16	P	(c)	전극-판 사이의 간극: 2 mm	4.0	7.0	0.45	0.200	0.025	1.051	○	A	A	발명예
17	A	(a)	경사각: 7 도	6.0	11.5	0.40	0.200	0.017	1.067	○	A	A	발명예
18	A	(a)	경사각: 7 도	5.0	6.0	1.40	0.100	0.017	1.067	○	A	A	발명예

*1. (t+Si+TS/1000)−1.4]/132<Th<[−{(t+Si+TS/1000)−1.4]/66]+1.1 ···(8)

[0225]

[0226] 표 3 에서 알 수 있는 바와 같이, 발명예가 되는 용접 조인트 (용접 부재) 의 평가 결과는, 전부 A 또는 B 였다. 본 발명에 따르면, 용접부의 강도의 확보와 LME 균열의 억제를 양립할 수 있음을 알 수 있었다.

부호의 설명

[0227] 1, 2, 3 : 강판

4, 5 : 용접 전극

6 : 용접부

6a : 너깃

6b : 용접 열 영향부

7 : 강판 이음면

8 : 용접 타점

9a : 제 1 영역

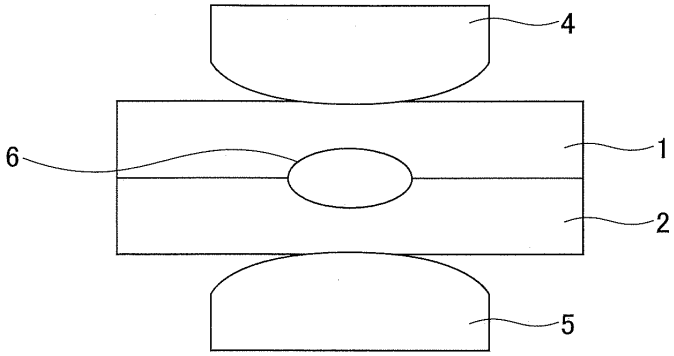
9b : 제 2 영역

9c : 제 3 영역

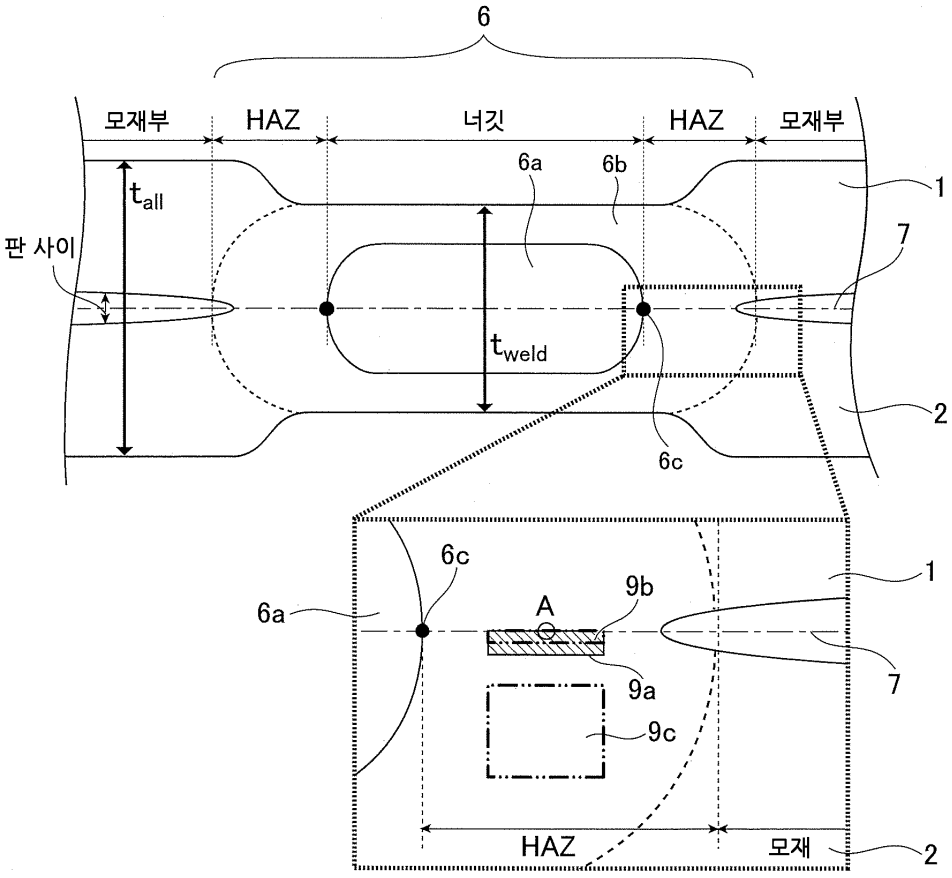
10 : 용접 부재

도면

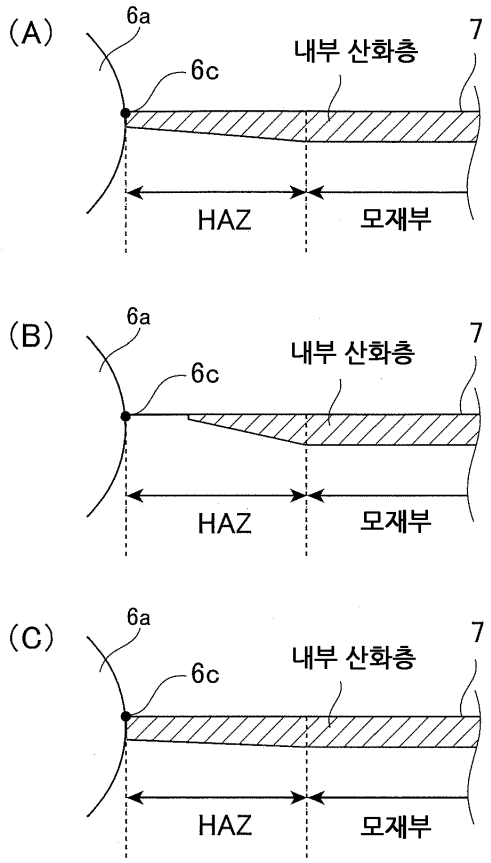
도면1



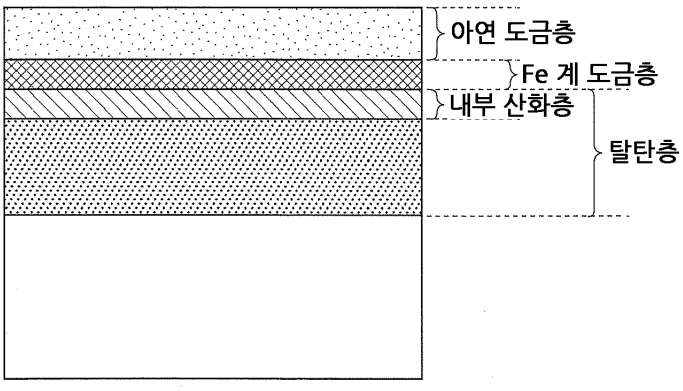
도면2



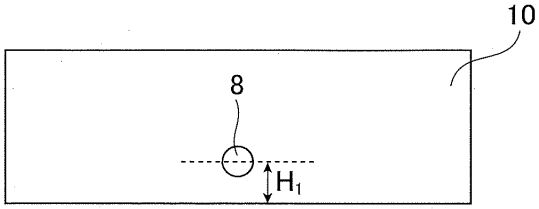
도면3


(A)
6a
6c
내부 산화층
7
HAZ
모재부
(B)
6a
6c
내부 산화층
7
HAZ
모재부
(C)
6a
6c
내부 산화층
7
HAZ
모재부

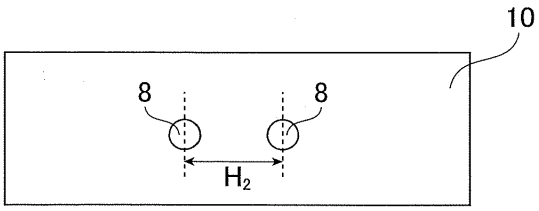
도면4


아연 도금층
Fe 계 도금층
내부 산화층
탈탄층

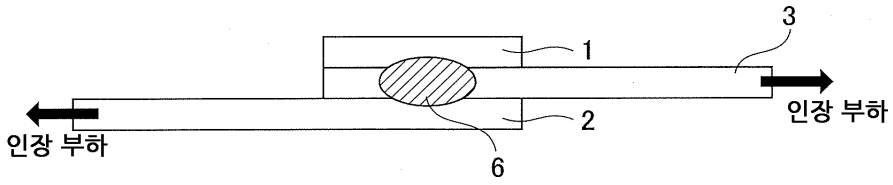
도면5


10
8
H1

도면6



도면7



도면8

