



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0045902
(43) 공개일자 2016년04월27일

- | | |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>B23K 35/30</i> (2006.01) <i>B23K 9/23</i> (2006.01)
 <i>C22C 38/22</i> (2006.01) <i>C22C 38/24</i> (2006.01)
 <i>C22C 38/26</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>B23K 35/30</i> (2013.01)
 <i>B23K 35/3053</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-7009094(분할)
 (22) 출원일자(국제) 2012년11월21일
 심사청구일자 2016년04월06일</p> <p>(62) 원출원 특허 10-2014-7013092
 원출원일자(국제) 2012년11월21일
 심사청구일자 2014년05월15일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2016년04월06일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2012/080170
 (87) 국제공개번호 WO 2013/077356
 국제공개일자 2013년05월30일</p> <p>(30) 우선권주장
 JP-P-2011-254318 2011년11월21일 일본(JP)
 JP-P-2012-037810 2012년02월23일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
 가부시키가이샤 고베 세이코쇼
 일본 효고켄 고베시 주오쿠 와키노하마 가이간도
 오리 2초메 2방 4고</p> <p>(72) 발명자
 나코 히데노리
 일본 6512271 효고켄 고베시 니시쿠 다카즈카다이
 1초메 5방 5고 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 고
 베 소고 기쥬츠 겐큐쵸 내
 야마시타 겐
 일본 2510014 가나가와켄 후지사와의 미야마에아
 자 우라코우치 100반 1 가부시키가이샤 고베 세이
 코쇼 후지사와 교쵸 내
 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
 장수길, 성재동</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **내템퍼링 취화 특성이 우수한 용접 금속**

(57) 요약

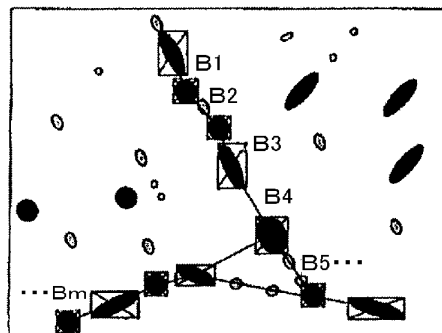
본 발명의 용접 금속은, 소정의 화학 성분 조성을 갖고, 하기 수학적 1에 의해 규정되는 A값이 0.12 이상이며, 또한 용접 금속에 포함되는 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과와 탄화물의 개수가, 입계 길이당 0.25개/ μ m 이하이다.

[수학적 1]

$$A\text{값} = ([V] / 51 + [Nb] / 93) / ([Cr] / 52 + [Mo] / 96)$$

단, [V], [Nb], [Cr] 및 [Mo]는, 각각 용접 금속 중의 V, Nb, Cr 및 Mo의 함유량(질량%)을 나타낸다.

대표도 - 도2d



(52) CPC특허분류

B23K 35/308 (2013.01)

B23K 35/3086 (2013.01)

B23K 35/3093 (2013.01)

B23K 9/23 (2013.01)

C22C 38/22 (2013.01)

C22C 38/24 (2013.01)

C22C 38/26 (2013.01)

(72) 발명자

오츠 미노루

일본 2510014 가나가와켄 후지사와의시 미야마에아자
우라코우치 100반 1 가부시키가이샤 교베 세이코쇼
후지사와의 고쥬 내

다니구치 겐이치

일본 2510014 가나가와켄 후지사와의시 미야마에아자
우라코우치 100반 1 가부시키가이샤 교베 세이코쇼
후지사와의 고쥬 내

사카타 미키히로

일본 2510014 가나가와켄 후지사와의시 미야마에아자
우라코우치 100반 1 가부시키가이샤 교베 세이코쇼
후지사와의 고쥬 내

명세서

청구범위

청구항 1

Mo:1.20% 이하(「질량%」의 의미. 이하 동일) 및 Cr:2.30% 이하를 함유하는 심선과, Si/SiO₂비가 1.0 이상 이고 Mo:1.2% 이하를 함유하는 피복제를 구비한 용접봉을, 용접하여 얻어진 용접 금속이며,

C:0.05~0.15%,

Si:0.1~0.50%,

Mn:0.60~1.30%,

Cr:1.80~3.0%,

Mo:0.80~1.20%,

V:0.25~0.50%,

Nb:0.010~0.050%,

N:0.025% 이하(0%를 포함하지 않음),

O:0.020~0.060%를 각각 함유하고,

잔량부가 철 및 불가피적 불순물로 이루어지고,

하기 수학적 1에 의해 규정되는 A값이 0.12 이상이며, 또한 용접 금속에 포함되는 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과 의 산화물의 개수가, 입계 길이당 0.25개/ μ m 이하인 것을 특징으로 하는, 내템퍼링 취화 특성이 우수한 용접 금속.

[수학적 1]

$$A\text{값} = ([V] / 51 + [Nb] / 93) / ([Cr] / 52 + [Mo] / 96)$$

단, [V], [Nb], [Cr] 및 [Mo]는, 각각 용접 금속 중의 V, Nb, Cr 및 Mo의 함유량(질량%)을 나타낸다.

청구항 2

제1항에 있어서, 원 상당 직경으로 2 μ m 초과 의 산화물이 100개/ mm^2 이하인, 내템퍼링 취화 특성이 우수한 용접 금속.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 다른 원소로서, 하기 원소 중 적어도 하나를 더 함유하는, 내템퍼링 취화 특성이 우수한 용접 금속.

Cu:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음)

Ni:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음)

B:0.0050% 이하(0%를 포함하지 않음)

W:0.50% 이하(0%를 포함하지 않음)

Al:0.030% 이하(0%를 포함하지 않음)

Ti:0.020% 이하(0%를 포함하지 않음)

청구항 4

제1항 또는 제2항에 기재된 용접 금속을 구비한, 용접 구조체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 Cr-Mo강과 같은 고강도 강재의 용접에 사용되는 용접 금속에 관한 것이며, 내템퍼링 취화 특성을 개선한 용접 금속 및 이러한 용접 금속을 구비한 용접 구조체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 보일러나 화학 반응 용기에 있어서 사용되는 고강도 Cr-Mo강 및 그 용접 금속부는, 고온 고압 환경하에 있어서 사용되므로, 강도 및 인성 등의 특성과 함께, 내열성(고온 강도), 내SR 균열성[응력 제거 어닐링(SR 어닐링) 시에 입계 균열을 일으키지 않는 것] 및 내템퍼링 취화 특성(고온 환경에서의 사용 중에 취화가 적은 것)을 고레벨로 겸비하는 것을 필요로 한다. 특히 최근에 있어서, 장치 대형화에 수반하는 후속화에 의해, 시공 효율의 관점에서 용접 시의 입열량은 증대하고 있고, 일반적으로 용접 입열의 증대는 용접 금속부의 조직을 조대화시키고, 인성(내템퍼링 취화 특성)을 열화시키므로, 요구되는 인성, 내템퍼링 취화 특성은 한층 더 높은 수준으로 되어 있다.

[0003] 고강도 Cr-Mo강을 용접한 경우에 형성되는 용접 금속의 인성, 내템퍼링 취화 특성에 착안한 기술로서, 지금까지도 여러 가지 제안되어 있다.

[0004] 예를 들어, 특허문헌 1에서는, 강판 조성, 용접 재료 조성 및 용접 조건을 상세하게 규정함으로써, 여러 특성을 겸비한 용접 금속이 얻어지는 것이 개시되어 있다. 이 기술에서는, 일부의 실시예에서, 응력 제거 어닐링(SR 어닐링: Stress Relief 어닐링) 후의 인성을 나타내는 $vTr_{5.5}$ (SR 어닐링 후의 흡수 에너지가 5.5kgf·m으로 되는 온도)는, $-50^{\circ}C$ 로 양호하지만, 템퍼링 취화 처리(스텝 쿨링) 후의 인성을 나타내는 $vTr'_{5.5}$ (스텝 쿨링 후의 흡수 에너지가 5.5kgf·m으로 되는 온도)는 최량이라도 $-41^{\circ}C$ 이며, 충분한 수준이라고는 할 수 없다.

[0005] 또한 특허문헌 2에는, 피복 아크 용접봉에 있어서, 심선 및 피복의 수율을 고려하면서 C, Mn 및 Ni의 함유량을 관련시켜 규제함으로써, 인성, 강도 및 내열성을 개선하는 것이 제안되어 있다. 그러나, 내템퍼링 취화 특성에 대해서는 고려되어 있지 않다.

[0006] 솔리드 와이어나 본드 플럭스의 성분 및 용접 조건(입열량)을 고려함으로써, 인성, 강도, 내템퍼링 취화 특성 및 내SR 균열성이 우수한 용접 금속을 실현할 수 있는 기술이 제안되어 있다(예를 들어, 특허문헌 3, 4). 이들 기술에서는, 일부의 실시예에서, SR 어닐링 후의 인성을 나타내는 vTr_{55} (SR 어닐링 후의 흡수 에너지가 55J로 되는 온도), 템퍼링 취화 처리(스텝 쿨링) 후의 인성을 나타내는 vTr'_{55} (스텝 쿨링 후의 흡수 에너지가 55J로 되는 온도)가 모두 $-50^{\circ}C$ 를 하회하는 양호한 인성이 얻어지고 있지만, 템퍼링 시의 취화의 정도를 나타내는 ΔvTr_{55} ($=vTr'_{55}-vTr_{55}$)는 모두 $8^{\circ}C$ 이상으로 템퍼링 취화를 충분히 억제할 수 있다고는 하기 어렵다.

[0007] 특허문헌 5에는, 용접 금속 성분, 특히 불순물 원소량을 관리함으로써, 인성, 강도 및 내SR 균열성을 개선하는 기술이 제안되어 있다. 그러나, 내템퍼링 취화 특성에 대해서는 고려되어 있지 않다.

