



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0123387
(43) 공개일자 2024년08월13일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>B23K 11/11</i> (2006.01) <i>B23K 11/16</i> (2006.01)
 <i>B23K 11/24</i> (2006.01) <i>B23K 35/30</i> (2006.01)
 <i>C22C 38/14</i> (2006.01) <i>C22C 38/60</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>B23K 11/115</i> (2013.01)
 <i>B23K 11/16</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2024-7025212
 (22) 출원일자(국제) 2023년01월27일
 심사청구일자 2024년07월25일
 (85) 번역문제출일자 2024년07월25일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/002741
 (87) 국제공개번호 WO 2023/153247
 국제공개일자 2023년08월17일</p> <p>(30) 우선권주장
 JP-P-2022-017663 2022년02월08일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
 제이에프이 스틸 가부시카가이샤
 일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고</p> <p>(72) 발명자
 김 진겸
 일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이샤 지테크자이 산부 나이
 가와베 나오
 일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카가이샤 지테크자이 산부 나이
 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
 특허법인코리아나</p> |
|--|--|

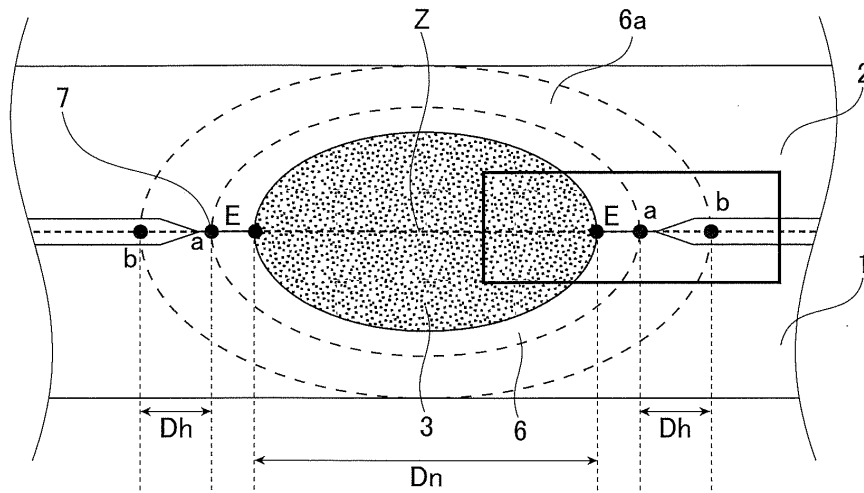
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 저항 스폿 용접 이음매 및 저항 스폿 용접 방법

(57) 요약

저항 스폿 용접 이음매 및 저항 스폿 용접 방법을 제공한다. 본 발명은, 적어도 1 장의 고강도 강판을 포함하는, 2 장 이상의 강판이 용접된 저항 스폿 용접 이음매로서, 고강도 강판은 특정한 성분 조성을 갖고, 용접부는, 너깃 직경과 열 영향부에 있어서의 연화부의 폭이 식 (2)의 관계를 만족하고, 또한, 열 영향부의 최연화부의 경도 X와 고강도 강판의 모재의 경도가 식 (3)의 관계를 만족하고, 또한, 열 영향부 내에 있어서의, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC의 합계의 평균 개수 밀도가 80 개/ μm^2 이상이다. 열 영향부에 있어서의 그 연화부의 폭 (mm) > 너깃 직경 (mm) \times 0.2 ... (2) X (HV) < 고강도 강판의 모재의 경도 (HV) \times 0.95 ... (3)

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B23K 11/24 (2013.01)

B23K 35/3073 (2013.01)

C22C 38/14 (2013.01)

C22C 38/60 (2013.01)

(72) 발명자

다카시마 가츠토시

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이산
부 나이

마츠다 히로시

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 지테크자이산
부 나이

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 1 장의 고강도 강판을 포함하는, 2 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 용접부를 갖는, 저항 스폿 용접 이음매로서,

상기 고강도 강판이, 질량% 로,

C : 0.10 ~ 0.40 % ,

Si : 0.10 ~ 2.50 % ,

Mn : 1.0 ~ 5.0 % ,

P : 0.020 % 이하 ,

S : 0.010 % 미만 ,

Al : 0.10 % 이하 , 및

N : 0.010 % 이하

를 함유하고, 추가로,

Nb : 0.10 % 이하 ,

Ti : 0.10 % 이하 , 및

V : 0.20 % 이하

중에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하고, 또한, Nb, Ti 및 V 가 식 (1) 의 관계를 만족하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,

상기 용접부는, 너깃과 열 영향부를 갖고,

상기 열 영향부에 있어서의 경도가 상기 고강도 강판의 모재의 경도 이하가 되는 영역을 연화부로 했을 때, 너깃 직경과 열 영향부에 있어서의 그 연화부의 폭이 식 (2) 의 관계를 만족하고,

또한, 상기 열 영향부의 최연화부의 경도를 X 로 했을 때, 그 최연화부의 경도 X 와 상기 고강도 강판의 모재의 경도가 식 (3) 의 관계를 만족하고,

또한, 상기 열 영향부 내에 있어서의, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도가 80 개 / μm^2 이상인, 저항 스폿 용접 이음매.

$$([\text{Nb}] + [\text{Ti}] + [\text{V}]/5) \geq 0.01 \% \dots\dots(1)$$

$$\text{열 영향부에 있어서의 연화부의 폭 (mm)} > \text{너깃 직경 (mm)} \times 0.2 \dots\dots(2)$$

$$X \text{ (HV)} < \text{고강도 강판의 모재의 경도 (HV)} \times 0.95 \dots\dots(3)$$

여기서, 식 (1) 중의 원소 기호는, 고강도 강판에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0 으로 한다.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 성분 조성은,

Nb : 0.08 % 이하, Ti : 0.08 % 이하, 및 V : 0.16 % 이하 중에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하고,

또한, 상기 식 (1) 의 하한값이 0.04 % 인, 저항 스폿 용접 이음매.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 고강도 강판은, 상기 성분 조성에 더하여, 질량% 로,

Mo : 0.500 % 이하,

Cr : 0.300 % 이하,

Ca : 0.0200 % 이하,

Sb : 0.200 % 이하,

B : 0.0100 % 이하,

Cu : 1.00 % 이하, 및

Ni : 0.50 % 이하

중에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하는, 저항 스폿 용접 이음매.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고강도 강판은, 금속 도금층을 갖는, 저항 스폿 용접 이음매.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고강도 강판의 인장 강도가 980 MPa 이상인, 저항 스폿 용접 이음매.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 기재된 저항 스폿 용접 이음매를 제조하는 저항 스폿 용접 방법으로서,

적어도 1 장의 상기 고강도 강판을 포함하는 2 장 이상의 강판을 중첩하여 판 세트로 하고, 그 판 세트를 1 쌍의 용접 전극으로 협지하고, 가압하면서 통전하여 상기 강판을 접합할 때,

본통전 공정과 후통전 공정으로 이루어지는 상기 통전과, 그 본통전 공정과 그 후통전 공정 사이에 냉각 공정을 갖고,

상기 후통전 공정에서는, 가압력 F2 를 2.0 ~ 7.0 kN 으로 하고, 또한, 상기 본통전 공정의 전류값 I₁ 에 대해 식 (4) 의 관계를 만족하는 전류값 I₂ 로, 식 (5) 로 나타내는 통전 시간 t₂ 동안, 통전을 실시하는, 저항 스폿 용접 방법.

$$0.6 \times I_1 < I_2 < 1.0 \times I_1 \dots\dots(4)$$

$$2100 - 8200 \times ([Nb] + [Ti] + [V]/5) < t_2 \dots\dots(5)$$

여기서, 각 식에 있어서,

I₁ : 본통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),

I₂ : 후통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),

t₂ : 후통전 공정에 있어서의 통전 시간 (ms) 으로 한다.

또, 식 (5) 중의 원소 기호는, 고강도 강판에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0 으로 한다. 또, 고강도 강판이 2 종류 이상인 경우에는, 식 (5) 중의 ([Nb] +

[Ti] + [V]/5) 의 값은, 각 고강도 강관을 사용하여 산출한 값의 평균값을 사용한다.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 냉각 공정에서는, 500 ms 이상 2000 ms 미만 동안, 무통전 상태를 유지하는, 저항 스폿 용접 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 중첩한 강관으로 이루어지는 저항 스폿 용접 이음매 및 저항 스폿 용접 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 자동차의 분야에서는, 차체의 경량화에 의한 연비 향상 및 충돌시의 차체 안전성의 향상을 위해, 고강도 강관을 사용하고 있다.

[0003] 그러나, 강관의 인장 강도의 고강도화에 수반하여, 용접에서 기인하는 잔류 응력이나, 용접시 및 사용 환경하에서 용접부에 침입하는 수소의 존재에 의한, 용접부의 내지연 파괴 특성의 저하에 대한 염려가 생겨 왔다.

[0004] 이와 같은 용접부의 지연 파괴를 방지하는 방법으로서, 특허문헌 1 ~ 3 에 기재된 기술을 들 수 있다.

[0005] 특허문헌 1 에는, 본통전에 의해 너깃을 형성한 후, 후통전을 부여하여, 수소가 확산되기 쉬운 고온 환경을 유지함으로써, 용접시에 침입한 수소를 외부로 배출하여, 지연 파괴를 방지하는 기술이 개시되어 있다.

[0006] 또, 특허문헌 2 에는, 본통전에 의해 너깃의 형성 후, 또한 가열을 목적으로 한 후통전을 실시하는 2 단 통전에 의해, 강관 압접부로부터 너깃 단부 사이를 연화시켜, 내지연 파괴 특성을 향상시키는 기술이 개시되어 있다.

[0007] 또한, 특허문헌 3 에는, 본통전에 의해 너깃의 형성 후, 후통전을 부여함과 함께, 용접 전극의 상승과 하강을 교대로 연속적으로 반복하도록 제어함으로써 인장 잔류 응력을 완화시켜, 내지연 파괴 특성을 향상시키는 기술이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2019-72764호

(특허문헌 0002) 국제공개 제2014/171495호

(특허문헌 0003) 일본 공개특허공보 2018-144098호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 그러나, 특허문헌 1 의 기술은, 용접시에 용접부에 침입하는 수소량을 저감시키는 것이고, 사용 환경에 있어서 외부로부터 침입하는 수소를 고려하고 있지 않다. 그 때문에, 용접 이음매의 제조 후의 사용 환경에 있어서의 지연 파괴가 발생하기 쉽다.

[0010] 또, 특허문헌 2, 3 의 기술은, 너깃 형성 후의 후통전에 의한 가열을 사용하여 강관 압접부의 강화, 잔류 응력의 완화를 도모하는 기술이고, 지연 파괴의 주된 요인인 수소의 영향을 고려하고 있지 않다. 그 때문에, 수소의 집적에 의한 지연 파괴의 발생의 우려가 있다.

