



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2010-0057504  
(43) 공개일자 2010년05월31일

- |   |  |
|---|--|
| <p>(51) Int. Cl.<br/>C22C 38/00 (2006.01) C21D 8/06 (2006.01)<br/>C22C 38/14 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2009-0112025</p> <p>(22) 출원일자 2009년11월19일<br/>심사청구일자 2009년11월19일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>JP-P-2008-298555 2008년11월21일 일본(JP)<br/>JP-P-2008-298556 2008년11월21일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인<br/>가부시키키가이샤 고베 세이코쇼<br/>일본 효고켄 고베시 주오쿠 와키노하마쵸 2쵸메 10반26고</p> <p>(72) 발명자<br/>야마구치 데츠오<br/>일본 효고켄 가코가와시 가나자와쵸 1반치 가부시키키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내<br/>테우라 데츠시<br/>일본 효고켄 고베시 니시쿠 다카츠카다이 1쵸메 5반 5고 가부시키키가이샤 고베 세이코쇼 고베 종합기술연구소 내<br/>(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인<br/>김창세</p> |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 14 항

**(54) 용접 열영향부의 인성이 우수한 강재, 및 그 제조 방법**

**(57) 요약**

본 발명의 HAZ 인성의 편차를 저감한 강재는, REM과 Zr을 함유하는 개재물을 포함하는 것 외에, 강재 중의 고용 REM과 고용 Zr이 고용 REM: 0.0010% 이하(0%를 포함함), 고용 Zr: 0.0010% 이하(0%를 포함함)를 만족한다. 이 강재로부터 얻어지는, 항복비가 80% 이하로 저감된 제 1 강압연재는, 베이나이트 및/또는 마르텐사이트와, 페라이트를 포함하고, 전체 조직에 차지하는 페라이트 분율이 4~24면적%인 조직을 가지며, 강압연재의 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 1을 만족하는 것이다. 하기 수학적 1 중, D는 EBSP법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경(μm)을 의미한다.

**수학적 1**

$35 \leq D$

또한, 이 강재로부터 얻어지는, 저온 인성이 향상된 제 2 강압연재는, 그 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 2와 수학적 3을 만족하는 것이다. 하기 수학적 3 중, M은 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강재 전체에서 차지하는 비율(면적%)을 의미한다.

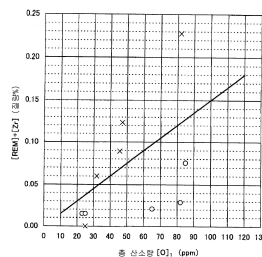
**수학적 2**

$D \leq 30$

**수학적 3**

$50 \leq M$

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**스기무라 도모코**

일본 효고켄 고베시 니시쿠 다카즈카다이 1쵸메 5  
반 5고 가부시키키가이샤 고베 세이코쇼 고베 종합기  
술연구소 내

**가네코 마사히토**

일본 효고켄 가코가와시 가나자와쵸 1반치 가부시  
키키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

강재로서,

C: 0.03~0.2%(「질량%」의 의미. 이하 동일),

Si: 0.5% 이하,

Mn: 2% 이하,

Ti: 0.03% 이하, 및

N: 0.01% 이하를 포함하고,

P: 0.02% 이하,

S: 0.015% 이하, 및

Al: 0.01% 이하를 만족함과 동시에,

추가로

REM: 0.0010~0.1%와, Zr: 0.0010~0.05%를 각각 함유하며,

잔부가 철 및 불가피 불순물로 이루어지고,

(A) 상기 강재는 REM과 Zr을 함유하는 개재물을 포함하는 것 외에,

(B) 강재 중의 고용 REM과 고용 Zr이

고용 REM: 0.0010% 이하,

고용 Zr : 0.0010% 이하를 만족하는

강재.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 강재에 포함되는 개재물의 조성을 측정하여, 이 개재물에 포함되는 원소 중 O, C, N, S 이외의 원소의 존재비를 물 환산하고, 환산 후의 원소량 전체를 1몰로 했을 때에, REM의 몰분율이 0.05 이상, Zr의 몰분율이 0.04 이상을 만족하는 강재.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

Mn: 1.0~2%인 강재.

### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

추가로 다른 원소로서,

Cu: 2% 이하,

Ni: 2% 이하,

Cr: 3% 이하,

Mo: 1% 이하,

Nb: 0.05% 이하,

V: 0.1% 이하, 및

B: 0.005% 이하

로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하는 강재.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

C: 0.04~0.13%,

Ti: 0.02% 이하이고,

추가로

Cu: 0.3% 이하,

Ni: 0.4% 이하, 및

Nb: 0.25% 이하로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 포함하는 강재.

#### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

추가로 다른 원소로서, B: 0.005% 이하를 포함하는 강재.

#### 청구항 7

제 3 항 또는 제 5 항에 있어서,

추가로 다른 원소로서, Ca: 0.01% 이하를 포함하는 강재.

#### 청구항 8

제 3 항에 기재된 강재를 압연함으로써 얻어지는 강압연재로서,

(C) 조직은 베이나이트 및/또는 마르텐사이트와, 페라이트를 포함하고, 전체 조직에서 차지하는 페라이트 분율이 4~24면적%이며, 베이나이트와 마르텐사이트의 합계 분율이 74면적% 이상 96면적% 미만이고,

(D) 강재의 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 1을 만족하는 강압연재.

수학적 1

$$35 \leq D$$

[단, 수학적 1 중, D는 EBSP법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다.]

#### 청구항 9

제 5 항에 기재된 강재를 압연함으로써 얻어지는 강압연재로서,

(E) 강재의 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 2와 수학적 3을 만족하는 강압연재.

수학적 2

$$D \leq 30$$

수학적 3

$$50 \leq M$$

[단, 수학적식 2 중, D는 EBSD법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다. 또한, 수학적식 3 중, M은 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강재 전체에서 차지하는 비율(면적%)을 의미한다.]