[0008] 특허문헌 6에는, 피복 아크 용접에 있어서, 용접봉의 심선 및 피복재 성분을 제어함으로써, 인성, 강도를 개선하는 것이 제안되어 있다. 그러나, 내템퍼링 취화 특성은 고려되어 있지 않다. 또한, 상정하고 있는 용접 입열이 작아, 시공상의 제약이 큰 것으로 되어 있다.

[0009] 한편, 피복 아크 용접에 있어서, 용접봉의 심선 및 피복재 성분을 제어함으로써, 인성, 강도를 개선하는 것도 제안되어 있다(예를 들어, 특허문헌 7, 8). 이들 기술에서는, 인성, 내템퍼링 취화 특성 모두 높은 레벨에 있지만, 권장되는 용접 조건은, 피복 아크 용접에 의한 용접 금속을 규정한 특허문헌 7에서 용접 전류:140~190A 정도(심선 직경 ϕ 4.0mm)이며, 서브 머지 아크 용접에 의한 용접 금속을 규정한 특허문헌 8에서 입열량:2.0~3.6kJ/mm 정도이며, 용접 입열량의 증대 경향에 충분히 대응하고 있다고는 할 수 없다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 일본 특허 출원 공개 평2-182378호 공보
- (특허문헌 0002) 일본 특허 출원 공개 평2-220797호 공보
- (특허문헌 0003) 일본 특허 출원 공개 평6-328292호 공보
- (특허문헌 0004) 일본 특허 출원 공개 평8-150478호 공보
- (특허문헌 0005) 일본 특허 출원 공개 제2000-301378호 공보
- (특허문헌 0006) 일본 특허 출원 공개 제2002-263883호 공보
- (특허문헌 0007) 일본 특허 출원 공개 제2008-229718호 공보
- (특허문헌 0008) 일본 특허 출원 공개 제2009-106949호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상기 사정에 비추어 이루어진 것이며, 그 목적은, 입열량이 비교적 큰 용접 조건에 있어서도, 우수한 내템퍼링 취화 특성을 발휘함과 함께, 인성, 내SR 균열성, 강도 등의 특성에 있어서도 우수한 용접 금속 및 이러한 용접 금속을 구비한 용접 구조체를 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 과제를 해결할 수 있었던 본 발명에 관한 용접 금속이라 함은, C:0.05~0.15% (「질량%」의 의미, 이하 동일), Si:0.1~0.50%, Mn:0.60~1.30%, Cr:1.80~3.0%, Mo:0.80~1.20%, V:0.25~0.50%, Nb:0.010~0.050%, N:0.025% 이하(0%를 포함하지 않음), O:0.020~0.060%를 각각 함유하고, 잔량부가 철 및 불가피적 불순물로 이루어지고, 하기 수학적 1에 의해 규정되는 A값이 0.12 이상이며, 또한 용접 금속에 포함되는 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과인 탄화물의 개수가, 입계 길이당 0.25개/ μ m 이하인 점에 요지를 갖는다.

수학적 1

$$A\text{값} = ([V] / 51 + [Nb] / 93) / ([Cr] / 52 + [Mo] / 96)$$

- [0013] 단, [V], [Nb], [Cr] 및 [Mo]는, 각각 용접 금속 중의 V, Nb, Cr 및 Mo의 함유량(질량%)을 나타낸다.
- [0014] 상기 용접 금속에 있어서, 원 상당 직경으로 2 μ m 초과인 산화물이 100개/mm² 이하인 것이 바람직하다.
- [0015] 또한, 상기 「원 상당 직경」이라 함은, 현미경(예를 들어, 투과형 전자 현미경)의 관찰면 상에서 인정되는 탄화물 입자 또는 산화물의 크기에 착안하여, 그 면적이 동등해지도록 상정한 원의 직경이다.
- [0016] 본 발명의 용접 금속에 있어서는, 다른 원소로서, (a)Cu:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음) 및/또는 Ni:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음), (b)B:0.0050% 이하(0%를 포함하지 않음), (c)W:0.50% 이하(0%를 포함하지 않음), (d)Al:0.030% 이하(0%를 포함하지 않음), (e)Ti:0.020% 이하(0%를 포함하지 않음) 등을 더 포함하는 것도 바람직하고, 함유시키는 원소의 종류에 따라 용접 금속의 특성이 더욱 개선된다.
- [0017] 본 발명은 상기한 바와 같은 용접 금속을 구비한 용접 구조체도 포함한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 따르면, 화학 성분 조성과 함께, 용접 금속 중의 입계에 존재하는 소정 크기의 탄화물의 개수를 규정 하도록 하였으므로, 우수한 내템퍼링 취화 특성을 발휘함과 함께, 인성, 내SR 균열성, 강도 등의 특성에 있어서

우수한 용접 금속을 실현할 수 있다. 또한, 본 발명의 바람직한 형태에 있어서, 조대한 산화물을 억제함으로써, 본 발명의 용접 금속(즉 SR 어닐링 처리 후의 용접 금속)의 인성 및 또한 템퍼링 취화 처리를 행한 후의 인성을 한층 더 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 스텝 쿨링 처리 조건을 나타내는 그래프이다.
- 도 2a는 입계 탄화물의 개수를 계산하는 방법을 설명하기 위한 제1 개념도이다.
- 도 2b는 입계 탄화물의 개수를 계산하는 방법을 설명하기 위한 제2 개념도이다.
- 도 2c는 입계 탄화물의 개수를 계산하는 방법을 설명하기 위한 제3 개념도이다.
- 도 2d는 입계 탄화물의 개수를 계산하는 방법을 설명하기 위한 제4 개념도이다.
- 도 3은 인장 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략 설명도이다.
- 도 4는 샤르피 충격 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략 설명도이다.
- 도 5a는 내SR 균열성 시험편의 채취 위치를 나타내는 개략 설명도이다.
- 도 5b는 내SR 균열성 시험편의 형상을 나타내는 개략 설명도이다.
- 도 5c는 내SR 균열성 시험편의 채취 방법을 나타내는 개략 설명도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명자들은, 입열량이 비교적 큰 용접 조건에 있어서도, 우수한 내템퍼링 취화 특성을 발휘함과 함께, 인성, 내SR 균열성, 강도 등의 특성에 있어서도 우수한 용접 금속을 실현하기 위해, 여러 가지 각도에서 검토하였다. 그 결과, 용접 금속의 화학 성분 조성을 제어함과 함께, 용접 시 및 SR 처리 시에 형성되고, 용접 금속의 입계 상에 존재하는 소정의 크기의 탄화물(이 탄화물을 「입계 탄화물」이라 하는 경우가 있음)의 개수를 규정함으로써, 상기 여러 특성을 겸비할 수 있는 것을 발견하고, 본 발명을 완성하였다.

[0022] 즉, 본 발명에서는, 용접 금속의 화학 성분 조성을 적절하게 제어함과 함께, 하기 수학적 1에 의해 규정되는 A값을 0.12 이상으로 하고, 또한 용접 금속에 포함되는 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과와 탄화물의 개수가, 입계 길이당 0.25개/ μ m 이하로 함으로써, 인성, 내템퍼링 취화 특성을 비롯한 여러 특성을 겸비할 수 있는 것을 발견하였다.

[0023] [수학적 1]

$$A\text{값} = \left(\frac{[V]}{51} + \frac{[Nb]}{93} \right) / \left(\frac{[Cr]}{52} + \frac{[Mo]}{96} \right)$$

[0024] 단, [V], [Nb], [Cr] 및 [Mo]는, 각각 용접 금속 중의 V, Nb, Cr 및 Mo의 함유량(질량%)을 나타낸다.

[0025] 용접 금속의 내템퍼링 취화 특성은, SR 어닐링 후에, 스텝 쿨링이라 칭하는 열처리를 실시하고, 통상의 SR 어닐링을 실시한 용접 금속과 비교하여 어느 정도 인성이 열화되었는지에 의해 평가된다. 본 발명자들은, 이 스텝 쿨링 중에, 입계 탄화물이 조대화됨으로써 인성 열화를 초래하는 것을 새롭게 발견하고, 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과와 탄화물을 저감함과 함께, 상기 수학적 1에서 규정되는 A값을 제어함으로써, 입계 탄화물의 조대화를 억제하고, 스텝 쿨링 후의 인성 열화가 작은, 즉 내템퍼링 취화 특성이 우수한 용접 금속을 실현할 수 있었던 것이다.

[0026] 상기 수학적 1에서 규정되는 A값은, 스텝 쿨링 중의 입계 탄화물의 조대화 거동을 제어하기 위한 파라미터이다. 입계 탄화물로서는, 주로 Cr, Mo를 포함하는 M₂₃C₆ 탄화물 및 M₆C 탄화물(M:탄화물 형성 원소)이나, 주로 Nb, V를 포함하는 MC 탄화물을 들 수 있지만, 일반적으로 M₂₃C₆ 탄화물 및 M₆C 탄화물은 조대해지기 쉽고, MC는 미세하다. 입계에 존재하는 탄화물의 조대화를 억제하기 위해서는, Cr, Mo를 저감하고, Nb, V를 늘리면 된다. 이러한 관점에서, A값은 0.12 이상으로 할 필요가 있다. A값이 0.12보다도 작아지면, 조대한 입계 탄화물의 석출량이 증가하여 내템퍼링 취화 특성이 열화된다. 이 A값은 바람직하게는 0.13 이상이며, 보다 바람직하게는 0.14 이상, 더욱 바람직하게는 0.15 이상이다. 또한, A값은, 과대해지면 SR 어닐링 시에 생성되는 MC 탄화물

입자가 현저하게 미세 또한 다량으로 되고, 내SR 균열성에 악영향을 미치므로, 0.20 이하인 것이 바람직하다.