[0011] 또한, 이들 기술은, 지연 파괴의 발생 요인인 수소의 트랩 사이트로서 작용하는 Nb, Ti, V 로 이루어지는 탄화물의 영향에 대해서는 고려하고 있지 않다. 이들 원소로 이루어지는 탄화물과 지연 파괴 특성의 관계를 조사함으로써, 보다 우수한 저항 스폿 용접 이음매를 제조할 수 있을 가능성이 있다.

[0012] 본 발명은 이러한 사정을 감안하여 이루어진 것으로서, 용접 후의 사용 환경하에서 침입하는 수소량을 저감시켜, 사용 환경하에서의 용접 이음매의 지연 파괴를 억제하는 것이 가능한, 저항 스폿 용접 이음매 및 저항 스폿 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명자들은, 적어도 1 장의 고강도 강판을 포함하는, 2 장 이상의 강판을 저항 스폿 용접하여 얻어지는 저항 스폿 용접 이음매의 지연 파괴를 억제하기 위해서, 지연 파괴의 요인인 사용 환경하에서 침입하는 수소의 거동에 대해 조사하여, 이하와 같은 지건을 얻었다.

[0014] 먼저, 저항 스폿 용접부는, 너깃의 주변에, 너깃 단부로부터의 거리에 따라 상이한 상과 조직을 갖는 열 영향부를 갖는다. 그 때문에, 외부 환경으로부터 저항 스폿 용접부 내로 수소가 침입하는 경우, 저항 스폿 용접부의 주된 파괴 기점인 너깃 단부에 침입하기 위해서 열 영향부를 통과할 필요가 있다. 열 영향부를 통과한 수소는, 용접에서 기인하는 잔류 응력이 집중되는 너깃 단부에 집적되고, 이로써 지연 파괴가 발생한다. 그 때문에, 열 영향부를 통과하여 너깃에 침입하는 수소량을 저감시키고, 또한, 너깃 단부에 집적되는 수소량을 저감시키는 것이, 지연 파괴의 억제에 유효하다.

[0015] 그래서, 본 발명자들은, 외부 환경으로부터 너깃 단부에 침입하는 수소량을 저감시킬 수 있는 저항 스폿 용접 방법 및 그 방법으로 제조되는 용접 이음매에 대해 검토하였다.

[0016] 먼저, 저항 스폿 용접부의 열 영향부에 고밀도의 탄화물을 석출시킴으로써 외부로부터 침입하는 수소를 사전에 트랩하여, 저항 스폿 용접 이음매의 내지연 파괴 특성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 더하여, 용접에 사용하는 고강도 강판의 성분 조성에 Nb, Ti, V 를 함유시킴으로써, 열 영향부에 NbC, TiC 및 VC 를 석출시키고, 이로써 저항 스폿 용접 이음매의 강도가 저하되는 일 없이, 보다 짧은 후통전만으로 내지연 파괴 특성을 향상시키는 것을 알 수 있었다.

[0017] 또, 저항 스폿 용접부의 열 영향부와 고강도 강판의 모재의 경도의 관계를, 열 영향부의 최연화부의 경도 X (HV) < 고강도 강판의 모재의 경도 (HV) × 0.95 로 함으로써, 용접에 의한 잔류 응력을 완화시켜, 지연 파괴를 방지하는 것을 알 수 있었다.

[0018] 상기 서술한 특성을 갖는 저항 스폿 용접 이음매는, 너깃을 형성하는 본통전 후에 특정한 용접 조건에서 후통전을 부여하고, 적절히 열 영향부의 템퍼링을 실시함으로써, 얻어지는 것을 알 수 있었다.

[0019] 본 발명은, 이상의 지건에 기초하여 이루어진 것으로, 그 요지는 이하와 같다.

[0020] [1] 적어도 1 장의 고강도 강판을 포함하는, 2 장 이상의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 용접부를 갖는, 저항 스폿 용접 이음매로서,

[0021] 상기 고강도 강판이, 질량% 로,

[0022] C : 0.10 ~ 0.40 %,

[0023] Si : 0.10 ~ 2.50 %,

[0024] Mn : 1.0 ~ 5.0 %,

[0025] P : 0.020 % 이하,

[0026] S : 0.010 % 미만,

[0027] Al : 0.10 % 이하, 및

[0028] N : 0.010 % 이하

[0029] 를 함유하고, 추가로,

[0030] Nb : 0.10 % 이하,

[0031] Ti : 0.10 % 이하, 및

[0032] V : 0.20 % 이하

[0033] 중에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상을 함유하고, 또한, Nb, Ti 및 V 가 식 (1) 의 관계를 만족하고, 잔부가 Fe

및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖고,

- [0034] 상기 용접부는, 너깃과 열 영향부를 갖고,
- [0035] 상기 열 영향부에 있어서의 경도가 상기 고강도 강관의 모재의 경도 이하가 되는 영역을 연화부로 했을 때, 너깃 직경과 열 영향부에 있어서의 그 연화부의 폭이 식 (2)의 관계를 만족하고,
- [0036] 또한, 상기 열 영향부의 최연화부의 경도를 X로 했을 때, 그 최연화부의 경도 X와 상기 고강도 강관의 모재의 경도가 식 (3)의 관계를 만족하고,
- [0037] 또한, 상기 열 영향부 내에 있어서의, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC의 합계의 평균 개수 밀도가 80 개 / μm^2 이상인, 저항 스폿 용접 이음매.
- [0038] $([\text{Nb}] + [\text{Ti}] + [\text{V}]/5) \geq 0.01 \%$ (1)
- [0039] 열 영향부에 있어서의 연화부의 폭 (mm) > 너깃 직경 (mm) \times 0.2(2)
- [0040] $X \text{ (HV)} < \text{고강도 강관의 모재의 경도 (HV)} \times 0.95$ (3)
- [0041] 여기서, 식 (1) 중의 원소 기호는, 고강도 강관에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%)을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0으로 한다.
- [0042] [2] 상기 성분 조성은, Nb : 0.08 % 이하, Ti : 0.08 % 이하, 및 V : 0.16 % 이하 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하고, 또한, 상기 식 (1)의 하한값이 0.04 % 인, [1]에 기재된 저항 스폿 용접 이음매.
- [0043] [3] 상기 고강도 강관은, 상기 성분 조성에 더하여, 질량%로,
- [0044] Mo : 0.500 % 이하,
- [0045] Cr : 0.300 % 이하,
- [0046] Ca : 0.0200 % 이하,
- [0047] Sb : 0.200 % 이하,
- [0048] B : 0.0100 % 이하,
- [0049] Cu : 1.00 % 이하, 및
- [0050] Ni : 0.50 % 이하
- [0051] 중에서 선택된 1종 또는 2종 이상을 함유하는, [1] 또는 [2]에 기재된 저항 스폿 용접 이음매.
- [0052] [4] 상기 고강도 강관은 금속 도금층을 갖는, [1] ~ [3] 중 어느 하나에 기재된 저항 스폿 용접 이음매.
- [0053] [5] 상기 고강도 강관의 인장 강도가 980 MPa 이상인, [1] ~ [4] 중 어느 하나에 기재된 저항 스폿 용접 이음매.
- [0054] [6] [1] ~ [5] 중 어느 하나에 기재된 저항 스폿 용접 이음매를 제조하는 저항 스폿 용접 방법으로서,
- [0055] 적어도 1장의 상기 고강도 강관을 포함하는 2장 이상의 강관을 중첩하여 판 세트로 하고, 그 판 세트를 1쌍의 용접 전극으로 협지하고, 가압하면서 통전하여 상기 강관을 접합할 때,
- [0056] 본통전 공정과 후통전 공정으로 이루어지는 상기 통전과, 그 본통전 공정과 그 후통전 공정 사이에 냉각 공정을 갖고,
- [0057] 상기 후통전 공정에서는, 가압력 F2를 2.0 ~ 7.0 kN으로 하고, 또한, 상기 본통전 공정의 전류값 I₁에 대해 식 (4)의 관계를 만족하는 전류값 I₂로, 식 (5)로 나타내는 통전 시간 t₂ 동안, 통전을 실시하는, 저항 스폿 용접 방법.
- [0058] $0.6 \times I_1 < I_2 < 1.0 \times I_1$ (4)
- [0059] $2100 - 8200 \times ([\text{Nb}] + [\text{Ti}] + [\text{V}]/5) < t_2$ (5)
- [0060] 여기서, 각 식에 있어서,

[0061] I_1 : 본통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),

[0062] I_2 : 후통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),

[0063] t_2 : 후통전 공정에 있어서의 통전 시간 (ms) 으로 한다.

[0064] 또, 식 (5) 중의 원소 기호는, 고강도 강판에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0 으로 한다. 또, 고강도 강판이 2 종류 이상인 경우에는, 식 (5) 중의 $([Nb] + [Ti] + [V]/5)$ 의 값은, 각 고강도 강판을 사용하여 산출한 값의 평균값을 사용한다.

[0065] [7] 상기 냉각 공정에서는, 500 ms 이상 2000 ms 미만 동안, 무통전 상태를 유지하는, [6] 에 기재된 저항 스폿 용접 방법.

발명의 효과

[0066] 본 발명에 의하면, 적어도 1 장의 고강도 강판을 포함하는 2 장 이상의 강판이 저항 스폿 용접에 의해 용접된 저항 스폿 용접 이음매에 있어서의, 사용 환경하에서 침입하는 수소량을 저감시켜, 그 용접 이음매의 지연 파괴를 억제할 수 있기 때문에, 산업상 각별한 효과를 발휘한다.

도면의 간단한 설명

[0067] 도 1 은, 본 발명의 저항 스폿 용접 이음매의 저항 스폿 용접부 및 그 주변을 모식적으로 나타내는 단면도이다.

도 2 는, 도 1 에 나타내는 저항 스폿 용접부 및 그 주변에 있어서의, 비커스 경도와 너깃 단부로부터의 거리의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 3 은, 본 발명의 저항 스폿 용접 방법의 일례를 모식적으로 나타내는 단면도이다.

도 4 는, 본 발명의 저항 스폿 용접 방법의 통전 패턴 및 가압 패턴의 일례를 나타내는 그래프이다.

도 5(A) 및 도 5(B) 는, 본 발명의 실시예에 있어서의 저항 스폿 용접의 시험편을 나타내는 도면이고, 도 5(A) 가 평면도이고, 도 5(B) 가 측면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0068] 이하, 각 도면을 참조하여, 본 발명에 대해 설명한다. 또한, 본 발명은 이 실시형태에 한정되지 않는다.

[0069] [저항 스폿 용접 이음매]

[0070] 먼저, 도 1 을 참조하여, 본 발명의 저항 스폿 용접 이음매를 설명한다. 도 1 에는, 일례로서, 본 발명의 저항 스폿 용접 이음매 (이하, 「용접 이음매」 라고 칭하는 경우도 있다) 에 있어서의, 저항 스폿 용접부 (이하, 「용접부」 라고 칭하는 경우도 있다) 및 그 주변의 관두께 방향 단면도를 나타낸다.