**청구항 10**

제 1 항에 기재된 강재의 제조 방법으로서,

총 산소량  $[O]_1$ 을 0.0020~0.015%의 범위로 조정된 용강에 REM과 Zr을 첨가하여 용존 산소량  $[O]_2$ 를 0.0010~0.0035%의 범위로 조정한 후, 주조(鑄造)하는 강재의 제조 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 총 산소량  $[O]_1$ 을 측정하고, 이 총 산소량  $[O]_1$ 에 따라 하기 수학적식 4를 만족하도록 REM과 Zr을 첨가하여 상기 용존 산소량  $[O]_2$ 를 조정하는 강재의 제조 방법.

수학적식 4

$$[\text{REM}] + [\text{Zr}] \leq 15 \times [O]_1$$

[단, 수학적식 4 중,  $[\text{REM}]$ 과  $[\text{Zr}]$ 은 각각 REM 또는 Zr의 첨가량(질량%)이며,  $[O]_1$ 은 REM과 Zr을 첨가하기 전의 용강의 총 산소량(질량%)이다.]

**청구항 12**

제 8 항에 기재된 강압연재의 제조 방법으로서,

제 10 항에 기재된 방법으로 얻어진 강재를, 압연 종료 온도가 870°C 이상이 되도록 열간 압연한 후, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역으로부터 담금질,

Ac<sub>1</sub>점~Ac<sub>3</sub>점의 온도역으로부터 담금질,

Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역에서 뜨임의 각 공정을 순차적으로 행하는 강압연재의 제조 방법.

**청구항 13**

제 9 항에 기재된 강압연재의 제조 방법으로서,

제 10 항에 기재된 방법으로 얻어진 강재를 Ac<sub>3</sub>점 이상, 1200°C 이하의 온도역으로 가열한 후, 강편의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10°C 이상, 900°C 이하인 온도역에 있어서는 1패스당의 최대 압하율을 12% 이하, 누적 압하율을 40% 이상으로 제어하여 열간 압연하고,

얻어진 열간 압연재의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점 이상인 온도역으로부터 열간 압연재의 표면 온도가 500°C 이하인 온도역까지 평균 냉각 속도 5°C/초 이상으로 냉각하는 강압연재의 제조 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 열간 압연재의 표면 온도가 500°C 이하인 온도역까지 냉각 속도 5°C/초 이상으로 냉각한 후, 500°C 이상, Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역으로 가열하여 뜨임을 행하는 강압연재의 제조 방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술 분야**

- [0001] 본 발명은 교량이나 고층 건조물, 선박 등의 구조물에 사용되는 강재에 관한 것으로, 상세하게는, 용접했을 때에 열영향을 받는 부위(이하, 「용접 열영향부」 또는 「HAZ」라고 하는 경우가 있음)의 인성을 개선한 강재, 및 그 제법에 관한 것이다.
- [0002] 교량이나 고층 건조물, 선박 등에 사용되는 강재에 요구되는 특성은 최근 점점 엄격해지고 있고, 특히 양호한 인성이 요청되고 있다. 이들 강재는 일반적으로 용접에 의해 접합되는 경우가 많은데, 용접 이음부 중 특히 HAZ는 용접시에 열영향을 받아 인성이 열화되기 쉽다고 하는 문제가 있다. 이 인성 열화는 용접시의 입열량이 커질수록 현저히 나타나고, 그 원인은 용접시의 입열량이 커지면 HAZ의 냉각 속도가 느려져 담금질성이 저하되어 조대한 석상 마르텐사이트를 생성하는 것에 있다고 생각되고 있다. 따라서 HAZ의 인성을 개선하기 위해서는, 용접시의 입열량을 극력 억제하면 좋다고 생각된다. 그러나 그 반면에, 용접 작업 효율을 높이기 위해서는, 예컨대 일렉트로슬래그 용접, 서브머지드 용접 등의 용접 입열량이 50kJ/mm 이상인 대입열 용접법의 채용이 요망된다.
- [0003] 그래서 본 출원인은 대입열 용접법을 채용한 경우의 HAZ 인성 열화를 억제하는 강재를 일본 특허공개 2007-100213호에서 제안하고 있다. 이 강재는 산화물로서 REM의 산화물 및/또는 CaO와, ZrO<sub>2</sub>를 함유하고 있는 데에 특징이 있고, 이러한 산화물은 용강 중에서는 액상으로 존재하기 때문에 강 중에 미세 분산되고, 더구나 용접시에는 열영향을 받아도 고용 소실되지 않기 때문에, HAZ의 인성 향상에 기여한다.
- [0004] 한편, HAZ 인성의 향상을 겨냥한 기술은 아니지만, 일본 특허공개 평8-120401호에는, 강재 중에 REM과 Zr 등의 원소를 함유시킴과 동시에, 고용 REM과 고용 Zr을 적극적으로 함유시킴으로써, 수소성의 초음파 탐상 결함을 방지하여 후(厚)강판의 내부 품질을 향상시킴과 동시에, 내부 품질의 건전성을 유지하는 기술이 제안되어 있다. 이 기술에서는, 안정된 고용량을 확보하기 위해 Al, Ca, Ti 등을 복합 첨가하고 있다.
- [0005] 그런데, 최근에는 건축물이나 구조물(예컨대, 해양 구조물)이 고층화, 대형화되고 있어, 종래 이용되고 있었던 490MPa급의 강재 대신에 강도가 높은 590MPa급의 고장력 강재를 이용하는 움직임이 강해지고 있다. 그러나 상기 일본 특허공개 평8-120401호의 기술에서는, HAZ 인성의 개선에 관해서는 대처하고 있지만, 예컨대 건축물이나 구조물에 이용되는 고장력 강재에 요구되는 저항복비(YR이 80% 이하)를 구비한 강재에 관해서는 검토되고 있지 않다.
- [0006] 고장력과 저항복비를 겸비한 강재로서 본 출원인은 일본 특허공개 평8-209294호를 개시하고 있다. 여기서는, 미세한 탄질화물을 분산시킴과 동시에, 페라이트를 일정량 이상 확보함으로써, 590MPa 이상의 인장강도를 달성하면서 저항복비를 실현하고 있다. 그러나 입열량 50kJ/mm 이상의 용접을 실시한 경우의 HAZ 인성의 향상에 관해서는 충분히 검토되고 있지 않고, 저항복비와 HAZ 인성의 양 특성이 우수한 고장력 강재의 실현이 절실히 요망되고 있다.
- [0007] 한편, 선박 등에 사용되는 강재에는 높은 강도도 요구되지만, 강재를 고강도화하면 항복강도가 취성 파괴 강도를 상회하여 탄성 변형 중에 취성 파괴를 일으키기 쉬워진다. 그 때문에 국제선급협회연합(IACS)의 통일 규칙에서는, 취성 파괴를 방지하기 위해 파괴 역학적 수법(K 개념)으로부터 구조 부재마다 인성 등급(grade)을 설정하고 있고, 강도 클래스(class)의 상승에 따라 요구하는 모재 인성을 향상시킴으로써 대응하고 있다. 따라서 엄격한 사용 환경하에서 구조물의 안전성을 확보하기 위해서는, 상술한 바와 같이, 용접 이음부에서의 HAZ 인성이 양호한 것 외에 모재 인성(특히, 저온역의 모재 인성)이 양호한 것이 중요하다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