[0028] 본 발명의 용접 금속에 있어서는, 원 상당 직경으로 0.5 μm 초과인 탄화물의 개수를, 입계 길이당 0.25개/ μm 이하로 할 필요가 있다. 스텝 쿨링에 있어서는, 원래 존재하는 입계 탄화물 중 비교적 사이즈가 큰 것이 한층 더 성장함으로써, 조대화가 진행된다. 따라서, 스텝 쿨링 시의 취화(인성 저하)를 억제하기 위해서는, 원래 존재하는 큰 사이즈의 입계 탄화물을 저감할 필요가 있다. 이러한 관점에서, 원 상당 직경으로 0.5 μm 초과인 탄화물의 개수를 입계 길이당 0.25개/ μm 이하로 저감할 필요가 있고, 이 상한을 초과하여 탄화물이 존재하면, 양호한 인성을 확보할 수 없게 된다. 또한, 원 상당 직경으로 0.5 μm 초과인 탄화물은, 바람직하게는 0.23개/ μm 이하이며, 보다 바람직하게는 0.21개/ μm 이하이다.

[0029] 또한, 본 발명의 용접 금속에서는, 원 상당 직경으로 2 μm 초과인 산화물이 100개/ mm^2 이하인 것이 바람직하다. 원 상당 직경 2 μm 초과인 조대한 산화물은, 취성 파괴의 기점으로서 작용하고, 인성을 열화시킨다. 원 상당 직경으로 2 μm 초과인 산화물을 100개/ mm^2 이하로 함으로써, SR 어닐링 후의 용접 금속의 인성을 양호하게 할 수 있고, 그 결과 스텝 쿨링 후의 인성도 양호하게 할 수 있다. 원 상당 직경으로 2 μm 초과인 산화물은 60개/ mm^2 이하가 보다 바람직하고, 더욱 바람직하게는 40개/ mm^2 이하이다.

[0030] 본 발명의 용접 금속에 있어서, 그 화학 성분 조성을 적절하게 제어하는 것도 중요한 요건인데, 그 범위 설정 이유는 이하와 같다.

[0031] [C:0.05~0.15%]

[0032] C는, 용접 금속의 강도를 확보하는 데 있어서 필요한 원소이다. C 함유량이 0.05%보다도 적어지면, 소정의 강도가 얻어지지 않는다. 그러나, C 함유량이 과잉으로 되면, 탄화물의 조대화를 초래함으로써, 인성 저하의 원인으로 되므로 0.15% 이하로 한다. C 함유량의 바람직한 하한은 0.07% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.09% 이상이며, 바람직한 상한은 0.13% 이하, 보다 바람직하게는 0.12% 이하이다.

[0033] [Si:0.1~0.50%]

[0034] Si는, 용접 시의 작업성을 양호하게 하는 데 있어서 유효한 원소이다. Si 함유량이 0.1%를 하회하면, 용접 작업성이 열화된다. 그러나, Si 함유량이 과잉으로 되면, 강도의 과대한 상승, 또는 마르텐사이트 등의 경질 조직 증가를 초래하고, 인성 저하를 초래하므로, 0.50% 이하로 한다. 또한, Si 함유량의 바람직한 하한은 0.15% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.17% 이상이며, 바람직한 상한은 0.40% 이하, 보다 바람직하게는 0.32% 이하이다.

[0035] [Mn:0.60~1.30%]

[0036] Mn은, 용접 금속의 강도를 확보하는 데 있어서 유효한 원소이며, 그 함유량이 0.60%를 하회하면, 실온에서의 강도가 저하되는 것 외에, 내SR 균열성에도 악영향을 미친다. 그러나, Mn 함유량이 과잉으로 되면, 템퍼링 취화 특성을 열화시키므로, 1.30% 이하로 할 필요가 있다. 또한, Mn 함유량의 바람직한 하한은 0.8% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.9% 이상이며, 바람직한 상한은 1.2% 이하, 보다 바람직하게는 1.15% 이하이다.

[0037] [Cr:1.80~3.0%]

[0038] Cr 함유량이 1.80%보다도 낮아지면, 구 γ 입계에 필름 형상의 조대 시멘타이트가 석출되게 되고, 내SR 균열성이 열화된다. 그러나, Cr 함유량이 과잉으로 되면, 탄화물 조대화를 초래함으로써 인성 저하의 원인으로 되므로, 3.0% 이하로 할 필요가 있다. 또한, Cr 함유량의 바람직한 하한은 1.9% 이상이며, 보다 바람직하게는 2.0% 이상이며, 바람직한 상한은 2.8% 이하, 보다 바람직하게는 2.6% 이하이다.

[0039] [Mo:0.80~1.20%]

[0040] Mo는, 용접 금속의 강도를 확보하는 데 있어서 유용한 원소이다. Mo 함유량이 0.80%보다도 적어지면, 소정의 강도가 얻어지지 않는다. 그러나, Mo 함유량이 과잉으로 되면, 강도의 과대한 상승에 의해 인성을 저하시킴과 함께, SR 어닐링 후의 고용 Mo의 증가를 초래하고, 스텝 쿨링 시에 미세 Mo_2C 탄화물이 석출됨으로써 내템퍼링 취화 특성이 열화되므로, 1.20% 이하로 할 필요가 있다. 또한, Mo 함유량의 바람직한 하한은 0.9% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.95% 이상이며, 바람직한 상한은 1.15% 이하, 보다 바람직하게는 1.1% 이하이다.

[0041] [V:0.25~0.50%]

[0042] V는, 탄화물(MC 탄화물:M은 탄화물 형성 원소)을 형성하여, 용접 금속의 강도를 확보하는 데 있어서 유용한 원

소이다. V 함유량이 0.25%를 하회하면, 소정의 강도가 얻어지지 않는다. 그러나, V 함유량이 과잉으로 되면, 강도의 과대한 상승을 초래하고 인성을 저하시키므로, 0.50% 이하로 할 필요가 있다. 또한, V 함유량의 바람직한 하한은 0.27% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.30% 이상이며, 바람직한 상한은 0.45% 이하, 보다 바람직하게는 0.40% 이하이다.

[0043] [Nb:0.010~0.050%]

[0044] Nb는, 탄화물(MC 탄화물)을 형성하여, 용접 금속의 강도를 확보하는 데 있어서 유용한 원소이다. Nb 함유량이 0.010%를 하회하면, 소정의 강도가 얻어지지 않는다. 그러나, Nb 함유량이 과잉으로 되면, 강도의 과대한 상승을 초래하고 인성을 저하시키므로, 0.050% 이하로 할 필요가 있다. 또한, Nb 함유량의 바람직한 하한은 0.012% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.015% 이상이며, 바람직한 상한은 0.040% 이하, 보다 바람직하게는 0.035% 이하이다.

[0045] [N:0.025% 이하(0%를 포함하지 않음)]

[0046] N은, 용접 금속의 크리프 강도를 확보하는 데 있어서 유용한 원소이지만, N 함유량이 과잉으로 되면, 강도의 과대한 상승을 초래하고 인성을 저하시키므로, 0.025% 이하로 할 필요가 있다. 또한, 상기 효과를 발휘시키는 데 있어서 바람직한 하한은, 0.004% 이상(보다 바람직하게는 0.005% 이상)이며, 바람직한 상한은 0.020% 이하(보다 바람직하게는 0.018% 이하)이다.

[0047] [O:0.020~0.060%]

[0048] O는, 산화물을 형성하고, 조직 미세화에 기여함으로써 인성을 향상시키는 데 유용한 원소이다. 이러한 효과를 발휘시키기 위해서는, 0.020% 이상 함유시킬 필요가 있다. 그러나, O 함유량이 과잉으로 되어 0.060%를 초과하면, 조대한 산화물이 증가하고, 취성 파괴의 기점으로 됨으로써 오히려 인성은 저하된다. 또한, O 함유량의 바람직한 하한은 0.025% 이상(보다 바람직하게는 0.028% 이상)이며, 바람직한 상한은 0.050% 이하(보다 바람직하게는 0.045% 이하)이다.

[0049] 본 발명에서 규정하는 함유 원소는 상기한 바와 같고, 잔량부는 철 및 불가피적 불순물이며, 상기 불가피적 불순물로서, 원료, 자재, 제조 설비 등의 상황에 따라 반입되는 원소(예를 들어, P, S 등)의 혼입이 허용될 수 있다.

[0050] 본 발명의 용접 금속에 있어서는, 다른 원소로서, (a)Cu:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음) 및/또는 Ni:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음), (b)B:0.0050% 이하(0%를 포함하지 않음), (c)W:0.50% 이하(0%를 포함하지 않음), (d)Al:0.030% 이하(0%를 포함하지 않음), (e)Ti:0.020% 이하(0%를 포함하지 않음) 등을 더 함유시키는 것이 바람직하고, 함유시키는 원소의 종류에 따라 용접 금속의 특성이 더욱 개선된다. 이들 원소를 함유시킬 때의 범위 설정 이유는 하기와 같다.

[0051] [Cu:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음) 및/또는 Ni:1.0% 이하(0%를 포함하지 않음)]

[0052] Cu 및 Ni는, 조직 미세화에 의한 인성 향상에 유효한 원소이다. 그러나, 이들 원소의 함유량이 과잉으로 되면, 강도가 과대해져 인성이 저하되므로, Cu 또는 Ni의 함유량은, 각각 1.0% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 각각 0.8% 이하, 더욱 바람직하게는 0.5% 이하이다. 또한, 상기 효과를 발휘시키기 위한 바람직한 하한은, 모두 0.05% 이상(보다 바람직하게는 0.1% 이상)이다.

[0053] [B:0.0050% 이하(0%를 포함하지 않음)]

[0054] B는, 입계로부터의 페라이트 생성을 억제하고, 용접 금속의 강도를 향상시키는 데 유효한 원소이다. 그러나, B 함유량이 과잉으로 되면, 내SR 균열성을 저하시키므로, 0.0050% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.0040% 이하(더욱 바람직하게는 0.0025% 이하)이다. 또한, 상기 효과를 발휘시키기 위한 바람직한 하한은, 0.0005% 이상(보다 바람직하게는 0.0010% 이상)이다.