[0071] 본 발명은, 중첩한 2 장 이상의 강판이 저항 스폿 용접된 용접부를 갖는 용접 이음매이다. 중첩하는 강판에는, 후술하는 인장 강도가 980 MPa 이상인 강판 (즉, 고강도 강판) 을 적어도 1 장 이상 포함하는 것으로 한다. 중첩하는 강판의 장수의 상한은 특별히 규정하지 않지만, 4 장 이하로 하는 것이 바람직하다. 또한, 고강도 강판은, 후술하는 바와 같이, 특정한 성분 조성을 함유하고, 또한, Nb, Ti 및 V 가 식 (1) 의 관계를 만족하는 것으로 한다.

[0072] 도 1 에 나타내는 예는, 2 장의 강판을 중첩한 판 세트가 저항 스폿 용접된 용접 이음매이고, 하측에 배치되는 강판 (1) 및/또는 상측에 배치되는 강판 (2) 에 고강도 강판을 적용한다. 또한, 후술하는 바와 같이 고강도 강판이 금속 도금층을 갖는 경우도 있지만, 도 1 에서는 금속 도금층의 도시를 생략하고 있다. 강판 (1, 2) 의 강판 접합면 (이하, 「접침면」 이라고 칭한다) (7) 에는, 이하에 설명하는 용접부가 형성된다.

[0073] [저항 스폿 용접부]

[0074] 본 발명의 용접 이음매의 용접부에 대해 설명한다.

[0075] 도 1 에 나타내는 바와 같이, 용접 이음매의 용접부는, 너깃 (3) 과 그 외주에 형성되는 열 영향부 (HAZ) (6) 를 갖는다. 열 영향부 (6) 는, 너깃 (3) 의 단부로부터의 거리에 따라 상이한 상과 조직을 갖는다. 도 1 에 나타내는 바와 같이, 열 영향부 (6) 내에는 연화부 (6a) 를 갖는다.

- [0076] 본 발명에서는, 용접부는, 너짓 직경 (Dn) (즉, 너짓 (3) 의 직경) (mm) 과 열 영향부 (6) 에 있어서의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) (mm) 이 식 (2) 의 관계를 만족하고, 또한, 열 영향부 (6) 의 최연화부의 경도를 X (HV) 로 했을 때, 그 최연화부의 경도 X 와 고강도 강관의 모재의 경도 (HV) 가 식 (3) 의 관계를 만족하고, 또한, 열 영향부 (6) 내에 있어서의, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도가 $80 \text{ 개}/\mu\text{m}^2$ 이상이 된다.
- [0077] 열 영향부에 있어서의 연화부의 폭 (mm) > 너짓 직경 (mm) \times 0.2 ……(2)
- [0078] X (HV) < 고강도 강관의 모재의 경도 (HV) \times 0.95 ……(3)
- [0079] 또한, 예를 들어 중첩하는 모든 강관에 본 발명의 고강도 강관을 적용하는 경우에는, 모든 고강도 강관에 있어서 강관마다 상기의 식 (2) 및 식 (3) 의 관계를 만족하고, 또한, 모든 고강도 강관에 있어서의 상기의 NbC, TiC 및 VC 의 평균 개수 밀도의 평균값이 상기 수치 범위가 되는 것이 필요하다. 이로써, 본 발명의 효과를 얻을 수 있다.
- [0080] [너짓 직경 (Dn) 과 열 영향부 (6) 에 있어서의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 의 관계]
- [0081] 도 1 에 나타내는 바와 같이, 「너짓 직경 (Dn) (mm)」 이란, 너짓 (3) 의 외측 가장자리와 겹침면 (7) 의 교점을 너짓 단부 (E) 로 할 때, 2 개의 너짓 단부 (E - E) 사이를 연결하는 직선 (즉, 도 1 에 나타내는 직선 Z) 의 길이를 가리킨다. 「열 영향부 (6)」란, 용접부의 단면을 예칭하여 판별할 수 있는 너짓 (3) 의 주변 조직이고, 용융열의 영향을 받아 퀴칭 및 템퍼링된, 모재의 조직과는 상이한 조직의 영역을 가리킨다. 「열 영향부 (6) 에 있어서의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) (mm)」 이란, 직선 Z 의 연장선과 연화부 (6a) 의 경계 (즉, 연화부 (6a) 의 내주 가장자리 및 외주 가장자리) 가 교차하는 2 점 (즉, 도 1 에 나타내는 점 a, 점 b) 을 연결하는 직선의 길이를 가리킨다.
- [0082] 이 너짓 직경 (Dn) 과 열 영향부 (6) 에 있어서의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) (이하, 「연화부 (6a) 의 폭 (Dh)」이라고 칭하는 경우도 있다.) 이 식 (2) 의 관계를 만족하는 것으로 한다. 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 이, 식 (2) 를 만족하도록 형성됨으로써, 외부 환경으로부터 침입하는 수소를 보다 많이 트랩할 수 있다. 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) (mm) 이, (너짓 직경 (Dn) \times 0.2) (mm) 이하인 경우, 너짓 (3) 으로 침입하는 수소를 트랩할 수 있는 트랩 사이트의 양이 충분하지 않아, 지연 파괴의 원인인 너짓 (3) 으로 진입하는 수소량을 충분히 저감시킬 수 없다. 따라서, 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 은, (너짓 직경 (Dn) \times 0.2) (mm) 초과로 한다. 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 은, 바람직하게는 (너짓 직경 (Dn) \times 0.22) (mm) 초과로 하고, 보다 바람직하게는 (너짓 직경 (Dn) \times 0.25) (mm) 초과로 하고, 더욱 바람직하게는 (너짓 직경 (Dn) \times 0.3) (mm) 초과로 한다.
- [0083] 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 의 상한은, 특별히 규정하지 않는다. 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 의 확보를 위해서 후통전 공정의 통전 시간이 길어지는 경우, 과도한 템퍼링에 의해 열 영향부 (6) 의 강도 저하가 염려되기 때문에, 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 은 (너짓 직경 (Dn) \times 0.5) (mm) 이하가 바람직하다. 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 은, 보다 바람직하게는 (너짓 직경 (Dn) \times 0.48) (mm) 이하로 한다.
- [0084] 또한, 식 (2) 에 있어서의 「열 영향부 (6) 에 있어서의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh)」 이란, 도 1 에 나타내는 바와 같이, 너짓 (3) 의 양단에 형성되는 연화부 (6a) 중 일방의 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 을 가리킨다.
- [0085] [열 영향부 (6) 의 최연화부의 경도 X 와 고강도 강관의 모재의 경도의 관계]
- [0086] 도 2 에는, 도 1 에 나타내는 사각 프레임으로 둘러싼 용접부 및 그 주변의 영역에 있어서의, 너짓 단부 (E) 로부터의 거리와 비커스 경도의 관계를 나타낸다. 도 2 의 그래프는, 가로축에 너짓 단부 (E) 를 기준으로 한 「너짓 단부로부터의 거리 (mm)」 를 나타내고, 세로축에 각 측정 위치에 있어서의 「비커스 경도 (HV)」 를 나타낸다. 가로축의 마이너스의 숫자는, 너짓 단부 (E) 로부터 너짓 (3) 의 중심을 향하는 거리를 나타내고, 플러스의 숫자는 너짓 단부 (E) 로부터 모재 강관을 향하는 거리를 나타낸다. 비커스 경도는, JISZ2244 (2020년) 에 준거하여 측정한다.
- [0087] 구체적으로는, 후술하는 실시예에 기재된 바와 같이, 비커스 경도는, 압자 하중 300 gf 로 15 초 유지하는 조건으로 하고, 또한, 고강도 강관의 겹침면 (7) 으로부터 0.2 mm 상방의 위치에서 또한 그 겹침면 (7) 에 평행한 직선 상을 0.2 mm 간격으로 계측한다. 측정 영역은, 너짓 (3) 의 중심으로부터 고강도 강관의 모재 방향으로 7.0 mm 까지의 범위로 한다. 또한, 계측은, 본 발명의 고강도 강관측의 용융부 및 모재를 대상으로 한다.

- [0088] 도 2 에 나타내는 바와 같이, 「열 영향부 (6) 의 연화부 (6a)」 란, 열 영향부 (6) 내를 JISZ2244 (2020년) 에 준거하여 측정 한 비커스 경도 중, 고강도 강관의 모재의 평균 비커스 경도 이하가 되는 영역을 가리키는 것으로 하고, 「최연화부의 경도 X」 란 그 영역 내의 비커스 경도의 최소값을 가리키는 것으로 한다. 즉, 최연화부의 경도 X 란, 열 영향부 (6) 의 전체 영역에 있어서 가장 경도가 낮은 영역이다. 또, 「고강도 강관의 모재의 평균 비커스 경도」 란, 고강도 강관의 모재의 경도를 상기 조건에서 측정하고, 5 회의 측정값의 평균값으로 한다.
- [0089] 본 발명에서는, 열 영향부 (6) 의 최연화부의 경도 X 와 고강도 강관의 모재의 경도가 식 (3) 의 관계를 만족하고, 또한, 상기 서술한 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) 이 식 (2) 를 만족하는 것이 중요하다.
- [0090] 이 열 영향부 (6) 의 최연화부의 경도 X 가 식 (3) 의 관계를 만족하는 경우, 열 영향부 (6) 의 수소 트랩에 의한 너깃 (3) 의 내지연 파괴 특성의 개선 효과와, 후술하는 후통전 공정에 의한 이음매 강도의 향상을 기대할 수 있다. 열 영향부 (6) 의 최연화부의 경도 X (HV) 가 (모재의 경도 $\times 0.95$) (HV) 이상인 경우, 과가열에 의해 열 영향부 (6) 에 충분한 템퍼링 효과를 부여할 수 없다. 따라서, 상기 최연화부의 경도 X 는, (모재의 경도 $\times 0.95$) (HV) 미만의 경도로 한다. 상기 최연화부의 경도 X 는, 바람직하게는 (모재의 경도 $\times 0.90$) (HV) 미만으로 하고, 보다 바람직하게는 (모재의 경도 $\times 0.85$) (HV) 미만으로 한다.
- [0091] 또한, 경도의 확보를 위해서 과도한 가열을 부여하는 경우, 열 영향부의 강도를 담보할 수 없기 때문에, 상기 최연화부의 경도 X 의 하한은 (모재의 경도 $\times 0.40$) (HV) 로 한다. 상기 최연화부의 경도 X 는, 바람직하게는 (모재의 경도 $\times 0.45$) (HV) 이상으로 한다.
- [0092] 상기 최연화부의 경도 X 는, 너깃 (3) 의 경도와와의 관계에서는, X (HV) < (너깃 (3) 의 평균 경도 $\times 0.9$) (HV) 인 것이 바람직하다. 이 관계를 만족하지 않는 경우, 연화부 (6a) 가 지나치게 단단하기 때문에 너깃의 허용 범위 내에서의 잔류 응력이어도 열 영향부가 지연 파괴될 우려가 있기 때문이다. 상기 서술한 「너깃 (3) 의 평균 경도」 란, 너깃 (3) 의 경도를 상기 조건에서 측정하고, 5 회의 측정값의 평균값으로 한다.
- [0093] [열 영향부의 탄화물]
- [0094] 본 발명에서는, 상기 서술한 바와 같이, 용접부의 열 영향부 (6) 에 고밀도의 탄화물을 석출하는 것도 중요하다. 구체적으로는, 열 영향부 (6) 내에 있어서의, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도가 80 개/ μm^2 이상으로 한다.
- [0095] 본 발명의 고강도 강관에 함유된 Nb, Ti, V 는, 후술하는 용접 조건에서의 저항 스폿 용접에 의해 열 영향부 (6) 에 NbC, TiC 및 VC 의 탄화물을 생성한다. 이로써, 열 영향부 (6) 에 있어서 외부 환경으로부터 침입하는 수소를 트랩하고, 너깃 단부에서 집적되는 수소량을 저감시켜, 지연 파괴를 억제한다.
- [0096] 형성된 NbC, TiC 및 VC 의 입경을 각각 100 nm 초과로 하는 경우, 너깃 (3) 으로 침입하는 수소를 충분히 트랩할 수 있는 표면적의 탄화물량을 석출시키기 위해서는, 과도한 템퍼링이 필요해진다. 그 결과, 이음매 강도가 저하된다. 이와 같은 이유로부터, NbC, TiC 및 VC 의 입경은 100 nm 이하로 한다.
- [0097] 또, 형성된 상기 탄화물, 즉 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도는, 판 단면 1 μm^2 당 80 개 미만인 경우, 수소의 트랩 사이트로서 작용하는 탄화물 계면의 표면적이 충분하지 않아, 지연 파괴의 원인인 너깃 (3) 으로 침입하는 수소량을 충분히 저감시킬 수 없다.
- [0098] 따라서, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도는, 80 개/ μm^2 이상으로 한다. 바람직하게는, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도는 90 개/ μm^2 이상으로 한다.
- [0099] 상기 탄화물의 평균 개수 밀도의 상한은, 특별히 규정하지 않는다. 과가열 후의 이음매 강도 확보의 관점에서, 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도는 150 개/ μm^2 이하로 하는 것이 바람직하고, 140 개/ μm^2 이하로 하는 것이 보다 바람직하다.
- [0100] 또한, 본 발명에서는, 입경이 100 nm 이하인 상기 탄화물 대신에, 입경이 70 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 합계의 평균 개수 밀도를, 60 개/ μm^2 이상으로 하는 것이 바람직하고, 80 개/ μm^2 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다. 또, 당해 평균 개수 밀도를, 130 개/ μm^2 이하로 하는 것이 바람직하고, 120 개/ μm^2 이하로 하는 것이 보