- [0008] 본 발명의 목적은 HAZ 인성의 편차가 저감된 강재를 제공하는 것에 있다. 나아가, 그 강재로부터 얻어진, 항복비가 80% 이하로 저감된 강압연재, 또는 저온 인성이 향상된 강압연재를 제공하는 것에 있다. 또한, 본 발명의 다른 목적은 상기 강재 및 각 강압연재의 제조 방법을 제공하는 것에 있다.

**과제 해결수단**

- [0009] 상기 과제를 해결할 수 있었던 본 발명의 강제는, C: 0.03~0.2%(「질량%」의 의미, 이하 동일), Si: 0.5% 이하, Mn: 2% 이하, Ti: 0.03% 이하, 및 N: 0.01% 이하를 포함하고, P: 0.02% 이하, S: 0.015% 이하, 및 Al: 0.01% 이하를 만족함과 동시에, 추가로 REM: 0.0010~0.1%와, Zr: 0.0010~0.05%를 각각 함유하며, 잔부가 철 및 불가피 불순물로 이루어지고,
- [0010] (A) 상기 강제는 REM과 Zr을 함유하는 개재물을 포함하는 것 외에,
- [0011] (B) 강제 중의 고용 REM과 고용 Zr이 고용 REM: 0.0010% 이하, 고용 Zr: 0.0010% 이하를 만족한다.
- [0012] 상기 강제에 있어서, 상기 강제에 포함되는 개재물의 조성을 측정하여, 이 개재물에 포함되는 원소 중 O, C, N, S 이외의 원소의 존재비를 몰 환산하고, 환산 후의 원소량 전체를 1몰로 했을 때에, REM의 몰분율이 0.05 이상, Zr의 몰분율이 0.04 이상을 만족하는 것이 권장된다.
- [0013] 상기 과제를 해결할 수 있었던 본 발명의 제 1 강압연재는, 상기 본 발명의 강제에 있어서, Mn: 1.0~2%로 하고, 추가로 다른 원소로서, Cu: 2% 이하, Ni: 2% 이하, Cr: 3% 이하, Mo: 1% 이하, Nb: 0.05% 이하, V: 0.1% 이하, 및 B: 0.005% 이하로 이루어진 균으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하도록 한 강제를 압연함으로써 얻어지는 강압연재로서,
- [0014] (C) 조직은 베이나이트 및/또는 마르텐사이트와, 페라이트를 포함하고, 전체 조직에서 차지하는 페라이트 분율이 4~24면적%이며, 베이나이트와 마르텐사이트의 합계 분율이 74면적% 이상 96면적% 미만이고,
- [0015] (D) 강제의 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 1을 만족한다.
- [0016] 수학적 1
- [0017]  $35 \leq D$
- [0018] [단, 수학적 1 중, D는 EBSP법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다.]
- [0019] 상기 과제를 해결할 수 있었던 본 발명의 제 2 강압연재는, 상기 본 발명의 강제에 있어서, C: 0.04~0.13%, Ti: 0.02% 이하로 하고, 추가로 Cu: 0.3% 이하, Ni: 0.4% 이하, 및 Nb: 0.25% 이하로 이루어진 균으로부터 선택되는 적어도 1종을 포함하도록 한 강제를 압연함으로써 얻어지는 강압연재로서,
- [0020] (E) 강제의 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 2와 수학적 3을 만족한다.
- [0021] 수학적 2
- [0022]  $D \leq 30$
- [0023] 수학적 3
- [0024]  $50 \leq M$
- [0025] [단, 수학적 2 중, D는 EBSP법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다. 또한, 수학적 3 중, M은 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율(면적%)을 의미한다.]
- [0026] 본 발명의 강제는 총 산소량  $[O]_1$ 을 0.0020~0.015%의 범위로 조정된 용강에 REM과 Zr을 첨가하여 용존 산소량  $[O]_2$ 를 0.0010~0.0035%의 범위로 조정된 후, 주조(鑄造)함으로써 제조할 수 있다. 여기서, 상기 총 산소량  $[O]_1$ 을 측정하고, 이 총 산소량  $[O]_1$ 에 따라 하기 수학적 4를 만족하도록 REM과 Zr을 첨가하여 상기 용존 산소량  $[O]_2$ 를 조정하는 것이 권장된다.

**수학적 4**

- [0027]  $[\text{REM}] + [\text{Zr}] \leq 15 \times [O]_1$

[0028] [단, 수학적식 4 중, [REM]과 [Zr]은 각각 REM 또는 Zr의 첨가량(질량%)이며, [O]<sub>1</sub>은 REM과 Zr을 첨가하기 전의 용강의 총 산소량(질량%)이다.]

[0029] 본 발명의 제 1 강압연재는, 상기 방법으로 얻어진 본 발명의 강재를, 압연 종료 온도가 870℃ 이상이 되도록 열간 압연한 후, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역으로부터 담금질, Ac<sub>1</sub>점~Ac<sub>3</sub>점의 온도역으로부터 담금질, Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역에서 뜨임의 각 공정을 순차적으로 행함으로써 제조할 수 있다.