[0055] [W:0.50% 이하(0%를 포함하지 않음)]

[0056] W는, 용접 금속의 강도를 향상시키는 데 유효한 원소이다. 그러나, W 함유량이 과잉으로 되면, 입계에 석출되는 탄화물을 조대화시키고, 인성에 악영향을 미치므로, 0.50% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.3% 이하(더욱 바람직하게는, 0.2% 이하)이다. 또한, 상기 효과를 발휘시키기 위한 바람직한 하한은, 0.08% 이상(보다 바람직하게는 0.1% 이상)이다.

- [0057] [Al:0.030% 이하(0%를 포함하지 않음)]
- [0058] Al은, 탈산제로서 유효한 원소이다. 그러나, Al 함유량이 과잉으로 되면, 산화물 조대화를 초래하고 인성에 악영향을 미치므로, 0.030% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.020% 이하(더욱 바람직하게는, 0.015% 이하)이다. 또한, 상기 효과를 발휘시키기 위한 바람직한 하한은, 0.001% 이상(보다 바람직하게는 0.0012% 이상)이다.
- [0059] [Ti:0.020% 이하(0%를 포함하지 않음)]
- [0060] Ti는, 용접 금속의 강도를 향상시키는 데 유효한 원소이다. 그러나, Ti 함유량이 과잉으로 되면, MC 탄화물의 석출 강화가 촉진되는 것에 의한 입내 강화의 현저한 상승을 초래하고, 내SR 균열성을 저하시키므로, 0.020% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.015% 이하(더욱 바람직하게는, 0.012% 이하)이다. 또한, 상기 효과를 발휘시키기 위한 바람직한 하한은, 0.005% 이상(보다 바람직하게는 0.008% 이상)이다.
- [0061] 본 발명의 용접 금속을 얻기 위한 용접 방법은, 아크 용접법이면 특별히 한정하는 것은 아니지만, 화학 반응 용기 등을 실제로 용접 시공할 때에 다용되는, 피복 아크 용접(SMAW)의 적용이 바람직하다.
- [0062] 단, 본 발명의 용접 금속을 실현하기 위해서는, 용접 재료 및 용접 조건을 적절하게 제어할 필요가 있다. 용접 재료 성분은, 당연히 필요로 하는 용접 금속 성분에 의해 제약을 받고, 또한 소정의 탄화물 형태를 얻기 위해서는, 용접 조건 및 용접 재료 성분이 적절하게 제어되어야 한다.
- [0063] 예를 들어, SMAW에 있어서의 바람직한 용접 조건은, 용접 입열량이 3.0kJ/mm 이하이며, 또한 용접 시의 예열-패스간 온도가 250℃ 이하이다. 이들 용접 조건에 있어서, 소정의 용접 금속을 얻기 위해서는, 용접봉을 제조할 때에, 심선의 Mo 함유량을 1.20% 이하(바람직하게는 1.1% 이하, 보다 바람직하게는 1.0% 이하), 심선의 Cr 함유량을 2.30% 이하(바람직하게는 2.28% 이하, 보다 바람직하게는 2.26% 이하)로 함과 함께, 피복제의 Si/SiO₂비를 1.0 이상(바람직하게는 1.1 이상, 보다 바람직하게는 1.2 이상), 피복제의 Mo 함유량을 1.2% 이하(바람직하게는 1.1% 이하, 보다 바람직하게는 1.0% 이하)로 하면 된다.
- [0064] 심선의 Mo 함유량 및 Cr 함유량 및 피복제의 Mo 함유량이, 상기한 바람직한 범위를 초과하면, 용접 시의 냉각 과정에서 M₂₃C₆ 탄화물이나 M₆C 탄화물의 핵으로 되는 입계 탄화물이 생성되고, 큰 사이즈의 입계 탄화물 개수가 소정의 값을 상회하게 된다. 특히, M₆C 탄화물은 조대화되기 쉬우므로, M₆C 탄화물의 주 구성 원소인 Mo는 엄격하게 관리될 필요가 있다. 또한, 피복제의 Si/SiO₂비가 1.0을 하회하면, 시멘타이트 생성을 억제하는 용접 금속 중의 고용 Si가 감소하게 된다. 그 결과, 용접 시의 냉각 과정에서 입계에 시멘타이트가 생성되고, 상기한 바와 마찬가지로 큰 사이즈의 입계 탄화물 개수가 소정의 값을 상회하게 된다.
- [0065] 또한, 용접 금속 중의 조대한(원 상당 직경 2μm 초과) 산화물을 100개/mm² 이하로 하기 위해서는, 피복제 중의 MgO 함유량을 2.0% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 피복제 중의 MgO는, 용접 금속에 있어서 조대 산화물이 생성되는 것을 억제하는 효과가 있다. 그 이유에 대해서는, 분명하지는 않지만, 용접 금속 중에 있어서의 탈산 원소와 프리 원소의 밸런스를 변화시킴으로써, 미세 산화물의 생성을 촉진할 수 있기 때문이라고 생각된다. 이러한 효과를 발휘시키기 위해, 피복제 중의 MgO량은 2.0% 이상이 바람직하고, 보다 바람직하게는 2.1% 이상, 더욱 바람직하게는 2.2% 이상이다. 피복제 중의 MgO량의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 5.0% 정도이다.
- [0066] SMAW에 있어서의 입열량이 3.0kJ/mm를 상회하거나, 혹은 예열-패스간 온도가 250℃를 상회하면, 용접 금속 조직이 조대해지고, 탄화물의 핵 생성 사이트로 되는 입계가 감소하는 결과, 큰 사이즈의 입계 탄화물이 증가하게 된다. 단, SMAW에 있어서의 입열량이 지나치게 작아지거나, 예열-패스간 온도가 지나치게 낮아지면, 용접 금속의 강도가 과대해지고, SR 어닐링 후의 인성을 확보하는 것이 곤란해지므로, 입열량은 2.3kJ/mm 이상, 예열-패스간 온도는 190℃ 이상으로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0067] 상기한 바와 같은 조건에 따라 용접 금속을 형성함으로써, 우수한 내템퍼링 취화 특성을 발휘함과 함께, 인성, 내SR 균열성, 강도 등의 특성에 있어서 우수한 용접 금속이 얻어지고, 이러한 용접 금속을 구비한 용접 구조체를 실현할 수 있다.
- [0068] 실시예
- [0069] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 더욱 상세하게 설명하지만, 하기 실시예는 본 발명을 한정하는 성질의 것이 아니라, 전·후술의 취지에 적합할 수 있는 범위에서 적당하게 변경하여 실시하는 것도 가능하며, 그들은 모두 본

발명의 기술적 범위에 포함된다.

- [0070] 하기의 성분을 갖는 모재를 이용하고, 후술하는 각 용접 조건에서 용접 금속을 제작하고, 열처리를 실시한 후, 각종 특성을 평가하였다.
- [0071] [모재 조성(질량%)]
- [0072] C:0.12%, Si:0.23%, Mn:0.48%, P:0.004%, S:0.005%, Cu:0.04%, Al:<0.002%, Ni:0.08%, Cr:2.25%, Mo:0.99%, V:0.004%, Ti:0.002%, Nb:0.005%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0073] [용접 조건]
- [0074] 용접 방법:피복 아크 용접(SMAW)
- [0075] 모재 판 두께:20mm
- [0076] 개선 각도:20° (V자형)
- [0077] 루트 간격:19mm
- [0078] 용접 자세:하향
- [0079] 심선 직경:5.0mm φ (피복제의 조성은 하기 표 1~3에 나타냄)
- [0080] 입열 조건
- [0081] 가) 2.3kJ/mm(215A-27V, 2.5mm/초)
- [0082] 나) 2.7kJ/mm(215A-27V, 2.2mm/초)
- [0083] 다) 3.0kJ/mm(220A-27V, 2.0mm/초)
- [0084] 라) 3.2kJ/mm(225A-28V, 2.0mm/초)
- [0085] 예열-패스간 온도:190~260℃
- [0086] 적층 방법:1층 2패스(합계 8층)
- [0087] (사용 심선 조성)
- [0088] 조성 a(질량%) C:0.07%, Si:0.13%, Mn:0.50%, Cu:0.03%, Ni:0.02%, Cr:2.26%, Mo:1.03%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0089] 조성 b(질량%) C:0.08%, Si:0.13%, Mn:0.48%, Cu:0.03%, Ni:0.02%, Cr:2.29%, Mo:1.15%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0090] 조성 c(질량%) C:0.05%, Si:0.20%, Mn:0.45%, Cu:0.04%, Ni:0.02%, Cr:1.39%, Mo:0.55%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0091] 조성 d(질량%) C:0.09%, Si:0.15%, Mn:0.49%, Cu:0.04%, Ni:0.03%, Cr:2.31%, Mo:1.10%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0092] 조성 e(질량%) C:0.08%, Si:0.18%, Mn:0.50%, Cu:0.03%, Ni:0.03%, Cr:2.28%, Mo:1.22%(잔량부:철 및 불가피적 불순물)
- [0093] [열처리]
- [0094] (SR 어닐링 처리)
- [0095] 얻어진 용접 금속에, SR 어닐링 처리로서 705℃에서 8시간의 열처리를 실시하였다. SR 어닐링 처리는, 공시재를 가열하고, 공시재의 온도가 300℃를 초과하면, 승온 속도가 매시 55℃(55℃/시) 이하로 되도록 가열 조건을 조정하고, 공시재의 온도가 705℃에 도달할 때까지 가열하였다. 그리고, 705℃에서 8시간 유지한 후, 공시재의 온도가 300℃ 이하로 될 때까지, 냉각 속도가 55℃/시 이하로 되도록 공시재를 냉각하였다. 또한, 이 SR 어닐링 처리에 있어서, 공시재의 온도가 300℃ 이하인 온도 영역에서는, 승온 속도 및 냉각 속도는 규정하지 않는다.