다 바람직하고, 100 개/ μm^2 이하로 하는 것이 더욱 바람직하다. 이 입경의 탄화물을 상기 범위 내에서 가짐으로써, 단위 체적당 탄화물의 표면적이 커지기 때문에, 보다 많은 확산성 수소를 트랩할 수 있다. 이것은, 후술하는 후통전 공정에 의해 제어할 수 있다.

[0101] 본 발명에 있어서, 상기한 용접부 및 모재의 비커스 경도, 상기한 NbC, TiC 및 VC의 입경 및 평균 개수 밀도는, 후술하는 실시예에 기재된 방법으로, 측정할 수 있다.

[0102] [고강도 강판]

[0103] 본 발명의 용접 이음매에 있어서의, 고강도 강판의 성분 조성의 한정 이유에 대해 설명한다. 본 발명에 있어서 「고강도 강판」이란, 인장 강도 (TS)가 980 MPa 이상인 강판을 가리킨다. 또한, 이하의 설명에 있어서, 성분 조성의 「%」 표시는, 특별히 언급하지 않는 한 「질량%」를 의미한다.

[0104] C : 0.10 ~ 0.40 %

[0105] C는, 강판의 TS를 980 MPa 이상으로 하기 위한 조직 제어와, 너깃의 경도 제어를 위해서 사용된다. C의 함유량이 0.10 % 미만에서는, TS를 980 MPa 이상으로 하는 것이 곤란해진다. 한편, C의 함유량이 0.40 %를 초과하면, 너깃 내의 경도가 증가하기 때문에, 너깃 내 파괴의 억제가 곤란하다. 따라서, C의 함유량은, 0.10 ~ 0.40 %로 한다. C의 함유량은, 바람직하게는 0.13 % 이상으로 한다. 또, C의 함유량은, 바람직하게는 0.25 % 이하로 한다.

[0106] Si : 0.10 ~ 2.50 %

[0107] Si는, 강판의 조직 제어와, 개재물의 사이즈 및 양을 제어하기 위해서 사용된다. Si의 함유량이 0.10 % 미만에서는, TS를 980 MPa 이상으로 하는 것이 곤란해진다. 한편, Si의 함유량이 2.50 %를 초과하면, Si의 탄화물 생성 억제 효과에 의해, 열 영향부에 본 발명에서 목표로 하는 탄화물량이 생성되지 않고, 그 결과, 용접부의 지연 파괴 특성을 향상시키는 것이 곤란해진다. 따라서, Si의 함유량은, 0.10 ~ 2.50 %로 한다. Si의 함유량은, 바람직하게는 0.20 % 이상으로 한다. 또, Si의 함유량은, 바람직하게는 1.70 % 이하로 한다.

[0108] Mn : 1.0 ~ 5.0 %

[0109] Mn은, 강판 및 너깃의 조직 제어와, 개재물의 사이즈 및 양을 제어하기 위해서 사용된다. Mn의 함유량이 1.0 % 미만에서는, TS를 980 MPa 이상으로 하는 것이 곤란해진다. 한편, Mn의 함유량이 5.0 %를 초과하면, 너깃 내의 조대(粗大)한 개재물량이 증가하여, 너깃의 취성 파괴 경향이 강해진다. 따라서, Mn의 함유량은, 1.0 ~ 5.0 %로 한다. Mn의 함유량은, 바람직하게는 1.2 % 이상으로 한다. 또, Mn의 함유량은, 바람직하게는 2.8 % 이하로 한다.

[0110] P : 0.020 % 이하

[0111] P는, 너깃 내에 고용 상태로 존재하고, 너깃의 취성 파괴 경향을 강하게 한다. 그 때문에, P의 함유량이 0.020 %를 초과하면, 너깃의 경도나 너깃의 조직을 제어해도, 너깃 내 파괴가 발생할 가능성이 있다. 따라서, P의 함유량은, 0.020 % 이하로 한다. P의 함유량은, 바람직하게는 0.015 % 이하, 보다 바람직하게는 0.010 % 이하로 한다. 또한, P의 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않는다. 단, 과도한 저감은 비용의 증가를 초래하므로, P의 함유량은 0.0005 % 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0112] S : 0.010 % 미만

[0113] S는, 너깃 내에서 고용 상태 혹은 황화물로서 존재하고, 너깃의 취성 파괴 경향을 강화한다. S의 함유량이 0.010 % 이상에서는, 너깃의 경도나 너깃의 조직을 제어해도, 너깃 내 파괴가 발생할 가능성이 있다. 그 때문에, S의 함유량은 0.010 % 미만으로 한다. 또, S의 함유량은, 바람직하게는 0.005 % 이하로 한다. 또한, S의 함유량의 하한은 특별히 한정되지 않는다. 단, 과도한 저감은 비용의 증가를 초래하므로, S의 함유량은 0.0001 % 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0114] Al : 0.10 % 이하

[0115] Al은, 용접부와 외기의 반응에 의해 형성되는 산화물계 개재물의 사이즈와 양을 제어하는 원소이다. Al의 함유량이 0.10 %를 초과하면, 너깃 내의 조대한 개재물량이 증가하여, 너깃의 취성 파괴 경향이 강해진다. 따라서, Al의 함유량은, 0.10 % 이하로 한다. Al의 함유량의 하한은 규정하지 않지만, 생산 기술상의

계약으로부터, Al 의 함유량은 0.005 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또, Al 의 함유량은, 바람직하게는 0.05 % 이하로 한다.

- [0116] N : 0.010 % 이하
- [0117] N 은, 강 중에서 질화물로서 존재한다. N 의 함유량이 0.010 % 를 초과하면, 강관의 변형능이 저하되기 때문에, 용접 중이나 용접 후에, 너트 내의 취성 파괴를 억제하는 것이 곤란해진다. 그 때문에, N 의 함유량은 0.010 % 이하로 한다. 또한, N 의 함유량의 하한은 특별히 규정하지 않지만, 생산 기술상의 제약으로부터, N 의 함유량은 0.0005 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또, N 의 함유량은, 바람직하게는 0.005 % 이하로 한다.
- [0118] Nb : 0.10 % 이하, Ti : 0.10 % 이하, V : 0.20 % 이하 중에서 선택된 1 종 또는 2 종 이상
- [0119] Nb, Ti, V 는, 강관 및 열 영향부의 탄화물의 사이즈와 양의 제어를 위해서 사용된다. Nb, Ti, V 의 적어도 1 종을 함유하는 경우, 그들 함유량은 Nb : 0.10 % 이하, Ti : 0.10 % 이하, V : 0.20 % 이하이고, 또한, 식 (1) 의 범위 내 (즉, 식 (1) 의 좌변값 $([Nb] + [Ti] + [V]/5)$ 의 값) 이 0.01 % 이상) 로 한다. Nb : 0.10 % 초과, Ti : 0.10 % 초과, V : 0.20 % 초과인 경우에는, 열 영향부 내에 조대한 석출물이 많이 형성되어, 이음매 강도가 저하된다. Nb, Ti, V 가 식 (1) 의 범위를 벗어나는 경우 (즉, 식 (1) 의 좌변값이 0.01 % 미만인 경우), 본 발명에서 목표로 하는 열 영향부의 수소 트랩 효과를 달성하는 것이 곤란해진다.
- [0120] Nb, Ti, V 의 적어도 1 종을 함유하는 경우, Nb, Ti, V 의 함유량은, 바람직하게는, Nb : 0.08 % 이하, Ti : 0.08 % 이하, V : 0.16 % 이하이고, 또한, 식 (1) 의 좌변값 (즉, 식 (1) 의 하한) 이 0.04 % 이상으로 한다.
- [0121] 또, Nb, Ti, V 의 적어도 1 종을 함유하는 경우, Nb, Ti, V 의 함유량은, 바람직하게는, Nb : 0.001 % 이상, Ti : 0.001 % 이상, V : 0.005 % 이상으로 하고, 식 (1) 의 좌변값은 0.01 % 이상으로 한다.
- [0122] 식 (1) 의 좌변값은, 0.55 % 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0123] 또한, Nb, Ti, V 의 각 성분은, 1 종 또는 2 종 이상을 함유할 수 있으므로, 함유되지 않는 원소는 0 % 여도 된다.
- [0124] $([Nb] + [Ti] + [V]/5) \geq 0.01 \% \dots\dots(1)$
- [0125] 여기서, 식 (1) 중의 원소 기호는, 모재에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0 으로 한다.
- [0126] 본 발명의 고강도 강관은, 상기 각 원소를 함유하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물이다.
- [0127] 상기 성분 조성이 고강도 강관의 기본 성분 조성이다. 본 발명에서는, 상기 성분 조성에 더하여, 필요에 따라, Mo, Cr, Ca, Sb, B, Cu, Ni 중에서 선택되는 1 종 또는 2 종 이상을 함유할 수 있다. 이하의, Mo, Cr, Ca, Sb, B, Cu, Ni 의 각 성분은, 필요에 따라 함유할 수 있으므로, 이들 성분은 0 % 여도 된다.
- [0128] Mo : 0.500 % 이하
- [0129] Mo 는, 퀴칭성을 향상시키는 원소이고, 경질상을 생성시키기 위해서 유효한 원소이다. Mo 의 함유량이 0.500 % 를 초과하면, 경질상의 면적률이 증가하여, 성형시의 치수 정밀도 및 연성이 저하된다. 따라서, Mo 의 함유량은 0.500 % 이하로 한다. 또한, Mo 의 함유량의 하한은 0.000 % 여도 되지만, 퀴칭성을 크게 하고, TS 를 보다 바람직한 범위 내로 하는 관점에서, Mo 의 함유량은 0.010 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. Mo 의 함유량은, 바람직하게는 0.300 % 이하, 보다 바람직하게는 0.100 % 이하로 한다. 또, Mo 의 함유량은, 보다 바람직하게는 0.030 % 이상으로 한다.
- [0130] Cr : 0.300 % 이하
- [0131] Cr 은, 퀴칭성을 향상시키는 원소이고, 경질상을 생성시키기 위해서 유효한 원소이다. Cr 의 함유량이 0.300 % 를 초과하면, 경질상의 면적률이 증가하여, 성형시의 치수 정밀도 및 연성이 저하된다. 따라서, Cr 의 함유량은 0.300 % 이하로 한다. 또한, Cr 의 함유량의 하한은 0.000 % 여도 되지만, 퀴칭성을 크게 하고, TS 를 보다 바람직한 범위 내로 하는 관점에서, Cr 의 함유량은 0.010 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또, Cr 의 함유량은, 바람직하게는 0.250 % 이하, 보다 바람직하게는 0.100 % 이하로 한다.