[0030] 본 발명의 제 2 강압연재는, 상기 방법으로 얻어진 본 발명의 강재를 Ac<sub>3</sub>점 이상, 1200℃ 이하의 온도역으로 가열한 후, 강편의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하인 온도역에 있어서는 1패스당의 최대 압하율을 12% 이하, 누적 압하율을 40% 이상으로 제어하여 열간 압연하고, 얻어진 열간 압연재의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점 이상인 온도역으로부터 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역까지 평균 냉각 속도 5℃/초 이상으로 냉각함으로써 제조할 수 있다. 여기서, 상기 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역까지 냉각 속도 5℃/초 이상으로 냉각한 후, 500℃ 이상, Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역으로 가열하여 뜨임을 행하는 것이 권장된다.

**효과**

[0031] 본 발명의 강재에 의하면, 강재에 포함되는 고용 REM량과 고용 Zr량을 극력 저감함으로써 HAZ 인성의 편차를 억제할 수 있다.

[0032] 또한, 상기 본 발명의 강재로부터 얻어지는 본 발명의 제 1 강압연재에 의하면, 베이나이트 및/또는 마르텐사이트 조직이 주체이고, 페라이트를 4~24%의 범위로 포함하는 조직으로 하며, 이 조직을 관찰했을 때에 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경을 35μm 이상으로 하고 있기 때문에, 590MPa 이상의 강도를 확보하면서 모재의 항복비를 80% 이하로 저감할 수 있다.

[0033] 또한, 상기 본 발명의 강재로부터 얻어지는 본 발명의 제 2 강압연재에 의하면, 금속 조직을 관찰했을 때에 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경을 30μm 이하로 함과 동시에, 특히 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강재 전체에서 차지하는 비율을 50면적% 이상으로 함으로써, 모재 자체의 저온 인성을 개선할 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

[0034] 본 발명자들은, REM과 Zr을 강재에 복합 첨가하여 용접 이음부의 HAZ 인성을 향상시킨 강재에 대하여, HAZ 인성의 편차를 억제함과 동시에 모재의 항복비를 저감하기 위해 검토를 거듭했다. 그 결과, (I) REM과 Zr을 강재에 복합 첨가하여 개재물 중에 REM과 Zr을 함유하도록 조정하여 HAZ 인성을 높이는 것을 전체로 하고, 나아가 (II) 강재에 포함되는 고용 REM량과 고용 Zr량을 가능한 한 저감하면, 국소적으로 인성이 열화되는 현상을 방지할 수 있어 HAZ 인성의 편차를 억제할 수 있는 것을 알아내고, 본 발명의 강재를 완성시켰다.

[0035] 나아가, 그와 같은 강재를 이용하여, (III) 강재의 금속 조직이 베이나이트 및/또는 마르텐사이트 조직 주체이고, 페라이트를 4~24% 함유하는 조직이며, (IV) 강재의 금속 조직 중, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 크기를 적절히 제어하면, 모재의 항복비를 저감할 수 있는 것을 알아내고, 본 발명의 제 1 강압연재를 완성시켰다.

[0036] 또한, 상기 강재를 이용하여, (V) 강재의 금속 조직 중, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 크기와, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 분율을 적절히 제어하면, 모재 자체의 저온 인성을 개선할 수 있는 것을 알아내고, 본 발명의 제 2 강압연재를 완성시켰다.

[0037] 이하, (I)~(IV)에 대하여 상세히 설명한다.

[0038] [(I) 용접 이음부의 HAZ 인성에 대하여]

[0039] 본 발명의 강재는 REM과 Zr을 함유하는 개재물을 포함하고 있다. 「개재물 중에 REM과 Zr을 함유한다」는 것은 (a) REM의 단독 개재물과 Zr의 단독 개재물을 함유하거나, 또는 (b) REM과 Zr을 포함하는 복합 개재물을 함유하거나, (c) REM의 단독 개재물과 Zr의 단독 개재물을 함유함과 동시에, REM과 Zr을 포함하는 복합 개재물을 함유

하는 것을 의미한다.