- [0096] (스텝 쿨링)
- [0097] SR 어닐링 처리 후의 공시체에 취화 촉진 처리로서의 스텝 쿨링을 실시하였다. 도 1은 온도를 종축에 취하고, 시간을 횡축에 취하여, 스텝 쿨링 처리 조건을 나타내는 그래프이다. 도 1에 나타내는 바와 같이, 스텝 쿨링은, 공시체를 가열하고, 공시체의 온도가 300℃를 초과하면, 온도 상승이 매시 50℃(50℃/시) 이하로 되도록 가열 조건을 조정하여, 공시체의 온도를 593℃에 도달할 때까지 가열하고, 그 온도에서 1시간 유지한다. 그 후, 마찬가지로의 요령으로, 538℃에서 15시간, 524℃에서 24시간, 496℃에서 60시간 유지하지만, 이들 냉각 단계에 있어서는 매시 5.6℃의 온도로 시험편이 냉각되도록 조정한다. 또한, 496℃에서 유지된 시험편을, 매시 2.8℃(2.8℃/시)로 냉각하여 468℃로 하고, 이 온도에서 100시간 유지한다. 그리고, 공시체의 온도가 300℃ 이하로 될 때까지, 온도 강하가 매시 28℃(28℃/시) 이하로 되도록 공시체를 냉각한다. 또한, 이 스텝 쿨링 처리에 있어서, SR 어닐링 처리와 마찬가지로, 공시체의 온도가 300℃ 이하인 온도 영역에서는, 승온 속도 및 냉각 속도는 규정하지 않는다.
- [0098] [평가 특성]
- [0099] (원 상당 직경이 0.5 μ m 초과인 입계 탄화물의 개수)
- [0100] 상기에서 705℃ \times 8시간의 SR 어닐링 처리를 실시한 용접 금속의 최종 패스 중앙부로부터 레플리카 TEM 관찰용 시험편을 채취하고, 750배에서 13.3 \times 15.7 μ m의 시야를 갖는 화상을 4매 촬영하였다. 화상 해석 소프트웨어(「Image-Pro Plus」 Media Cybernetics사제)에 의해, 원 상당 직경:0.50 μ m 초과의 탄화물을 선택한 후에, 입계에 존재하는 탄화물의 개수를 산출하였다. 이때, 하기의 방법으로 탄화물 형태의 해석을 행하였다.
- [0101] (1)길이가 6 μ m이며, 원 상당 직경으로 하여 0.5 μ m 초과의 탄화물의 적어도 3개와 교차하는 직선 Ai(i=1, 2, 3...n, n:직선의 총 개수)를 선정한다(도 2a, 도 2b).
- [0102] (2)상기 직선 Ai와 교차하는 원 상당 직경이 0.5 μ m 초과인 탄화물을 선정한다(도 2c).
- [0103] (3)직선 Ai 상에서 인접하는 탄화물의 외접 사각형의 중심을 직선 Bi(i=1, 2, 3...m, m:직선의 총 개수)로 연결하고(도 2d), 각 탄화물 중, 원 상당 직경이 0.5 μ m 초과인 탄화물인 것의 개수를, 직선 B1~Bm의 합계 길이(μ m)로 나눈 값을, 「용접 금속 중의 입계에 존재하는 탄화물 중, 원 상당 직경으로 0.5 μ m 초과인 탄화물의 단위 입계당(입계 길이 μ m당) 개수」라고 정의한다.
- [0104] (원 상당 직경이 2 μ m 초과인 산화물의 개수)
- [0105] 상기에서 705℃ \times 8시간의 SR 어닐링 처리를 실시한 용접 금속의 최종 패스 중앙부를 경면 연마하고, 배율 1000배로 0.037 μ m²의 화상을 4매 촬영하였다. 촬영한 화상에 있어서의 산화물의 사이즈, 개수 밀도를 화상 해석 소프트웨어(「Image-Pro Plus」 Media Cybernetics사제)에 의해 해석하고, 원 상당 직경이 2 μ m 초과인 산화물을 선택한 후에, 4매 각각에 대해 그들의 1mm²당 개수를 산출하고, 산술 평균값을 계산하였다. 또한, 경면 연마하여 관찰되는 개재물은 모두 산화물이라고 판단된다.
- [0106] (강도)
- [0107] 705℃ \times 32시간의 SR 어닐링 처리를 실시한 용접 금속의 판 두께 표면으로부터 10mm 깊이의 위치로부터, 도 3에 기초하여 용접선 방향으로 인장 시험편(JIS Z3111 A2호)을 채취하고, 실온(25℃)에 있어서, JIS Z 2241의 요령으로, 인장 강도 TS를 측정하였다.
- [0108] 인장 강도 TS>600MPa을 강도가 우수하다고 평가하였다.
- [0109] (인성)
- [0110] 705℃ \times 8시간의 SR 어닐링 처리를 실시한 용접 금속의 판 두께 중앙부로부터, 도 4에 기초하여 용접선 방향에 수직으로 샤르피 충격 시험편(JIS Z3111 4호 V 노치 시험편)을 채취하고, JISZ 2242의 요령으로, 샤르피 충격 시험을 실시하고, 3회의 흡수 에너지의 평균값이 54J로 되는 온도 vTr₅₄를 측정하였다. vTr₅₄가 -50℃ 이하일 때에 인성이 우수하다고 평가하였다. 또한 705℃ \times 8시간의 SR 어닐링 처리 후에 스텝 쿨링을 실시한 용접 금속에 대해, 마찬가지로의 요령으로, 흡수 에너지의 평균값이 54J로 되는 온도 vTr'₅₄를 측정하였다. vTr'₅₄가 -50℃ 이하일 때에 인성이 우수하다고 평가하였다.
- [0111] (내템퍼링 취화 특성)

- [0112] 상기에서 측정된 vTr_{54} 와 vTr'_{54} 의 차 ΔvTr_{54} 가 5°C 이하일 때에 [$\Delta vTr_{54} = vTr'_{54} - vTr_{54} \leq 5^{\circ}\text{C}$], 내템퍼링 취화 특성 인성이 우수하다고 평가하였다. 또한, ΔvTr_{54} 가 「 0°C 」로 되는 것은, 템퍼링 취화가 거의 발생하지 않는 우수한 용접 금속이다.
- [0113] (내SR 균열성)
- [0114] 용접 금속의 최종 패스(원질부)로부터, 슬릿 사이즈=0.5mm의 링 균열 시험편을 하기에 기초하여 채취하였다. $625^{\circ}\text{C} \times 10$ 시간의 SR 어닐링 처리를 실시하고, 시험편 6개(관찰면 $3 \times$ 시험수 2) 모두, 노치 저부 근방에 균열이 발생하지 않은 경우를 내SR 균열성이 우수하다(평가 ○)고 평가하고, 균열이 발생한 경우를 내SR 균열성이 떨어진다(평가 ×)고 평가하였다.
- [0115] 이때, 내SR 균열성의 평가 방법으로서, 링 균열 시험의 개요를 이하에 개시한다. 도 5a에 시험편의 채취 위치, 도 5b에 시험편의 형상을 도시한다. U 노치 바로 아래 조직이 원질부로 되도록, 최종 비드 표면 바로 아래로부터 채취하고, 슬릿 사이즈(폭)는 0.5mm로 한다. 슬릿 폭이 0.05mm로 될 때까지 압축하고, 슬릿부를 TIG 용접하고, 노치 저부에 인장 잔류 응력을 부하한다. TIG 용접 후의 시험편을 머플로에서 $625^{\circ}\text{C} \times 10$ 시간의 SR 어닐링 처리를 실시하고, SR 어닐링 처리 후, 도 5c에 도시하는 바와 같이, 시험편을 3등분하여 채취하고(관찰면 1~3), 그 단면(노치 저부 부근)을 광학 현미경으로 관찰하고, SR 균열 발생 상황을 관찰하였다.
- [0116] 용접 금속을 형성하였을 때에 이용한 각종 피복제의 화학 성분 조성을, 하기 표 1~3에 나타낸다(피복제 No.B1~42, BA~BG). 또한 형성된 용접 금속의 화학 성분 조성을, 용접 조건(피복제 No. 입열 조건, 심선 종류, 예열-패스간 온도) 및 A값과 함께, 하기 표 4~6에 나타낸다(시험 No.1~44, A~G). 또한, 각 용접 금속의 평가 특성 결과[입계 탄화물 개수, 인장 강도 TS, 인성(vTr_{54} , vTr'_{54}), 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr_{54}), 내SR 균열성]를, A값과 함께 하기 표 7~9에 나타내고(시험 No.1~44, A~G), 표 9에는 또한 원 상당 직경 $2\mu\text{m}$ 초과 의 산화물 개수도 병기하였다. 또한, 표 9에 있어서의 시험 No.1, 3~8은, 표 4 및 7에 있어서의 시험 No.1, 3~8과 동일한 것이다.