- [0132] Ca : 0.0200 % 이하
- [0133] Ca 는, 강 중에서 개재물로서 존재한다. Ca 의 함유량이 0.0200 % 를 초과하면, 강관 중에 확산성 수소를 함유하는 경우, 상기 개재물이 급힘 시험시에 균열의 기점이 되기 때문에, 급힘성이 저해된다. 그 때문에, Ca 의 함유량은 0.0200 % 이하로 한다. 또한, Ca 의 함유량의 하한은 0.0000 % 여도 되지만, 생산 기술상의 제약으로부터, Ca 의 함유량은 0.0001 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또, Ca 의 함유량은, 바람직하게는 0.0020 % 이상으로 한다.
- [0134] Sb : 0.200 % 이하
- [0135] Sb 는, 어닐링 중의 강관 표면의 산화를 억제하고, 표층 연화 두께를 제어하기 위해서 유효한 원소이다. 또, Sb 는, 어닐링 중에 강관 표층의 질화를 억제함으로써, 강관 표층의 대응 입계 빈도를 저감시킬 수 있는 원소이다. Sb 의 함유량이 0.200 % 를 초과하면, 표층 연화부를 형성할 수 없기 때문에, 급힘성 및 내 LME 특성이 저해된다. 그 때문에, Sb 의 함유량은 0.200 % 이하로 한다. 또한, Sb 의 함유량의 하한은 0.000 % 여도 되지만, 대응 입계 빈도를 저감시키고, 보다 양호한 내 LME 특성을 얻기 위해서는, Sb 의 함유량은 0.001 % 이상으로 하는 것이 바람직하다. Sb 의 함유량은, 보다 바람직하게는 0.002 % 이상, 더욱 바람직하게는 0.005 % 이상으로 한다. 또, Sb 의 함유량은, 바람직하게는 0.050 % 이하, 보다 바람직하게는 0.020 % 이하로 한다.
- [0136] B : 0.0100 % 이하
- [0137] B 는, 소재 강관과 너깃 내의 조직 제어에 사용된다.
- [0138] B 는, 오스테나이트 입계에 편석됨으로써, 퀴칭성을 향상시킬 수 있는 원소이고, B 를 강 중에 첨가함으로써, 어닐링 냉각시의 페라이트의 생성 및 입 성장을 억제하는 것이 가능하다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, B 의 함유량을 0.0001 % 이상으로 한다. 한편, B 의 함유량이 0.0100 % 를 초과하면, 열간 압연 중에 강관 내부에 균열이 생겨, 강관의 극한 변형능을 저하시키므로, 타발 후의 총 보이드수 밀도가 증가하여, 신장 플랜 지성이 저해된다. 또, 급힘성도 저해된다. 따라서, B 를 첨가하는 경우, 그 함유량은 0.0001 % 이상으로 하고, 0.0100 % 이하로 한다. B 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는 0.0002 % 이상으로 한다. 또, B 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는 0.0050 % 이하로 한다.
- [0139] Cu : 1.00 % 이하
- [0140] Cu 는, 퀴칭성을 크게 하는 원소이고, 경질상의 면적률을 보다 바람직한 범위 내로 하여, TS 를 보다 바람직한 범위 내로 하고, 또한 성형시의 치수 정밀도를 보다 향상시키기 위해서 유효한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Cu 의 함유량을 0.01 % 이상으로 한다. 한편, Cu 의 함유량이 1.00 % 를 초과하면, 경질상의 면적률이 증가하여, 성형시의 치수 정밀도 및 연성이 저해된다. 또, 조대한 석출물이나 개재물이 증가하여, 강관 중에 확산성 수소를 함유하는 경우, 급힘 시험시에 균열의 기점이 되기 때문에, 급힘성이 저해된다. 따라서, Cu 를 첨가하는 경우, 그 함유량은 0.01 % 이상 1.00 % 이하로 한다. Cu 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는, 0.02 % 이상으로 한다. 또, Cu 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는 0.20 % 이하로 한다.
- [0141] Ni : 0.50 % 이하
- [0142] Ni 는, 퀴칭성을 크게 하는 원소이고, 경질상의 면적률을 보다 바람직한 범위 내로 하여, TS 를 보다 바람직한 범위 내로 하고, 또한 성형시의 치수 정밀도를 보다 향상시키기 위해서 유효한 원소이다. 이러한 효과를 얻기 위해서는, Ni 의 함유량을 0.01 % 이상으로 한다. 한편, Ni 의 함유량이 0.50 % 를 초과하면, 경질상의 면적률이 증가하여, 성형시의 치수 정밀도 및 연성이 저해된다. 또, 조대한 석출물이나 개재물이 증가하여, 강관 중에 확산성 수소를 함유하는 경우, 급힘 시험시에 균열의 기점이 되기 때문에, 급힘성이 저해된다. 따라서, Ni 를 첨가하는 경우, 그 함유량은 0.01 % 이상 0.50 % 이하로 한다. Ni 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는, 0.02 % 이상으로 한다. 또, Ni 를 첨가하는 경우, 그 함유량은, 바람직하게는 0.20 % 이하로 한다.
- [0143] 또한, 본 발명에서는, 상기 고강도 강관은, 필요에 따라, 모재인 강관의 표면에 금속 도금층을 가질 수 있다. 금속 도금층은, 아연 도금층, 합금화 아연 도금층인 것이 바람직하다. 특히 자동차 용도용으로서, 용융 아연 도금 처리를 실시하여, 모재인 강관 표면에 아연 도금층을 갖는 용융 아연 도금 강관 (GI) 으로 해도 된다. 또, 그 용융 아연 도금 처리를 실시한 후, 추가로 합금화 처리를 실시하여, 모재인 강관 표면에 합금

화 아연 도금층을 갖는 합금화 용융 아연 도금 강관 (GA) 으로 해도 된다.

- [0144] [저항 스폿 용접 방법]
- [0145] 다음으로, 상기 서술한 용접부를 갖는 용접 이음매를 제조하기 위한 저항 스폿 용접 방법의 일 실시형태에 대해 설명한다.
- [0146] 본 발명의 용접 이음매는, 적어도 1 장의 고강도 강관을 포함하는, 2 장 이상의 강관을 중첩한 판 세트를, 1 쌍의 용접 전극으로 협지하고, 가압하면서 통전하여 강관을 접합하는 저항 스폿 용접에 의해 제조할 수 있다.
- [0147] 먼저, 2 장 이상의 강관을 중첩한다. 예를 들어, 도 3 에 있어서는, 2 장의 강관을 사용하여, 하측에 배치되는 강관 (1) (이하, 「하강관」 이라고 칭한다) 과 상측에 배치되는 강관 (2) (이하, 「상강관」 이라고 칭한다) 을 중첩하여 판 세트로 한다. 또한, 도시하지는 않지만, 3 장 이상의 강관을 중첩하여 판 세트로 하는 경우에는, 가장 하측에 배치되는 강관이 「하강관」 이 되고, 가장 상측에 배치되는 강관이 「상강관」 이 되고, 그들 사이에 배치되는 강관이 「중강관」 이 된다.
- [0148] 이어서, 1 쌍의 용접 전극, 즉 판 세트의 하측에 배치되는 용접 전극 (4) (이하, 「하전극」 이라고 칭하는 경우도 있다) 및 판 세트의 상측에 배치되는 용접 전극 (5) (이하, 「상전극」 이라고 칭하는 경우도 있다) 으로, 중첩한 강관 (즉, 하강관 (1) 과 상강관 (2)) 을 협지하고, 가압하면서 통전한다.
- [0149] 또한, 본 발명의 저항 스폿 용접 방법을 실시하는 장치는, 1 쌍의 용접 전극 (4, 5) 에 의해 가압하고, 또한 그 가압력을 제어하는 구성이면 되고, 이 구성은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 에어 실린더나 서보 모터 등의 종래부터 알려져 있는 기기를 사용할 수 있다. 또, 통전시에 전류를 공급하고, 또한 전류값을 제어하는 구성도 특별히 한정되지 않고, 종래부터 알려져 있는 기기를 사용할 수 있다. 또, 직류, 교류 중 어느 것에도 본 발명을 적용할 수 있다. 교류의 경우에는, 「전류」 는 「실효 전류」 를 의미한다.
- [0150] 또, 각 용접 전극 (4, 5) 의 선단의 형식도 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, JIS C 9304 : 1999 에 기재되는 DR 형 (돔 레이디어스형), R 형 (레이디어스형), D 형 (돔형) 등을 들 수 있다. 각 용접 전극의 선단 직경은, 예를 들어 4 mm ~ 16 mm 이다. 곡률 반경은 예를 들어 50 mm ~ 200 mm 이고, 선단이 평탄한 Flat 형 전극으로 할 수도 있다.
- [0151] 또한, 각 용접 전극이 항상 수행되어 있는 상태에서 저항 스폿 용접을 실시한다.
- [0152] 이와 같이, 중첩한 강관 (1, 2) (즉, 판 세트) 을 1 쌍의 용접 전극 (4, 5) 으로 협지한 상태에서 가압하면서 통전하여, 저항 발열에 의해 필요한 사이즈의 너깃 (3) 을 형성함과 함께, 중첩한 강관끼리를 접합함으로써, 용접 이음매가 얻어진다.
- [0153] 본 발명은, 판 세트의 상측 및 하측에 배치되는 각 용접 전극 (4, 5) 과 접하는 판 세트의 양면, 혹은 편면 중 어느 일방이, 금속 도금층을 갖는 표면 처리 강관인 판 세트에 있어서의 저항 스폿 용접 방법에도 적용할 수 있다. 여기서, 상기의 「각 용접 전극과 접하는 판 세트의 양면」 이란, 상전극 및 하전극과 접하는, 복수의 강관으로 구성되는 판 세트 중 가장 외측에 배치되는 2 장의 강관을 가리킨다. 또, 상기의 「각 용접 전극과 접하는 판 세트의 편면 중 어느 일방」 이란, 상전극 혹은 하전극과 접하는, 복수의 강관으로 구성되는 판 세트 중 가장 외측에 배치되는 2 장의 강관 중 어느 일방의 강관을 가리킨다. 또한, 금속 도금층의 용접은, 표면 처리 강관의 모재의 용접보다 낮은 것을 대상으로 하는 것이 바람직하다.
- [0154] 상기 서술한 바와 같이, 표면 처리 강관이란, 전기 아연 도금, 용융 아연 도금 (그 용융 아연 도금에는, 합금화 용융 아연 도금을 포함한다) 으로 대표되는 아연 도금이나, 아연 외에 알루미늄이나 마그네슘 등의 원소를 포함한 아연 합금 도금 등의 금속 도금층을, 모재 (즉, 하지 강관) 의 표면 상에 갖는 강관을 말한다. 여기서는, 이와 같은 표면 처리 강관을 「아연계 도금 강관」 이라고 칭한다. 따라서, 본 발명에서는, 상기의 판 세트를 구성하는 복수의 강관 중, 적어도 1 장을 아연계 도금 강관으로 한다.
- [0155] 또한, 본 발명에 있어서, 저항 스폿 용접하는 강관의 판두께는, 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 0.5 mm 이상 3.0 mm 이하의 범위 내인 것이 바람직하다. 판두께가 이 범위 내인 강관은, 자동차용 부재로서 바람직하게 사용할 수 있다.
- [0156] 저항 스폿 용접하는 2 장 이상의 강관은, 동종 및 동형상의 강관이어도 되고, 이종이나 이형상의 강관이어도 된다. 또, 금속 도금층을 갖는 표면 처리 강관과 금속 도금층을 갖지 않는 강관을 중첩해도 된다.
- [0157] 이어서, 본 발명의 저항 스폿 용접 방법에 있어서의 통전 패턴에 대해 설명한다.