- [0040] REM의 단독 개재물로서는, REM의 산화물이나 REM의 황화물 등의 형태를 들 수 있고, Zr의 단독 개재물로서는, Zr의 산화물이나 Zr의 탄화물, Zr의 질화물 등의 형태를 들 수 있다. REM과 Zr의 복합 개재물로서는, REM과 Zr을 포함하는 산화물, 황화물, 또는 산황화물 등의 형태를 들 수 있다. 한편, 이들 개재물은 추가로 질화물(예컨대, TiN 등)이나 다른 황화물(예컨대, CaS나 MnS 등)과 공존한 형태이어도 좋다. 한편, 이하에서는 설명의 편의상 단독 개재물과 복합 산화물을 합쳐 「개재물」이라고 부르는 경우가 있다.
- [0041] REM과 Zr의 개재물은 용접시에 열영향을 받아 1400℃ 레벨의 고온이 되어도 고용 소실되지 않기 때문에, 이들 개재물을 함유시키면 용접시의 HAZ에서 오스테나이트립의 조대화를 억제하거나, 냉각시에서의 입자 내 변태를 촉진할 수 있기 때문에, HAZ 조직을 미세화할 수 있어 HAZ의 인성을 한층 개선할 수 있다.
- [0042] 더구나 REM과 Zr을 병용 첨가하여 강제 중에 개재물로서 함유시킴으로써, 강제(모재)의 인성 열화의 원인이 되는 조대한 Zr의 단독 탄화물이나 조대한 REM의 황화물의 생성을 방지할 수 있고, 결과로서 모재의 인성 열화를 억제하면서 HAZ의 인성을 향상시킬 수 있다. 즉, REM 또는 Zr을 단독으로 첨가하는 경우는, 개재물의 개수를 늘리기 위해서는 REM 또는 Zr의 첨가량을 증가시켜야 하지만, REM 또는 Zr의 첨가량을 지나치게 늘리면 REM의 단독 개재물이나 Zr의 단독 개재물의 크기가 커져 오히려 HAZ 인성을 열화시킨다. 따라서, REM 또는 Zr을 단독으로 첨가하는 경우는 첨가량에 제한이 있고, 그 때문에 REM이나 Zr의 첨가량을 증량할 수 없고 미세한 개재물량도 일정 이상으로 늘릴 수 없었다. 따라서 HAZ 인성을 향상시킬 수 없었다.
- [0043] 이에 반하여, REM과 Zr을 포함하는 개재물을 강제 중에 함유시키면, REM을 단독으로 함유시키거나 Zr을 단독으로 함유시키는 경우보다도 강제 중에 포함되는 개재물의 절대량을 증대시킬 수 있기 때문에, HAZ의 인성을 한층 향상시킬 수 있다. 이와 같이 강제 중에 REM과 Zr의 개재물을 함유시킴으로써 HAZ의 인성을 향상시킬 수 있다. 따라서 HAZ의 인성을 향상시키기 위해서는, REM과 Zr을 적극적으로 첨가하여 강제 중에 개재물을 많이 생성시키는 것이 바람직하다고 생각된다.
- [0044] 본 발명의 강제는, 이 강제에 포함되는 개재물의 조성을 측정하여, 이 개재물을 구성하는 원소 중 O, C, N, S 이외의 원소의 존재비를 몰 환산하고, 환산 후의 원소량 전체를 1몰로 했을 때에, REM의 몰분율이 0.05 이상, Zr의 몰분율이 0.04 이상을 만족하는 것이 바람직하다. REM의 몰분율은 0.10 이상인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.15 이상, 더 바람직하게는 0.20 이상이다. 한편, Zr의 몰분율은 0.08 이상인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.10 이상, 더 바람직하게는 0.15 이상이다.
- [0045] 상기 REM의 몰분율과 상기 Zr의 몰분율의 합계는 0.10 이상인 것이 좋다. 합계가 0.10 미만이면, HAZ의 인성 향상에 기여하는 개재물량이 부족하여 HAZ의 인성을 충분히 개선할 수 없다. 합계는 더욱 바람직하게는 0.15 이상, 더 바람직하게는 0.20 이상이다.
- [0046] 한편, REM의 개재물과 Zr의 개재물 이외의 나머지 개재물의 조성은 특별히 한정되지 않지만, 예컨대 CaO나 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiN, TiC이면 좋다.
- [0047] 강제에 포함되는 개재물의 조성은 강제의 단면을 예컨대 전자선 마이크로 프로브 X선 분석계(Electron Probe X-ray Micro Analyzer; EPMA)로 관찰하여, 관찰 시야 내에서 인지되는 개재물을 정량 분석하면 측정할 수 있다. EPMA의 관찰은, 예컨대 가속 전압을 7kV, 시료 전류를 0.003μA, 관찰 시야 면적을 1cm<sup>2</sup>로 하여, 개재물의 중앙부에서의 조성을 특성 X선의 파장 분산 분광에 의해 정량 분석한다. 분석 대상으로 삼는 개재물의 크기는 최대 직경이 0.2μm 이상인 것으로 하고, 분석 개수는 무작위로 선택한 100개로 한다.
- [0048] 분석 대상 원소는 O, C, N, S 이외의 원소로 하고, 본 발명의 강제의 조성을 고려하면 분석 대상 원소는 Al, Mn, Si, Ti, Zr, Ca, REM(예컨대, La와 Ce)으로 하면 좋다. 개재물에 포함되는 Al, Mn, Si, Ti, Zr, Ca 및 REM의 존재비를 몰 환산하고, 환산 후의 원소량 전체를 1몰로 했을 때에, 분석 대상으로 삼는 개재물에 포함되는 각 원소의 몰분율을 산출하면 좋다.
- [0049] [(II) 용접 이음부의 HAZ 인성의 편차에 대하여]
- [0050] REM과 Zr의 함유량을 많게 한 강제를 용접하고, HAZ의 인성을 복수 개소에서 측정한 바, 특히 열영향이 큰 본딩(bonding)부(HAZ 중 특히 용접 금속에 근접한 부위) 근방에서는 국소적으로 인성이 저하되어 측정치가 고르지 않은 것이 밝혀졌다. 그래서 국소적으로 인성이 저하된 부분의 조직을 관찰한 바, 입계에 REM이나 Zr이 편석되어 있는 것이 밝혀졌다. 이 REM이나 Zr의 편석을 저감하기 위해 검토를 거듭한 바, 강제 중의 고용 REM량과 고

용 Zr량을 저감하면 바람직한 것을 알아냈다.