표 1

No.	외분계											외분계의 화학 성분 조성(중량%)											기타
	CaO	CO ₂	CaF ₂	C	Si	SiO ₂	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Cu	Ni	B	W	Al	Ti	MgO	Si/SiO ₂				
B1	23	22	21	0.085	3.4	2.9	2.6	0.2	-	1.12	0.108	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.2	21			
B2	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.8	0.4	0.05	1.27	0.195	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20			
B3	23	22	21	0.085	3.7	2.7	2.7	0.4	-	1.27	0.122	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.4	20			
B4	23	22	21	0.080	3.2	2.9	2.6	0.7	-	1.12	0.220	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.1	21			
B5	23	22	21	0.080	3.4	2.6	2.6	0.1	-	1.27	0.108	-	-	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.3	21			
B6	23	22	21	0.080	3.7	2.9	2.5	0.4	-	1.27	0.122	-	-	0.06	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20			
B7	23	22	21	0.155	3.7	2.9	2.5	1.4	0.10	1.40	0.108	0.2	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.3	19			
B8	23	22	21	0.075	3.4	2.9	2.7	0.2	-	1.27	0.195	-	0.3	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.2	20			
B9	23	22	21	0.080	3.4	2.9	2.7	0.4	-	1.27	0.108	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.2	21			
B10	23	22	21	0.080	2.8	2.3	2.6	1.4	-	1.12	0.108	-	-	0.06	-	0.1	0.004	1.95	1.2	21			
B11	23	22	21	0.080	4.0	2.9	2.1	2.2	-	1.40	0.108	0.1	0.6	0.05	0.7	0.1	0.004	1.95	1.4	17			
B12	23	22	21	0.080	4.0	2.7	3.0	0.4	-	1.12	0.220	-	-	0.03	-	0.1	0.080	1.95	1.5	20			
B13	23	22	21	0.135	3.3	2.7	2.6	1.5	1.11	0.81	0.195	0.6	0.3	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.2	18			
B14	23	22	21	0.175	3.7	2.9	2.5	1.5	-	1.27	0.146	0.3	0.3	0.03	-	0.1	0.060	1.95	1.3	19			
B15	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.8	0.3	-	1.45	0.108	-	-	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20			
B16	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.7	2.2	-	1.40	0.108	-	-	0.15	0.7	0.8	0.004	1.95	1.3	17			
B17	23	22	21	0.085	3.1	2.9	3.0	1.4	0.20	1.40	0.098	1.1	-	0.05	-	0.1	0.030	1.95	1.1	18			
B18	23	22	21	0.085	3.7	2.6	2.6	0.7	-	1.27	0.098	-	-	0.13	-	0.1	0.004	1.95	1.4	20			
B19	23	22	21	0.085	4.0	3.3	2.6	0.2	-	1.27	0.288	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.2	20			
B20	23	22	21	0.085	3.4	2.9	2.6	0.4	-	1.00	0.220	-	-	0.03	0.3	0.1	0.060	1.95	1.2	20			
B21	23	22	21	0.155	3.7	2.9	2.5	0.1	-	1.00	0.108	-	1.0	0.11	-	0.6	0.004	1.95	1.3	19			

*기타: SrO, BaF₂ 등

표 2

시료 No.	과몰재의 화학 성분(원량%)																				기타
	CaO	CO ₂	CaF ₂	C	Si	SiO ₂	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Cu	Ni	B	W	Al	Ti	MgO	Si/SiO ₂		
B22	23	22	21	0.085	4.0	2.9	2.7	0.3	-	1.00	0.108	-	-	0.03	0.2	0.1	0.004	1.95	1.4	20	
B23	23	22	21	0.155	3.7	2.9	2.8	0.2	-	1.12	0.108	-	-	0.03	1.0	0.1	0.004	1.95	1.3	19	
B24	23	22	21	0.155	3.1	2.9	2.9	0.1	0.15	1.27	0.146	-	-	0.18	-	0.8	0.004	1.95	1.1	20	
B25	23	22	21	0.175	3.7	2.9	2.9	0.7	0.10	1.12	0.146	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20	
B26	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.6	0.4	-	1.27	0.108	-	-	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20	
B27	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.6	0.4	-	1.27	0.108	-	-	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20	
B28	23	22	21	0.155	3.7	2.9	2.6	0.7	0.20	1.00	0.095	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.3	20	
B29	23	22	21	0.165	3.3	2.7	2.7	2.7	1.41	1.27	0.108	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.2	17	
B30	23	22	21	0.085	3.0	3.5	2.7	0.1	-	1.27	0.122	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	0.9	21	
B31	23	22	21	0.060	2.8	2.9	2.6	0.7	-	1.27	0.108	-	-	0.05	-	0.1	0.004	1.95	1.0	23	
B32	23	22	21	0.190	3.3	2.9	3.3	0.2	0.25	1.12	0.146	-	-	0.03	-	0.1	0.004	1.95	1.1	22	
B33	23	22	21	0.135	3.8	2.8	1.9	1.5	0.98	0.75	0.240	-	-	0.03	-	1.0	0.004	1.95	1.4	20	
B34	23	22	21	0.135	4.5	3.1	2.6	1.4	1.28	1.27	0.195	-	-	0.06	-	0.8	0.004	1.95	1.5	18	
B35	23	22	21	0.175	3.7	2.9	2.7	2.6	-	1.45	0.122	-	-	0.06	-	0.1	0.110	1.95	1.3	20	
B36	23	22	21	0.180	3.3	2.7	2.6	2.7	0.81	1.12	0.108	0.2	-	0.06	1.5	0.1	0.004	1.95	1.2	18	
B37	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.7	0.5	-	1.73	0.122	0.1	0.2	0.22	-	0.10	0.004	1.95	1.3	21	
B38	23	22	21	0.080	3.7	2.9	2.6	0.2	-	1.12	0.087	-	-	0.05	-	0.10	0.004	1.95	1.3	23	
B39	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.7	0.7	-	1.00	0.344	0.1	-	0.03	-	0.10	0.004	1.95	1.3	22	
B40	23	22	21	0.085	3.7	2.9	2.7	0.2	-	1.27	0.108	-	-	0.03	-	0.10	0.004	1.95	1.3	22	
B41	23	22	21	0.080	3.7	2.6	2.8	0.1	-	1.27	0.122	1.2	-	0.11	-	0.10	0.004	1.95	1.4	21	
B42	23	22	21	0.085	3.4	2.9	2.7	0.4	-	1.32	0.195	-	-	1.2	0.03	-	0.10	0.004	1.95	1.2	21

*기타 : SrO, BaF₂ 등

표 3

피복재 No.	피복재의 화학 성분 조성(질량%)																	기타			
	CaO	CO ₂	CaF ₂	C	Si	SiO ₂	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Cl	Ni	B	W	Al	Ti		MgO	Si/SiO ₂	
BA	23	22	21	0.085	3.4	2.9	2.6	0.2	-	1.10	0.105	-	-	0.03	-	0.1	0.004	2.30	1.2	21	
BB	23	22	21	0.085	3.7	2.7	2.7	0.4	-	1.25	0.119	-	-	0.03	-	0.1	0.004	2.29	1.4	20	
BC	23	22	21	0.080	3.2	2.9	2.6	0.7	-	1.10	0.218	-	-	0.03	-	0.1	0.004	2.30	1.1	20	
BD	23	22	21	0.080	3.4	2.6	2.6	0.1	-	1.22	0.105	-	-	0.03	-	0.1	0.004	2.05	1.3	21	
BE	23	22	21	0.080	3.8	2.9	2.5	0.4	-	1.24	0.118	-	-	0.06	-	0.1	0.004	2.18	1.3	20	
BF	23	22	21	0.155	3.7	2.9	2.6	1.4	0.10	1.40	0.104	0.2	-	0.03	-	0.1	0.004	2.25	1.3	19	
BG	23	22	21	0.075	3.4	2.9	2.7	0.2	-	1.25	0.190	-	-	0.3	0.03	-	0.1	0.004	2.28	1.2	20

*기타 : SiO₂, BaF₂ 등

표 4

시험 No.	외부세 조건	입원 온도(°C)	유리 금속의 화학 성분 조성** (질량%)																A값
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	N	O	Ca	Ni	B	W	Al	Ti		
1	B1	가	200	0.09	0.26	0.98	2.11	1.00	0.34	0.019	0.015	0.036	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.02	0.13	
2	B2	가	200	0.08	0.28	1.12	2.22	1.05	0.38	0.028	0.014	0.038	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.02	0.14	
3	B3	가	200	0.08	0.28	1.02	2.18	1.02	0.37	0.020	0.015	0.038	0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.02	0.14	
4	B4	나	210	0.07	0.22	0.91	2.33	0.98	0.32	0.035	0.014	0.032	0.03	0.03	<0.01	<0.01	<0.02	0.12	
5	B5	가	230	0.08	0.28	0.93	1.94	1.05	0.36	0.021	0.013	0.033	0.03	0.03	0.0011	<0.01	<0.02	0.15	
6	B6	가	200	0.07	0.27	0.89	2.21	1.02	0.38	0.020	0.013	0.034	0.04	0.04	0.0018	<0.01	<0.01	<0.02	0.14
7	B7	가	190	0.10	0.31	0.87	2.42	1.08	0.42	0.019	0.013	0.033	0.15	0.03	<0.001	<0.01	<0.02	0.15	
8	B8	나	210	0.06	0.25	1.01	2.16	1.05	0.37	0.028	0.016	0.041	0.03	0.21	<0.001	<0.01	<0.02	0.14	
9	B9	가	200	0.08	0.27	1.00	2.18	1.04	0.36	0.018	0.015	0.036	0.05	0.04	<0.001	<0.01	<0.02	0.14	
10	B10	가	200	0.07	0.11	0.95	2.46	1.02	0.35	0.018	0.014	0.032	0.03	0.03	0.0015	<0.01	<0.01	<0.02	0.12
11	B11	다	210	0.07	0.33	0.68	2.77	1.03	0.44	0.018	0.011	0.033	0.07	0.53	0.0013	0.23	<0.01	<0.02	0.14
12	B12	다	220	0.09	0.42	1.27	2.20	1.02	0.30	0.033	0.012	0.022	0.04	0.05	<0.001	<0.01	0.017	0.12	
13	B13	가	240	0.09	0.29	0.92	1.82	0.83	0.26	0.025	0.012	0.038	0.44	0.18	0.0013	<0.01	<0.01	<0.02	0.12
14	B14	나	210	0.14	0.28	0.90	2.51	1.02	0.38	0.022	0.013	0.028	0.26	0.30	<0.01	<0.01	0.009	0.13	
15	B15	가	200	0.09	0.28	1.05	2.16	1.02	0.46	0.018	0.011	0.033	0.03	0.04	0.0012	<0.01	<0.01	<0.02	0.18
16	B16	가	210	0.08	0.29	0.97	2.83	1.02	0.41	0.018	0.014	0.031	0.02	0.05	0.0035	0.026	0.022	<0.02	0.13
17	B17	나	200	0.09	0.18	1.13	2.44	1.17	0.41	0.010	0.013	0.035	0.92	0.04	0.0013	<0.01	<0.01	0.005	0.14
18	B18	다	210	0.10	0.29	0.98	2.58	1.05	0.35	0.012	0.013	0.033	0.03	0.04	0.0026	<0.01	<0.01	<0.02	0.12
19	B19	나	200	0.08	0.38	0.95	2.12	1.02	0.38	0.043	0.013	0.034	0.04	<0.02	<0.001	<0.01	<0.01	<0.02	0.15
20	B20	나	200	0.07	0.27	0.94	2.20	0.99	0.32	0.035	0.023	0.037	0.03	0.03	<0.001	0.11	<0.01	0.011	0.13
21	B21	나	200	0.11	0.28	0.90	2.05	1.02	0.30	0.018	0.015	0.030	<0.02	0.88	0.0022	<0.01	0.018	<0.02	0.12
22	B22	나	200	0.09	0.35	1.00	2.16	1.04	0.30	0.018	0.011	0.032	<0.02	0.03	<0.001	0.05	<0.01	<0.02	0.12