- [0158] 본 발명에서는, 상기 서술한 가압 및 통전을, 이하에 설명하는 특정 패턴으로 실시한다. 상기 통전은, 본통전 공정과 후통전 공정으로 이루어진다. 또, 본통전 공정과 후통전 공정 사이에, 무통전의 냉각 공정을 갖는다.
- [0159] <본통전 공정>
- [0160] 본통전 공정은, 겹침면 (7) 이 통전에 의해 용융되고, 응고되면 너깃 (3) (도 1 을 참조) 이 되는 너깃부를 형성하는 공정이다. 본통전 공정의 통전 조건 및 가압 조건은, 그 너깃부를 형성하는 것이 가능한 조건을 적절히 선택할 수 있다.
- [0161] 본 발명에서는, 예를 들어, 본통전 공정의 전류값 I_1 은 1.0 kA 이상 15.0 kA 이하이고, 가압력 F1 은 2.0 kN 이상 7.0 kN 이하이고, 주통전 공정의 통전 시간 t_1 은 100 ms 이상 1000 ms 이하인 것이 바람직하다.
- [0162] 상기한 「너깃 (3)」 이란, 저항 용접에 있어서 용접부에 발생하는 용융 응고된 부분이다.
- [0163] 또한, 본통전 공정은, 전류값이 본통전 공정 내에서 변화하는 다단 통전, 가압력이 본통전 공정 내에서 변화하는 다단 가압 공정이어도 된다.
- [0164] <냉각 공정>
- [0165] 상기 서술한 본통전 공정 후, 냉각 공정을 실시한다. 냉각 공정은, 본통전 공정에 의한 너깃 형성 직후, 후통전 공정에 의한 과가열에 의해 스플래시가 발생하는 것을 방지하기 위해, 전극을 접촉하여 용접부의 온도를 저하시키는 것을 목적으로 하여 실시한다. 냉각 공정에서는, 소정의 냉각 시간 t_c 동안, 무통전 상태를 유지한다. 냉각 시간 t_c 는, 500 ms 이상 2000 ms 이하인 것이 바람직하다. 냉각 시간 t_c 는, 550 ms 이상이 보다 바람직하고, 또 1800 ms 이하가 보다 바람직하다.
- [0166] <후통전 공정>
- [0167] 상기 서술한 본통전 공정과 냉각 공정 후, 후통전 공정을 실시한다. 후통전 공정은, 공급하는 전류값을 변경함으로써, 너깃의 직경을 확대하지 않고 열 영향부를 가열하는 것을 목적으로 하여 실시한다.
- [0168] 구체적으로는, 후통전 공정에서는, 가압력 F2 를 2.0 ~ 7.0 kN 으로 하고, 또한, 본통전 공정의 전류값 I_1 에 대해 식 (4) 의 관계를 만족하는 전류값 I_2 로, 식 (5) 로 나타내는 통전 시간 t_2 동안, 통전을 실시한다.
- [0169] $0.6 \times I_1 < I_2 < 1.0 \times I_1 \dots\dots(4)$
- [0170] $2100 - 8200 \times ([Nb] + [Ti] + [V]/5) < t_2 \dots\dots(5)$
- [0171] 여기서, 각 식에 있어서,
- [0172] I_1 : 본통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),
- [0173] I_2 : 후통전 공정에 있어서의 전류값 (kA),
- [0174] t_2 : 후통전 공정에 있어서의 통전 시간 (ms) 으로 한다.
- [0175] 또, 식 (5) 중의 원소 기호는, 강판의 모재에 있어서의 각 원소의 함유량 (질량%) 을 나타내고, 그 원소가 함유되어 있지 않은 경우에는 0 으로 한다.
- [0176] 먼저, 후통전 공정의 전류값 I_2 에 대해 설명한다.
- [0177] 후통전 공정은, 식 (4) 를 만족하는 전류값 I_2 (kA) 로 통전한다. 본 발명에서는, 본통전 공정 종료 후, 냉각 공정을 거쳐, 후통전 공정에 있어서의 전류값 I_2 (kA) 로 통전하고, 너깃 내를 재가열한다. 요컨대, 본통전 공정에 있어서 형성된 너깃을, 후통전 공정에 있어서 용접부를 재가열함으로써, 열 영향부를 템퍼링하고, 후통전 공정에서의 통전 동안에 탄화물을 보다 많이 석출시키는 상태를 유지한다.
- [0178] 후통전 공정은 응고된 너깃 주변의 열 영향부를 재가열하는 공정이다. 전류값 I_2 (kA) 가 $(0.6 \times I_1)$ (kA) 이하인 경우에는, 용접부가 충분히 재가열되지 않아, 외부 환경으로부터 침입하는 수소를 트랩하기에 충분한 탄

화물이 석출되지 않는다. 그 때문에, 전류값 I_2 (kA) 는, $(0.6 \times I_1)$ (kA) 초과로 한다. 전류값 I_2 (kA) 는, 바람직하게는 $(0.7 \times I_1)$ (kA) 초과로 한다.

[0179] 전류값 I_2 (kA) 가 지나치게 높은 경우에는, 열 영향부가 과가열되어, 충분한 탄화물을 얻을 수 없을 우려가 있다. 또한, 높은 전류값 I_2 인 경우에는, 용융에 의한 스플래시 등의 결함이 발생하기 쉬운 우려가 있다.

이와 같은 이유로부터, 전류값 I_2 (kA) 는, 본통전 공정의 전류값 I_1 에 대해, $(1.0 \times I_1)$ (kA) 미만으로 한다. 전류값 I_2 (kA) 는, 바람직하게는 $(0.9 \times I_1)$ (kA) 미만으로 하는 것이 보다 바람직하다. 또한, 후통전 공정의 통전 패턴은, 단단 통전이어서도 상기 서술과 동일한 효과가 얻어진다.

[0180] 계속해서, 후통전 공정의 통전 시간 t_2 에 대해 설명한다.

[0181] 상기 서술한 전류값 I_2 (kA) 의 조건에서 통전하는 경우, 식 (5) 로 나타내는 통전 시간 t_2 (ms) 를 만족함으로써, 본 발명에서 목표로 하는 용접부의 템퍼링에 의한 탄화물이 형성된다. 이로써, 형성된 탄화물을 상기 서술한 평균 개수 밀도의 범위 내로 제어할 수 있다. 후통전 공정의 통전 시간 t_2 가 식 (5) 의 좌변값 (즉, $(2100 - 8200 \times ([Nb] + [Ti] + [V])/5)$) 로 산출되는 값) 이하인 경우, 열 영향부가 충분히 가열되지 않아, 탄화물이 충분히 석출되지 않기 때문에, 본 발명에서 목표로 하는 내지연 파괴 특성을 얻을 수 없다. 따라서, 후통전 공정의 통전 시간 t_2 는 식 (5) 의 좌변값을 초과하는 시간으로 한다. 통전 시간 t_2 (ms) 는, 바람직하게는 400 ms 이상으로 한다.

[0182] 또한, 상이한 강종의 강판 (상이한 상기 고강도 강판끼리도 포함한다) 을 2 장 이상 중첩하여 판 세트로 하는 경우에는, 각 강판의 Nb, Ti 및 V 량을 사용하여 식 (5) 의 좌변값을 산출하고, 이들의 평균값을 구한다. 이 평균값과 통전 시간 t_2 를 비교한다.

[0183] 본 발명에서는, 후통전 공정의 통전 시간 t_2 (ms) 의 상한은 규정하지 않는다. 그러나, 이 통전 시간 t_2 가 지나치게 긴 경우에는, 과도한 템퍼링에 의해, 용접 이음매 강도를 담보할 수 없다. 이와 같은 이유로부터, 후통전 공정의 통전 시간 t_2 는, 바람직하게는 2000 ms 이하로 하고, 보다 바람직하게는 800 ms 미만으로 하고, 더욱 바람직하게는 600 ms 이하로 한다.

[0184] 계속해서, 후통전 공정의 가압력 F2 에 대해 설명한다.

[0185] 상기 서술한 조건에 더하여, 후통전 공정의 가압력 F2 는, 2.0 kN 이상 7.0 kN 이하로 한다. 가압력 F2 가 2.0 kN 미만에서는 가압력이 충분하지 않아, 너깃이 충분한 크기로 형성되지 않는다. 한편, 가압력 F2 가 7.0 kN 초과에서는 용접시에 스플래시 발생의 우려가 있다.