- [0051] 즉, 본 발명의 강재는 고용 REM: 0.0010% 이하(0%를 포함함)와, 고용 Zr: 0.0010% 이하(0%를 포함함)를 만족하는 것이 중요하다. 강재 중의 고용 REM량이 0.0010%를 초과하거나 고용 Zr량이 0.0010%를 초과하면, 용접시에 열영향을 받았을 때에 REM이나 Zr이 입계에 편석되어 인성을 국소적으로 저하시킨다. 따라서 고용 REM량은 0.0010% 이하로 하고, 바람직하게는 0.0008% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0005% 이하로 한다. 고용 Zr량은 0.0010% 이하로 하고, 바람직하게는 0.0008% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0005% 이하로 한다. 고용 REM량과 고용 Zr량은 가능한 한 저감하는 것이 좋고, 가장 바람직하게는 0%이다.
- [0052] 상기 고용 REM과 상기 고용 Zr의 합계는 0.0015% 이하인 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.0010% 이하이다.
- [0053] 강재에 포함되는 고용 REM량은, 후술하는 실시예에 나타내는 바와 같이, ICP[Inductively Coupled Plasma; 유도 결합 플라즈마]-MS법으로 분석하여 산출되는 REM 함유량(총 REM 함유량)으로부터, 전해 추출과 ICP-MS에 의해 산출되는 강재에 포함되는 개재물에 함유하는 REM량을 뺀으로써 산출하면 좋다. 고용 Zr량에 관해서도 마찬가지로, Zr 함유량(총 Zr 함유량)으로부터 강재에 포함되는 개재물에 함유하는 Zr량을 뺀으로써 산출하면 좋다.
- [0054] [(III) 모재의 금속 조직에 대하여]
- [0055] 본 발명의 제 1 강압연재의 금속 조직은 베이나이트 및/또는 마르텐사이트와, 페라이트를 포함하고, 전체 조직에서 차지하는 페라이트 분율이 4~24면적%, 베이나이트와 마르텐사이트의 합계 분율이 74면적% 이상 96면적% 미만이다.
- [0056] 도 8은 페라이트 분율과 항복비의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 결과를 정리한 것이다. 도 8로부터, 80% 이하의 항복비를 달성하기 위해서는 페라이트 분율을 4% 이상으로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다. 항복비를 더욱 저하시키기 위해서는 페라이트 분율은 7% 이상이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 10% 이상이다.
- [0057] 한편, 도 7은 페라이트 분율과 인장강도(TS)의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 결과를 정리한 것인데, 도 7로부터, 인장강도를 590MPa 이상으로 확실히 높이기 위해서는 페라이트 분율을 24% 이하로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다. 인장강도를 더욱 높이기 위해서는 페라이트 분율은 22% 이하로 하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 20% 이하이다.
- [0058] 한편, 상기 금속 조직은 베이나이트 및/또는 마르텐사이트와, 페라이트만으로 구성되어 있어도 좋지만, 이것에 한정되지 않고, 제조 공정에서 불가피적으로 형성될 수 있는 그 밖의 조직(시멘타이트나 석상 마르텐사이트(MA))도 포함된다.
- [0059] [(IV) 모재의 항복비에 대하여]
- [0060] 본 발명의 제 1 강압연재는 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSP법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 1을 만족하고 있을 필요가 있다. 수학적 1을 만족함으로써, 모재의 항복비를 80% 이하로 할 수 있다.
- [0061] 수학적 1
- [0062]  $35 \leq D$
- [0063] 상기 수학적 1 중, D는 EBSP법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다. 본 발명에서는, 이 D의 값을 35 $\mu\text{m}$  이상으로 한다.
- [0064] 도 9는 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D와 항복비의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 결과를 정리한 것이다. 도 9로부터, 80% 이하의 항복비를 달성하기 위해서는 상기 페라이트 분율을 조정하는 것에 더하여 상기 평균 원 상당 직경 D를 35 $\mu\text{m}$  이상으로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다. 금속 재료의 항복강도가 입계의 역수의 1/2승에 비례하는 것은 홀 패치(Hall Patch)의 법칙으로서 알려져 있고, 결정립이 미세해짐에 따라 항복점이 상승하기 때문이다. 항복비를 더욱 작게 하기 위해서는 바람직하게는 37 $\mu\text{m}$  이상이며, 더욱 바람직하게는 39 $\mu\text{m}$  이상이다.
- [0065] 금속 조직의 관찰은 강재의 관두께를 t(mm)로 했을 때에 관두께 방향의 t/4 위치에서 행한다. 구체적인 관찰 순서는 후기하는 실시예의 항에서 설명한다.

- [0066] [(V) 모재 자체의 저온 인성에 대하여]
- [0067] 본 발명의 제 2 강압연재는 금속 조직을 후방 산란 전자 회절상법(EBSF법)으로 관찰했을 때에 하기 수학적 2와 수학적 3을 만족하고 있을 필요가 있다. 양쪽의 식을 만족함으로써 모재 자체의 저온 인성이 개선된다.
- [0068] 수학적 2
- [0069]  $D \leq 30$
- [0070] 수학적 3
- [0071]  $50 \leq M$
- [0072] 상기 수학적 2 중, D는 EBSF법으로 인접하는 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경( $\mu\text{m}$ )을 의미한다. 본 발명에서는, 이 D의 값을 30 $\mu\text{m}$  이하로 한다. 취성 균열은 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계에서 굴곡되거나 우회하거나 정류(停留)하는 것이 일반적으로 알려져 있다. 그 때문에, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립을 미세화함으로써 취성 균열이 굴곡·우회·정류하는 위치가 증가하기 때문에, 충격 특성이 상승하여 모재 자체의 저온 인성이 높아진다. D의 값은 작을수록 좋고, 바람직하게는 28 $\mu\text{m}$  이하이며, 더욱 바람직하게는 25 $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0073] 상기 수학적 3 중, M은 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율(면적%)을 의미한다. 본 발명에서는, 이 M의 값을 50면적% 이상으로 한다. 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계에 의한 취성 균열의 굴곡·우회·정류 작용은 대각 입계 중에서도 특히 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계에 의해 한층더 발휘되기 때문이다. 그래서 본 발명에 있어서도 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율을 50면적% 이상으로 한다. M의 값은 바람직하게는 55면적% 이상이며, 더욱 바람직하게는 60면적% 이상이다.
- [0074] 금속 조직의 관찰은 강재의 관두께를 t(mm)로 했을 때에 관두께 방향의 t/4 위치에서 행한다. 구체적인 관찰 순서는 후기하는 실시예의 항에서 설명한다.
- [0075] 본 발명의 제 2 강압연재는 베이나이트 주체의 조직으로 구성된다. 베이나이트 주체로 함으로써 강압연재의 강도를 확보할 수 있다. 베이나이트 주체란, 금속 조직을 관찰했을 때에 베이나이트의 면적률이 80% 이상인 것을 의미한다. 본 발명의 제 2 강압연재는 베이나이트만으로 구성되어 있어도 좋고, 베이나이트 이외의 조직으로서 마르텐사이트나 페라이트 등이 생성되어 있어도 좋다. 한편, 강도 저하를 방지하기 위해 페라이트 조직은 적을수록 좋고, 대체로 4면적% 미만인 것이 바람직하다.
- [0076] [성분 조성에 대하여]
- [0077] 다음으로, 본 발명의 강재(모재)에 있어서의 성분 조성에 대하여 설명한다. 본 발명의 강재는 REM: 0.0010~0.1%와 Zr: 0.0010~0.05%를 함유하는 데에 특징이 있다. 이러한 범위를 정한 이유는 이하와 같다.
- [0078] REM 및 Zr은 강재 중에 REM과 Zr의 단독 개재물 또는 복합 개재물을 형성하여 HAZ의 인성 향상에 기여하는 원소이다.
- [0079] REM은 0.0010% 이상으로 해야 하며, 바람직하게는 0.0015% 이상, 더욱 바람직하게는 0.002% 이상이다. 그러나 과잉으로 첨가하면 조대한 개재물(예컨대, 산화물 등)이 생성되어 모재의 인성이 열화되기 때문에, 0.1% 이하로 억제해야 한다. 바람직하게는 0.09% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.08% 이하로 한다.
- [0080] 한편, 본 발명에 있어서, REM이란 란타노이드 원소(La부터 Lu까지의 15 원소) 및 Sc(스칸듐)과 Y(이트륨)를 포함하는 의미이며, 이들 원소 중에서도 La, Ce 및 Y로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 1종의 원소를 함유하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 La 및/또는 Ce를 함유하는 것이 좋다.
- [0081] Zr은 0.0010% 이상으로 해야 하며, 바람직하게는 0.0015% 이상, 더욱 바람직하게는 0.002% 이상이다. 그러나 과잉으로 첨가하면 조대한 Zr의 탄화물이 생성되어 모재의 인성이 열화되기 때문에, 0.05% 이하로 억제해야 한다. 바람직하게는 0.04% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.03% 이하로 한다.
- [0082] 본 발명의 강재는 REM과 Zr을 포함하는 것 외에 기본 원소로서 C: 0.03~0.2%, Si: 0.5% 이하, Mn: 2% 이하, Ti: 0.03% 이하, 및 N: 0.01% 이하를 포함하는 것이다.
- [0083] 상기 강재의 조성 범위 내에서, 본 발명의 제 1 강압연재에서는 특히 Mn:1.0~2%로 한다.