**정량부: 질 및 불가피적 불순분

[0120]

표 5

시험 No.	외부계 입열 조건	입열 종류	제열-해스칸 온도(°C)	유점 금속의 화학 성분 조성**(원량%)														A값		
				C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	N	O	Cu	Ni	B	W	Al		Ti	
23	B23	나	a	200	0.12	0.30	1.07	2.06	0.94	0.017	0.022	0.043	0.03	<0.02	<0.001	0.32	<0.01	<0.002	0.14	
24	B24	나	a	200	0.11	0.21	1.13	2.02	1.12	0.36	0.022	0.014	0.028	0.03	0.0046	<0.01	0.025	<0.002	0.14	
25	B25	가	a	230	0.13	0.31	1.18	2.30	1.07	0.33	0.025	0.012	0.039	0.04	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.12	
26	B1	라	a	200	0.09	0.27	0.96	2.10	1.01	0.34	0.019	0.012	0.034	<0.02	<0.02	<0.001	<0.01	<0.002	0.13	
27	B1	가	a	260	0.09	0.26	0.96	2.09	0.98	0.33	0.020	0.012	0.033	<0.02	<0.02	<0.001	<0.01	<0.002	0.13	
28	B26	가	d	200	0.08	0.33	0.96	2.25	1.02	0.38	0.015	0.013	0.035	0.02	0.03	0.0011	<0.01	<0.002	0.14	
29	B27	나	e	200	0.08	0.28	0.96	2.26	1.12	0.40	0.018	0.013	0.037	0.04	0.03	0.0013	<0.01	<0.002	0.15	
30	B28	가	a	210	0.11	0.28	0.97	2.35	1.15	0.31	0.013	0.013	0.035	0.03	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.11	
31	B29	가	c	200	0.10	0.29	1.03	2.21	1.04	0.38	0.022	0.015	0.036	0.04	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.14	
32	B30	가	a	200	0.08	0.28	0.99	2.05	1.02	0.38	0.020	0.014	0.042	0.04	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.15	
33	B31	가	a	210	0.04	0.14	0.94	2.33	1.03	0.37	0.019	0.014	0.061	0.03	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.13	
34	B32	나	a	200	0.16	0.24	1.31	2.10	1.22	0.33	0.023	0.014	0.037	0.03	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.13	
35	B33	가	c	220	0.09	0.38	0.57	1.81	0.85	0.24	0.038	0.012	0.022	0.03	0.03	<0.001	<0.01	0.033	<0.002	0.12
36	B34	가	c	200	0.08	0.53	0.92	1.76	1.02	0.36	0.025	0.011	0.019	0.02	0.04	0.0015	<0.01	0.028	<0.002	0.16
37	B35	다	a	200	0.13	0.29	0.95	3.05	1.03	0.45	0.021	0.016	0.031	0.03	0.05	0.0014	0.53	<0.01	0.022	0.13
38	B36	가	c	210	0.11	0.28	0.95	2.19	0.77	0.33	0.020	0.015	0.033	0.15	0.03	0.0015	<0.01	<0.002	0.13	
39	B37	나	a	230	0.08	0.28	0.97	2.28	1.04	0.52	0.020	0.014	0.034	0.05	0.15	0.0053	<0.01	<0.002	0.19	
40	B38	가	b	200	0.07	0.29	0.95	2.16	1.03	0.33	0.008	0.015	0.037	0.04	0.04	0.0013	<0.01	<0.002	0.13	
41	B39	다	a	200	0.08	0.29	0.96	2.30	1.02	0.31	0.053	0.016	0.032	0.11	0.04	<0.001	<0.01	<0.002	0.12	
42	B40	가	a	200	0.07	0.28	0.96	2.11	1.02	0.37	0.019	0.026	0.029	0.03	0.05	<0.001	<0.01	<0.002	0.15	
43	B41	가	b	200	0.08	0.28	1.11	1.99	1.02	0.36	0.022	0.013	0.033	1.05	0.05	0.0020	<0.01	<0.002	0.15	
44	B42	가	a	200	0.08	0.26	1.06	2.18	1.02	0.41	0.027	0.015	0.035	0.02	1.08	<0.001	<0.01	<0.002	0.16	

* A값 범위: 철 및 철기외적 불순물

표 6

시험 No.	외부계 No.	입원 조건	실선 종류	예열-재스전 온도(°C)	용질 금속의 화학 성분 조성***(단위%)														A값	
					C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	N	O	Cu	Ni	B	W	Al		Ti
A	BA	가	a	220	0.09	0.26	1.01	2.12	1.00	0.34	0.020	0.016	0.038	<0.02	<0.02	<0.001	<0.01	<0.01	<0.002	0.13
B	BB	가	a	220	0.07	0.27	1.03	2.20	1.01	0.37	0.020	0.015	0.037	0.03	<0.02	<0.001	<0.01	<0.01	<0.002	0.14
C	BC	가	a	220	0.07	0.22	0.92	2.31	0.99	0.33	0.034	0.015	0.033	0.03	<0.02	<0.001	<0.01	<0.01	<0.002	0.12
D	BD	가	b	220	0.08	0.29	0.95	1.96	1.04	0.36	0.019	0.014	0.033	<0.02	0.03	0.0011	<0.01	<0.01	<0.002	0.15
E	BE	가	a	220	0.07	0.27	0.88	2.20	1.04	0.38	0.020	0.014	0.036	0.04	0.03	0.0018	<0.01	<0.01	<0.002	0.14
F	BF	가	a	220	0.11	0.30	0.87	2.40	1.05	0.42	0.020	0.013	0.036	0.16	0.03	<0.001	<0.01	<0.01	<0.002	0.15
G	BG	가	b	220	0.06	0.25	0.99	2.15	1.03	0.38	0.028	0.016	0.042	0.03	0.21	<0.001	<0.01	<0.01	<0.002	0.15

**인양부 : 질 및 불기외적 불순물

표 7

시험 No.	A값	입계 탄화물 개수 (개/μm)	TS (MPa)	vTr ₅₄ (°C)	vTr' ₅₄ (°C)	ΔvTr ₅₄ (°C)	내SR 균열성
1	0.13	0.21	651	-54	-52	2	○
2	0.14	0.20	657	-55	-53	2	○
3	0.14	0.21	645	-56	-54	2	○
4	0.12	0.24	639	-54	-50	4	○
5	0.15	0.19	645	-55	-54	1	○
6	0.14	0.18	643	-56	-55	1	○
7	0.15	0.22	658	-53	-51	2	○
8	0.14	0.15	618	-57	-57	0	○
9	0.14	0.17	632	-56	-55	1	○
10	0.12	0.24	615	-53	-50	3	○
11	0.14	0.23	617	-54	-52	2	○
12	0.12	0.24	698	-53	-50	3	○
13	0.12	0.25	605	-55	-50	5	○
14	0.13	0.24	699	-53	-50	3	○
15	0.18	0.13	667	-55	-55	0	○
16	0.13	0.24	663	-54	-50	4	○
17	0.14	0.24	681	-53	-50	3	○
18	0.12	0.24	663	-54	-50	4	○
19	0.15	0.12	658	-56	-55	1	○
20	0.13	0.15	641	-54	-54	0	○
21	0.12	0.24	671	-54	-50	4	○
22	0.12	0.24	640	-53	-50	3	○

[0123]

표 8

시험 No.	A값	입계 탄화물 개수 (개/μm)	TS (MPa)	vTr ₅₄ (°C)	vTr' ₅₄ (°C)	ΔvTr ₅₄ (°C)	내SR 균열성
23	0.14	0.22	685	-53	-51	2	○
24	0.14	0.24	678	-54	-50	4	○
25	0.12	0.24	681	-53	-50	3	○
26	0.13	0.27	636	-46	-40	6	○
27	0.13	0.28	641	-45	-38	7	○
28	0.14	0.26	635	-43	-36	7	○
29	0.15	0.27	640	-49	-43	6	○
30	0.11	0.27	659	-44	-35	9	○
31	0.14	0.33	650	-42	-36	6	○
32	0.15	0.28	634	-43	-35	8	○
33	0.13	0.24	593	-40	-36	4	○
34	0.13	0.24	734	-43	-37	6	○
35	0.12	0.24	588	-35	-31	4	×
36	0.16	0.29	702	-42	-35	7	×
37	0.13	0.28	722	-38	-32	6	×
38	0.13	0.20	595	-56	-54	2	○
39	0.19	0.12	721	-48	-42	6	×
40	0.13	0.25	588	-54	-50	4	○
41	0.12	0.21	709	-45	-40	5	○
42	0.15	0.20	696	-41	-37	4	○
43	0.15	0.21	635	-45	-41	4	○
44	0.16	0.20	705	-46	-41	5	○

[0124]