[0186] 상기 서술한 후통전 공정 후, 홀드 공정을 실시한다. 홀드 공정은, 후통전 공정에 의한 과가열 후, 용접부가 안정적으로 냉각되어, 균열을 방지하는 것을 목적으로 하여 실시한다. 홀드 시간 t_h 는, 10 ms 이상 100 ms 이하인 것이 바람직하다.

[0187] 여기서, 도 4 에 본 발명의 통전 패턴의 일례를 나타낸다. 도 4 에 있어서, 세로축은 전류값 및 가압력이고, 가로축은 시간이다. 전류값 및 가압력은 세로축의 상방향으로 감에 따라 커진다. 예를 들어, 도 4 에 나타내는 바와 같이, 가압력은 일정하게 한 상태에서, 전류값 I_1 로 주통전 공정을 실시한 후, 냉각 시간 t_c 로 냉각 공정을 실시하고, 이어서 전류값 I_2 , 통전 시간 t_2 로 후통전 공정을 실시한다.

[0188] 이상의 설명에서는, 2 장의 강판을 중첩하여 저항 스폿 용접하는 경우에 대해 주로 서술했지만, 본 발명은 3 장 이상의 강판을 중첩하여 용접하는 경우에 대해서도, 동일하게 적용 가능하고, 동일하게 상기 서술한 효과를 얻을 수 있다.

[0189] 실시예

[0190] 이하, 본 발명의 작용 및 효과에 대해, 실시예를 사용하여 설명한다. 또한, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되지 않는다.

[0191] 도 3 에 나타내는 바와 같이, 표 1 에 나타내는 강종의 강판을 사용하여 하강판 (1) 과 상강판 (2) 으로 하고, 이들을 중첩하여 표 2 에 나타내는 판 세트로 하였다. 판 세트에 대해 표 2 에 나타내는 용접 조건에서 저

항 스폿 용접을 실시하여, 용접 이음매를 제조하였다. 이 제조된 용접 이음매를 시료로 하였다.

- [0192] 또한, 표 2 에 있어서, 상이한 강종의 강판끼리를 중첩하여 판 세트로 한 경우에는, 각 강판의 Nb, Ti 및 V 량을 사용하여 식 (5) 의 좌변값을 산출하고, 이들 평균값을 후통전 공정의 통전 시간 t_2 와의 비교를 위해서 사용하였다.
- [0193] 하강판 (1) 과 상강판 (2) 의 인장 강도 (TS), 금속 도금층의 유무는, 표 1 에 나타냈다. 금속 도금층은 구체적으로는 아연 도금이다. 각 강판의 사이즈는, 장변이 100 mm 및 단변이 30 mm 로 하고, 판두께가 1.4 mm 로 하였다.
- [0194] 상기 「인장 강도」 는, 각 강판으로부터, 압연 방향에 대해 평행 방향으로 JIS5 호 인장 시험편을 제조하고, JIS Z 2241 : 2011 의 규정에 준거하여 인장 시험을 실시하여 구한 인장 강도 (MPa) 이다.
- [0195] 저항 스폿 용접은 상온에서 실시하고, 용접 전극 (즉, 하전극, 상전극) 을 항상 수행시킨 상태에서 실시하였다. 하전극과 상전극은, 모두 선단의 직경 (즉, 선단 직경) 이 6 mm, 곡률 반경이 40 mm 로 하고, 크롬구리제의 DR 형 전극으로 하였다. 또, 하전극과 상전극을 서보 모터로 구동시킴으로써 가압력을 제어하고, 통전시에는 주파수 50 Hz 의 단상 교류를 공급하였다.
- [0196] 저항 스폿 용접은, 도 5 에 나타내는 바와 같이, 상기 강판 (1, 2) (사이즈는, 장변 : 100 mm, 단변 : 30 mm 로 하였다) 의 2 장 사이에, 두께가 1.5 mm 이고 30 mm 사방인 스페이서 (10) 를 그 강판 사이의 양단측에 끼워 넣어 가용접하고, 그 후, 2 장의 강판을 중첩한 판 세트의 중심을 표 2 에 기재하는 용접 조건에서 용접하였다. 또한, 도 5 에는 저항 스폿 용접의 시험편을 나타내는 평면도 (도 5(A) 를 참조) 및 측면도 (도 5(B) 를 참조) 를 나타내고 있고, 도 5 중의 부호 9 는 용접점, 부호 8 은 가용접점이다. 모든 시료는, 너깃 직경이 판두께 t 에 대해 $4\sqrt{t}$ 가 되도록, 전류값과 통전 시간을 제어하여 본통전 공정을 실시하였다.
- [0197] 얻어진 용접 이음매를 상온 (여기서는, 20 ℃) 에서 대기 중에 정지 (靜置) 시킨 후, 이하에 설명하는 방법으로, (1) 경도 측정, (2) 열 영향부에 있어서의 연화부의 폭의 측정, (3) 주사 전자 현미경 (SEM) 에 의한 용접부의 단면 관찰, 및 (4) 침지 시험에 의한 내지연 파괴 특성 평가를 실시하였다.
- [0198] (1) 경도 측정
- [0199] 용접부 및 강판의 모재의 비커스 경도는, 다음의 방법으로 측정하였다.
- [0200] 얻어진 용접 이음매를, 너깃의 중심을 통과하는 위치에서 절단하여 시험편으로 하고, 그 시험편을 초음파 세정한 후에 수지 매립을 실시한 샘플의 용접부 단면을 연마하고, 피크르산 용액을 사용하여 에칭을 실시하여, 샘플을 준비하였다. 용접부 및 모재부의 비커스 경도는, 비커스 경도계에 의해, JISZ2244 (2020년) 에 준거하여 측정한다. 측정 하중은, 300 gf 의 압자로 15 초 부하하는 조건에서 실시하였다.
- [0201] 표 3 에 나타내는 「열 영향부의 최연화부의 경도 X」 는, 다음과 같이 구하였다. 구체적으로는, 상기 샘플에 있어서의, 강판의 겹침면 (7) 에서 0.2 mm 상방의 위치에서, 또한 그 겹침면 (7) 에 평행한 직선 상을, 0.2 mm 간격으로 계측하였다. 계측하는 영역은, 너깃 (3) 의 중심으로부터 강판의 모재까지의 범위로 하였다 (도 1 을 참조). 「강판의 겹침면 (7) 으로부터 0.2 mm 상방의 위치」 로 한 것은, 상강판에 고강도 강판을 사용하고 있기 때문이다. 하강판의 경우에는, 강판의 겹침면 (7) 으로부터 0.2 mm 하방의 위치에서 계측하였다.
- [0202] 도 2 에 나타내는 바와 같이, 「열 영향부 (6) 의 연화부 (6a)」 란, 열 영향부 (6) 내를 JISZ2244 (2020년) 에 준거하여 측정한 비커스 경도 중, 고강도 강판의 모재의 평균 비커스 경도 이하의 영역을 가리키는 것으로 하고, 「최연화부의 경도 X」 란 그 영역 내의 최소값을 가리키는 것으로 하였다. 또, 「고강도 강판의 모재의 평균 비커스 경도」 란, 고강도 강판의 모재의 경도를 상기 조건에서 5 회 측정하고, 그것들 측정값의 평균값으로 하였다.
- [0203] (2) 열 영향부에 있어서의 연화부의 폭 (Dh) 의 측정
- [0204] 상기 서술한 경도 측정에서 준비한 샘플을 사용하여, 연화부의 폭 (Dh) 을 측정하였다.
- [0205] 구체적으로는, 도 1 에 나타내는 바와 같이, 너깃 (3) 과 겹침면 (7) 의 교점 (즉, 너깃 단부 (E)) 을 연결하는 직선 Z 의 연장선과 연화부 (6a) 의 경계 (연화부 (6a) 의 내주 가장자리 및 외주 가장자리) 가 교차하는 2 점 (즉, 점 a, 점 b) 을 구하고, 그 2 점을 연결하는 직선의 길이를 광학 현미경으로 측정하여, 연화부 (6a) 의 폭 (Dh) (mm) 으로 하였다. 점 a 는 직선 Z 의 연장선과 연화부 (6a) 의 내주 가장자리의 교점으로 하고, 점 b

는 직선 Z 의 연장선과 연화부 (6a) 의 외주 가장자리의 교점으로 하였다.

[0206] (3) 단면 관찰

[0207] 단면 관찰에서는, 열 영향부 내의 탄화물 밀도를 측정하였다. 여기서는, 탄화물로서 NbC, TiC 및 VC 를 측정하였다.

[0208] NbC, TiC 및 VC 의 입경은, 얻어진 용접 이음매로부터 열 영향부를 잘라내고, 그 관두께 단면을 연마 후, 3 % 나이탈로 부식시키고, 투과형 전자 현미경 (TEM) 을 사용하여 10000 배의 배율로 관찰하였다. Image-Pro 를 사용하여, 하한을 0.005 μm 로 하여, 그 원 상당 직경을 산출함으로써 상기 석출물의 입경을 구하였다. 입경이 100 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 평균 개수 밀도 (개/1 μm^2) 는, TEM 을 사용하여 10000 배의 배율로 관찰하고, 10 개 지점의 개수 밀도를 구하고, 그 평균으로 하였다. 관찰은, 상강관과 하강관의 각각에서 실시하였다. 또, 동일한 방법으로, 입경이 70 nm 이하인 NbC, TiC 및 VC 의 평균 개수 밀도 (개/1 μm^2) 를 구하였다.

[0209] 얻어진 각 값은, 표 3 에 나타내는 「입경 100 nm 이하의 탄화물의 합계의 평균 개수 밀도」 및 「입경 70 nm 이하의 탄화물의 합계의 평균 개수 밀도」 에 나타냈다.

[0210] (4) 내지연 파괴 특성 평가

[0211] 침지 시험에 의한 내지연 파괴 특성의 평가는, 다음의 방법으로 실시하였다. 먼저, 용접 후, 상온 (여기서는, 20 $^{\circ}\text{C}$) 에서 대기 중에 24 시간 이상 정치시킨 용접 이음매를 시료로 하였다. 그 시료를 pH 2.5 의 염산 용액으로 96 시간 침지시킨 후, 지연 파괴의 유무를 조사하였다. 표 3 중, 너깃이 박리되지 않았던 시료에는 기호 「○」 를 기재하고, 너깃이 박리된 시료에는 기호 「×」 를 기재하였다. 상기의 「너깃이 박리」란, 접합 계면에서 너깃이 두 개로 박리되는 현상을 가리킨다. 여기서는, 기호 「○」 의 경우에, 「우수한 내지연 파괴 특성」 을 갖는 것으로 평가하였다.

[0212] 얻어진 결과를 표 3 에 나타냈다. 또한, 표 1 ~ 3 에 나타낸 「식 (1)」 ~ 「식 (5)」 의 란에는, 각 관계식을 충족하는지 여부의 결과를 나타내고 있고, 기호의 「○」 는 관계식을 충족하고, 기호의 「×」 는 관계식을 충족하지 않는 것을 가리키는 것으로 하였다.