- [0084] 상기 강재의 조성 범위 내에서, 본 발명의 제 2 강압연재에서는 특히 C: 0.04~0.13%, Ti: 0.02% 이하로 하고, 추가로 Cu: 0.3% 이하, Ni: 0.4% 이하, 및 Nb: 0.25% 이하로 이루어진 균으로부터 선택되는 적어도 1종의 원소를 포함하는 것이다.
- [0085] 이러한 범위를 정한 이유는 이하와 같다.
- [0086] C는 강재(모재)의 강도를 확보하기 위해 빠질 수 없는 원소이며, 0.03% 이상 함유시킬 필요가 있다. C는 0.04% 이상 함유시키는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.05% 이상으로 한다. 그러나 0.2%를 초과하면 용접시에 HAZ에 섭상 마르텐사이트가 많이 생성되어 HAZ의 인성 열화를 초래할 뿐만 아니라, 용접성에도 악영향을 미친다. 따라서 C는 0.18% 이하, 바람직하게는 0.16% 이하, 더욱 바람직하게는 0.14% 이하로 억제할 필요가 있다. 특히 본 발명의 제 2 압연재에 있어서는, 0.04% 이상 함유시킬 필요가 있고, 0.05% 이상 함유시키는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.06% 이상으로 하고, 0.13% 이하, 바람직하게는 0.12% 이하, 더욱 바람직하게는 0.11% 이하로 억제할 필요가 있다.
- [0087] Si는 탈산 작용을 갖는 동시에 강재(모재)의 강도 향상에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.02% 이상 함유시키는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.05% 이상, 더 바람직하게는 0.1% 이상 함유시키는 것이 좋다. 그러나 0.5%를 초과하면 강재(모재)의 용접성이나 모재 인성이 열화되기 때문에, 0.5% 이하로 억제할 필요가 있다. 바람직하게는 0.45% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.4% 이하로 억제하는 것이 좋다. 한편, HAZ에 더한층의 고인성이 요청되는 경우는, Si는 0.3% 이하로 억제하는 것이 좋다. 더욱 바람직하게는 0.05% 이하이며, 더 바람직하게는 0.01% 이하이다. 단, 이와 같이 Si 함유량을 억제하면 HAZ의 인성은 향상되지만, 강도는 저하되는 경향이 있다.
- [0088] Mn은 강재(모재)의 강도 향상에 기여하는 원소이며, 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.5% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.7% 이상, 더 바람직하게는 0.8% 이상이다. 특히 본 발명의 제 1 압연재에 있어서는, 1.0% 이상 함유시킬 필요가 있고, 바람직하게는 1.2% 이상이며, 더욱 바람직하게는 1.4% 이상이다. 그러나 2%를 초과하여 과잉으로 함유시키면 HAZ 인성이 열화됨과 동시에, 강재(모재)의 용접성이 열화된다. 따라서 Mn량은 2% 이하로 억제할 필요가 있다. 바람직하게는 1.8% 이하이며, 더욱 바람직하게는 1.6% 이하이다.
- [0089] Ti는 강재 중에 TiN 등의 질화물이나 Ti 산화물을 생성하여 HAZ의 인성 향상에 기여하는 원소이다. 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, Ti는 0.005% 이상 함유시키는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.007% 이상, 더 바람직하게는 0.010% 이상으로 한다. 그러나 과잉으로 첨가하면 강재(모재)의 인성을 열화시키기 때문에, 0.03% 이하로 억제해야 한다. 바람직하게는 0.028% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.026% 이하로 한다. 특히 본 발명의 제 2 압연재에 있어서는, 0.02% 이하로 억제해야 하고, 바람직하게는 0.018% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.016% 이하로 한다.
- [0090] N은 질화물(예컨대, ZrN이나 TiN 등)을 석출하는 원소이며, 이 질화물은 용접시에 HAZ에 생성되는 오스테나이트립의 조대화를 방지하여 페라이트 변태를 촉진하기 때문에, HAZ 인성을 향상시키는 데 기여한다. 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.002% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.003% 이상이다. N은 많을수록 오스테나이트립의 미세화가 촉진되기 때문에, HAZ의 인성 향상에 유효하게 작용한다. 그러나 0.01%를 초과하면 고용 N량이 증대하여 모재의 인성이 열화된다. 따라서 N은 0.01% 이하로 억제할 필요가 있고, 바람직하게는 0.009% 이하, 더욱 바람직하게는 0.008% 이하로 한다.
- [0091] 본 발명의 강재는 상기 원소를 포함하는 것 외에 P: 0.02% 이하(0%를 포함하지 않음), S: 0.015% 이하(0%를 포함하지 않음) 및 Al: 0.01% 이하(0%를 포함함)를 만족하는 것이다. 이러한 범위를 정한 이유는 이하와 같다.
- [0092] P는 편석되기 쉬운 원소이며, 특히 강재 중의 결정립계에 편석되어 인성을 열화시킨다. 따라서 P는 0.02% 이하로 억제해야 하고, 바람직하게는 0.018% 이하, 더욱 바람직하게는 0.015% 이하로 한다.
- [0093] S는 Mn과 결합하여 황화물(MnS)을 생성하여 모재의 인성이나 관두께 방향의 연성을 열화시키는 유해한 원소이다. 따라서 S는 0.015% 이하로 억제해야 하며, 바람직하게는 0.012% 이하, 더욱 바람직하게는 0.008% 이하, 특히 0.006% 이하로 한다.
- [0094] Al은 탈산력이 강한 원소이며, 과잉으로 첨가하면 산화물을 환원하여 원하는 산화물을 생성하기 어려워진다. 따라서 Al은 0.01% 이하로 억제할 필요가 있고, 바람직하게는 0.0090% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0080% 이하로 한다. 한편, Al은 0%이어도 좋다.