표 9

시험 No.	A값	입계 탄화물 개수 (개/μm)	원 상당 직경 2μm 초과 산화물 개수 (개/mm ²)	TS (MPa)	vTr ₅₄ (°C)	vTr' ₅₄ (°C)	ΔvTr ₅₄ (°C)	내SR 균열성
1	0.13	0.21	115	651	-54	-52	2	○
3	0.14	0.21	128	645	-56	-54	2	○
4	0.12	0.24	108	639	-54	-50	4	○
5	0.15	0.19	115	645	-55	-54	1	○
6	0.14	0.18	122	643	-56	-55	1	○
7	0.15	0.22	122	658	-53	-51	2	○
8	0.14	0.15	142	618	-57	-57	0	○
A	0.13	0.20	27	650	-63	-60	3	○
B	0.14	0.20	27	652	-64	-62	2	○
C	0.12	0.24	0	645	-65	-60	5	○
D	0.15	0.20	88	642	-61	-58	3	○
E	0.14	0.16	54	648	-62	-60	2	○
F	0.15	0.23	7	661	-63	-59	4	○
G	0.15	0.16	47	619	-64	-61	3	○

[0125]

[0126]

[0127]

[0128]

[0129]

[0130]

[0131]

[0132]

[0133]

[0134]

표 1~9로부터 다음과 같이 고찰할 수 있다(또한, 하기 No.는, 표 4~9의 시험 No.를 나타냄). No.1~25는, 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 예이며, 우수한 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)을 발휘함과 함께, 인성, 내SR 균열성, 강도 등의 특성에 있어서 우수한 용접 금속이 얻어지고 있다.

한편, No.26~44는, 본 발명에서 규정하는 어느 하나의 요건을 벗어나는 예이다. 어느 하나의 특성이 떨어진다. 이 중, No.26은, 입열량이 높게 되어 있고(입열량이 3.2kJ/mm), 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다. No.27은, 예열-패스간 온도가 적정한 범위 보다도 높게 되어 있고, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다.

No.28, 29는, 심선의 성분 조성이 적절하지 않은 d, e를 이용하였으므로, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다. No.30은, A값이 작게 되어 있고, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다.

No.31은, 피복제의 Mo 함유량이 과잉으로 되어 있고, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다. No.32는, 피복제의 Si/SiO₂비가 적절하지 않은 B30을 이용하였으므로, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다.

No.33은, 용접 금속의 C 함유량이 부족함과 함께, O 함유량이 과잉으로 되어 있고, 강도가 부족함과 함께, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄)이 열화되어 있다. No.34는, 용접 금속의 C, Mn 및 Mo의 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄)이 열화되어 있다.

No.35는, 용접 금속의 Mn 함유량, V 함유량이 부족함과 함께, Al 함유량이 과잉으로 되어 있고, 강도가 부족함과 함께, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄) 및 내SR 균열성이 열화되어 있다. No.36은, 피복제의 Mo 함유량이 과잉으로 되어 있고, 또한 용접 금속의 Cr, O 함유량이 부족함과 함께, Si 함유량이 과잉으로 되어 있고, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄), 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄) 및 내SR 균열성 모두 열화되어 있다.

No.37은, 용접 금속의 Cr, W 및 Ti의 함유량이 과잉으로 되어 있고, 입계 탄화물의 개수가 증가하고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄), 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄) 및 내SR 균열성 모두 열화되어 있다. No.38은, 용접 금속의 Mo 함유량이 부족하고, 강도가 부족하다.

No.39는, 용접 금속의 V 및 B의 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄), 내템퍼링 취화 특성(ΔvTr₅₄) 및 내SR 균열성 모두 열화되어 있다. No.40은, 용접 금속의 Nb 함유량이 부족하고, 강도가 부족하다.

No.41은, 용접 금속의 Nb 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄)이 열화되어 있다. No.42는, 용접

금속의 N 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄)이 열화되어 있다.

[0135] No.43은, 용접 금속의 Cu 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄)이 열화되어 있다. No.44는, 용접 금속의 Ni 함유량이 과잉으로 되어 있고, 인성(vTr₅₄, vTr'₅₄)이 열화되어 있다.

[0136] 또한, 표 9에 있어서, 시험 No.1, 3~8은 본 발명의 바람직한 요건인 산화물의 규정을 만족하지 않는 예이며, 시험 No.A~G는 상기 산화물의 규정을 만족하는 예이다. 이들의 비교로부터, 조대한 산화물이 억제되면, SR 어닐링 후 및 스텝 쿨링 후의 인성이 모두 향상되는 것을 알 수 있다.

[0137] 본 발명을 상세하게 또한 특정한 실시 형태를 참조하여 설명하였지만, 본 발명의 정신과 범위를 이탈하는 일 없이 여러 가지 변경이나 수정을 가할 수 있는 것은 당업자에게 있어서 명백하다.

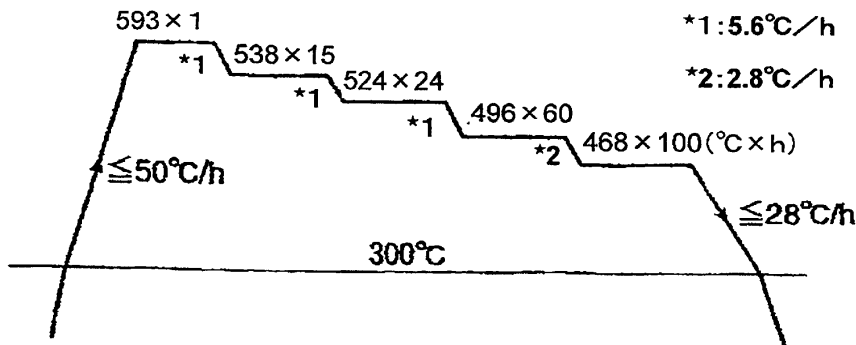
[0138] 본 출원은, 2011년 11월 21일 출원의 일본 특허 출원(일본 특허 출원 제2011-254318호), 2012년 2월 23일 출원의 일본 특허 출원(일본 특허 출원 제2012-37810호)에 기초하는 것이며, 그 내용은 여기에 참조로서 포함된다.

산업상 이용가능성

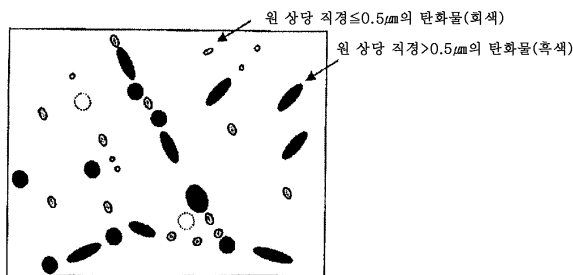
[0139] 본 발명의 용접 금속은, 보일러나 화학 반응 용기에 바람직하다.

도면

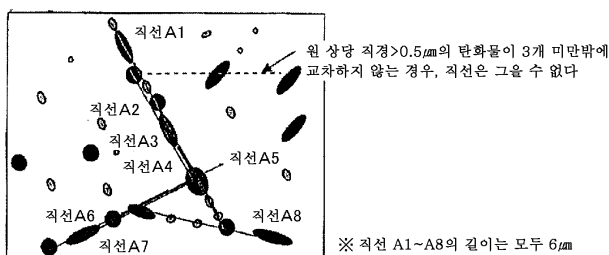
도면1



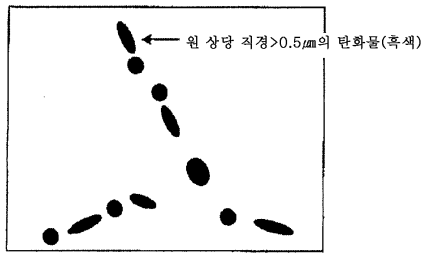
도면2a



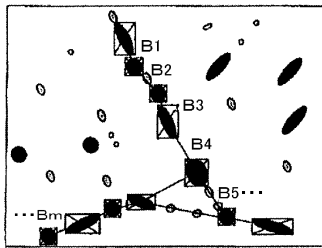
도면2b



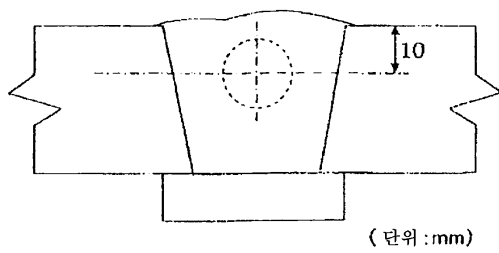
도면2c



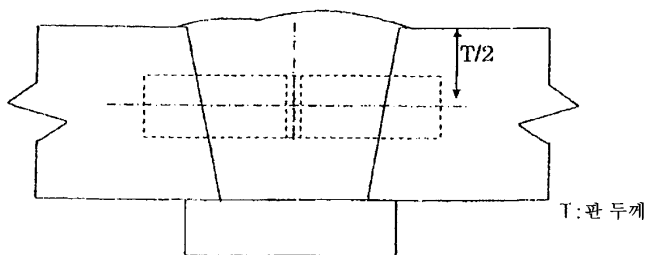
도면2d



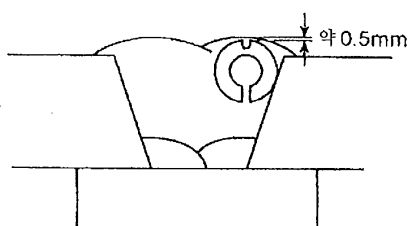
도면3



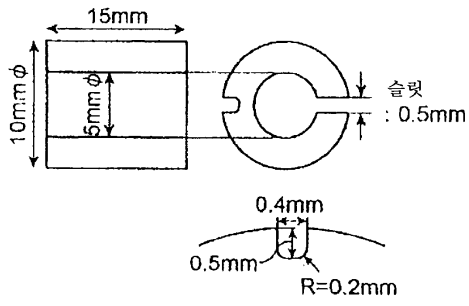
도면4



도면5a



도면5b



도면5c