표 1

강종	인장 강도 (MPa)	인장 연신율 (%)	성분 조성 (질량%)																식(1)		
			C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Ca	Sb	B	Cu	Ni	Nb	Ti		V	
A	1200	x	0.250	1.100	1.800	0.0100	0.002	0.060	0.005	0.350	0.200	0.012	0.070	0.003	0.250	0.350	0.010	0.010	0.010	0.022	○
B	1100	x	0.190	0.500	2.200	0.0130	0.008	0.040	0.003	0.280	0.180	0.008	0.150	0.001	0.450	0.180	0.030	0.030	0.060	0.072	○
C	1150	x	0.210	1.300	2.500	0.0080	0.005	0.030	0.001	0.300	0.210	0.018	0.160	0.008	0.950	0.450	0.090	0.090	0.150	0.210	○
D	1400	x	0.380	2.200	1.100	0.0160	0.009	0.070	0.005	0.480	0.290	0.013	0.090	0.007	0.350	0.370	0.050	0.070	0.000	0.120	○
E	1350	x	0.310	1.800	1.300	0.0050	0.007	0.050	0.004	0.400	0.300	0.006	0.150	0.006	0.980	0.250	0.060	0.000	0.120	0.084	○
F	1100	x	0.200	0.300	1.800	0.0090	0.003	0.060	0.001	0.310	0.170	0.004	0.070	0.009	0.870	0.470	0.000	0.050	0.200	0.090	○
G	1250	x	0.270	1.400	3.500	0.0110	0.006	0.080	0.008	0.380	0.250	0.015	0.180	0.010	0.480	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	x
H	1200	○	0.240	1.000	4.800	0.0180	0.004	0.020	0.009	0.350	0.230	0.012	0.070	0.004	0.250	0.350	0.010	0.010	0.010	0.022	○
I	1100	○	0.210	0.200	3.200	0.0150	0.005	0.090	0.003	0.200	0.110	0.008	0.150	0.006	0.300	0.180	0.030	0.040	0.060	0.082	○
J	1150	○	0.190	0.100	2.800	0.0007	0.009	0.070	0.001	0.210	0.130	0.018	0.160	0.005	1.000	0.450	0.090	0.100	0.140	0.218	○
K	1050	x	0.150	0.800	2.100	0.0030	0.003	0.050	0.004	—	—	—	—	—	—	—	—	0.050	0.120	0.124	○
L	950	x	0.110	0.100	1.500	0.0050	0.004	0.040	0.008	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.070	0.150	○

*1. 식(1): $([Nb]+[Ti]+[V])/5 \geq 0.01\%$

[0213]

표 2

시험 번호	판 세트 (상강판-하강판 또는 상강판-중강판-하강판)	기본진공정			냉각 공정			후동진공정				활동 시간 (t_d) (ms)
		가압력 (kN)	통전 시간 (ms)	전류값 (kA)	냉각 시간 (t_c) (ms)	가압력 (kN)	통전 시간 (ms)	전류값 (kA)	시(4)	시(5)		
1	A-A	3.5	280	5.1	1500	3.5	500	3.5	○	×		
2	B-B	3.5	280	5.3	1500	3.5	500	3.5	○	×		
3	C-C	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	○		
4	C-D	3.5	280	5.0	1500	3.5	500	3.5	○	×		
5	C-E	3.5	280	5.1	1500	3.5	500	3.5	○	×		
6	C-F	3.5	280	5.0	1500	3.5	500	3.5	○	×		
7	C-G	3.5	280	5.0	1500	3.5	500	3.5	○	×		
8	A-H	3.5	280	5.2	1500	3.5	500	3.5	○	×		
9	B-I	3.5	280	5.4	1500	3.5	500	3.5	○	×		
10	C-J	3.5	280	5.6	1500	3.5	500	3.5	○	○		
11	C-C	3.5	280	5.5	1500	1.0	500	3.5	○	○		
12	C-C	3.5	280	5.3	1500	3.5	500	10.0	×	○		
13	C-C	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	1.0	×	○		
14	A-A	3.5	280	5.5	1500	3.5	2000	5.0	○	○		
15	B-B	3.5	280	5.5	1500	3.5	1600	4.8	○	○		
16	A-A	3.5	280	5.5	1500	3.5	2500	3.5	○	○		
17	B-B	3.5	280	5.5	1500	3.5	2000	3.5	○	○		
18	C-C	3.5	280	5.5	500	3.5	500	3.5	○	○		
19	C-C-C	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	○		
20	G-G	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	×		
21	K-K	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	×		
22	L-L	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	×		
23	C-C	2.0	1000	4.5	1500	3.5	500	3.5	○	○		
24	C-C	7.0	100	10.0	1500	3.5	380	6.2	○	○		
25	C-C	4.5	600	6.5	560	3.5	450	4.0	○	○		
26	C-C	5.0	800	5.0	1200	3.5	500	3.5	○	○		
27	C-C	6.0	400	8.0	1750	3.5	400	5.0	○	○		
28	A-A	3.5	280	5.1	1500	7.0	2000	3.5	○	○		
29	B-B	3.5	280	5.3	1500	2.0	1600	3.5	○	○		
30	C-C	3.5	280	5.5	1500	4.0	1000	5.4	○	○		
31	B-B	3.5	280	5.3	1500	5.0	2000	3.3	○	○		
32	C-C	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	○		
33	C-C	3.5	280	5.5	1500	3.5	500	3.5	○	50		
34	C-F	3.5	280	5.2	1500	3.5	900	4.8	○	○		

*1. 시(4): $0.6 \times t_1 < t_2 < 1.0 \times t_1$

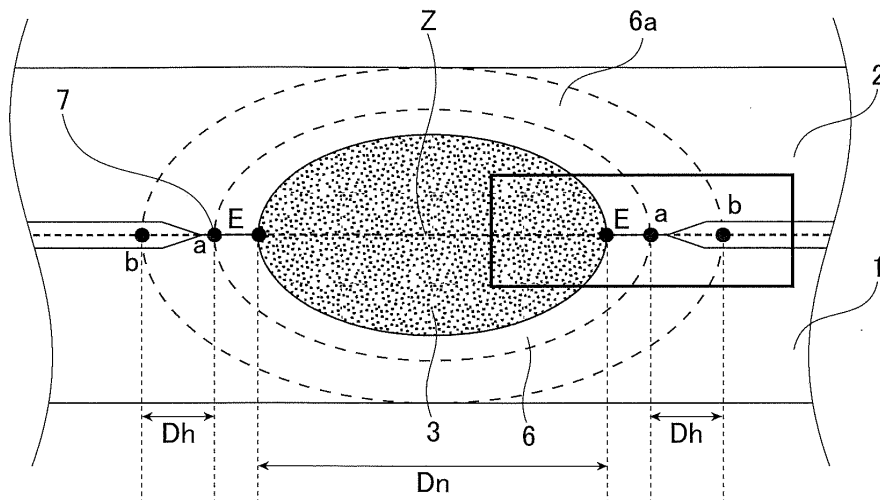
*2. 시(6): $2100 - 8200 \times ((Nb)_1 + (Ti)_1 + (V)_1/5) < t_2$

[0214]

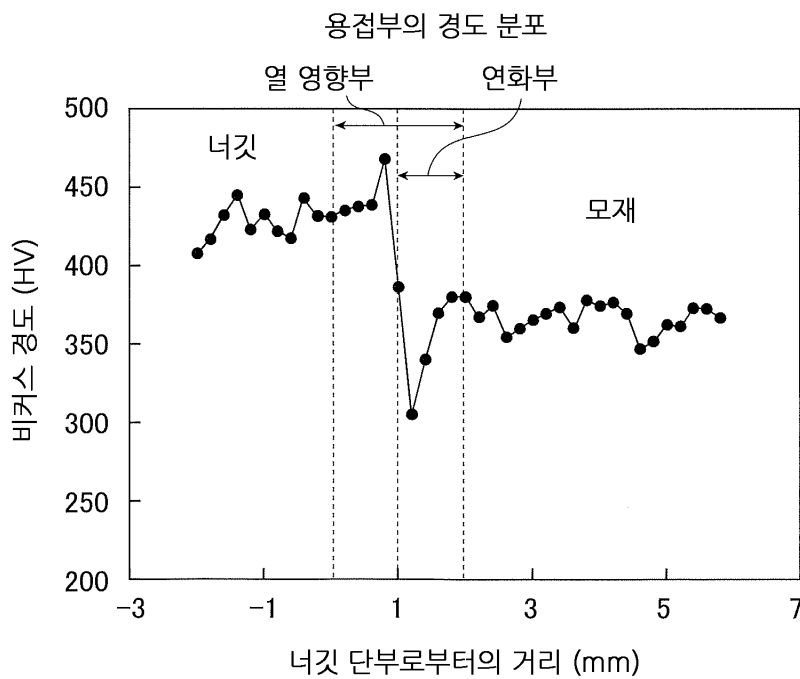
- 6a : 연화부
- 7 : 겹침면
- 8 : 가용접점
- 9 : 용접점
- 10 : 스페이서

도면

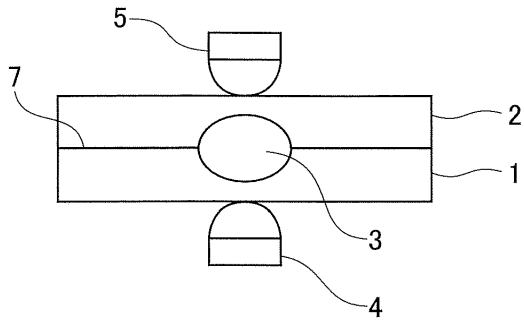
도면1



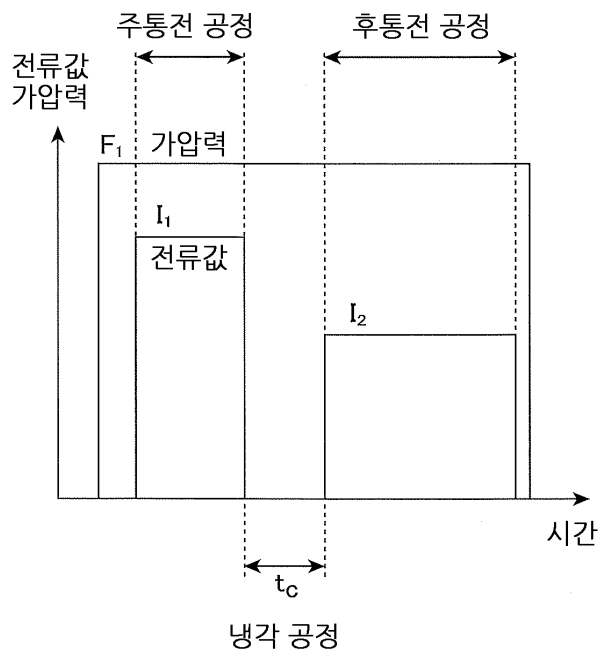
도면2



도면3



도면4



도면5