- [0095] 본 발명에서 규정하는 함유 원소는 상기와 같고, 잔부는 철 및 불가피 불순물로서, 원료, 자재, 제조 설비 등의 상황에 따라서 반입되는 원소(예컨대, Mg나 As, Se 등)의 혼입이 허용될 수 있다.
- [0096] 본 발명의 강재는,
- [0097] (i) HAZ 인성을 향상시키기 위해 Ca: 0.01% 이하를 함유하는 것이나,
- [0098] (ii) 강재의 강도를 높이기 위해 Cu: 2% 이하, Ni: 2% 이하, Cr: 3% 이하, Mo: 1% 이하, Nb: 0.05% 이하, V: 0.1% 이하, 및 B: 0.005% 이하로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 함유하는 것 등도 유효하다. 이러한 범위를 정한 이유는 이하와 같다.
- [0099] (i) Ca는 강재의 HAZ 인성을 향상시키는 작용을 갖는 원소이다. 더욱 상세하게는, Ca는 개재물의 형태를 제어하여(구체적으로는, MnS를 구상화하여) 강재의 이방성을 저감하는 작용을 갖고 있고, 강재의 이방성이 저감됨으로써 HAZ 인성이 향상된다. 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.0003% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.0005% 이상, 더 바람직하게는 0.001% 이상이다. 그러나 과잉으로 첨가하면 조대한 산화물을 형성하여 HAZ 인성이 오히려 열화된다. 따라서 Ca는 0.01% 이하가 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.008% 이하이며, 더 바람직하게는 0.005% 이하이다.
- [0100] (ii) Cu, Ni, Cr, Mo, Nb, V, 및 B는 어느 것이나 강재의 강도를 높이는 데 작용하는 원소이다.
- [0101] 특히, 저온 인성이 요청되는 선박 등에 이용되는 강재에는 양호한 모재 인성과 HAZ 인성 외에 강도도 요청되기 때문에, 본 발명의 제 2 강압연재는 필수 원소로서 적어도 1종의 원소를 함유할 필요가 있다. 바람직하게는 Cu와 Ni를 둘 다 함유하거나 Nb만을 함유하면 좋다.
- [0102] Cu는 강재를 고용 강화시키는 원소이며, 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.05% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.1% 이상이며, 더 바람직하게는 0.2% 이상이다. 그러나 2%를 초과하여 함유시키면 강재(모재)의 인성을 저하시키기 때문에, Cu는 2% 이하로 억제하는 것이 좋다. 바람직하게는 1.8% 이하이며, 더욱 바람직하게는 1.6% 이하로 한다. 본 발명의 제 2 강압연재에 있어서는, Cu는 0.3% 이하로 억제하는 것이 좋다. 바람직하게는 0.28% 이하이며, 더욱 바람직하게는 0.25% 이하로 한다.
- [0103] Ni는 강재의 강도를 높임과 동시에 강재의 인성을 향상시키는 데 유효하게 작용하는 원소이며, 이러한 작용을 발휘시키기 위해서는, 0.05% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.1% 이상이며, 더 바람직하게는 0.2% 이상으로 한다. Ni는 많을수록 바람직하지만, 고가인 원소이기 때문에 경제적 관점에서 2% 이하로 억제하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 1.5% 이하이며, 더 바람직하게는 1% 이하로 한다. 본 발명의 제 2 강압연재에 있어서는, 0.4% 이하로 억제하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.38% 이하이며, 더 바람직하게는 0.35% 이하로 한다.
- [0104] Cr을 첨가하여 강도를 높이기 위해서는, 0.01% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.02% 이상, 더 바람직하게는 0.03% 이상이다. 그러나 3%를 초과하면 용접성이 열화되기 때문에, Cr은 3% 이하로 억제하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 1.5% 이하이며, 더 바람직하게는 1% 이하로 한다.
- [0105] Mo를 첨가하여 강도를 높이기 위해서는, 0.01% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.02% 이상이며, 더 바람직하게는 0.03% 이상 함유시키는 것이 권장된다. 단, 1%를 초과하면 용접성을 악화시키기 때문에, Mo는 1% 이하로 하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.9% 이하이며, 더 바람직하게는 0.8% 이하로 억제하는 것이 권장된다.
- [0106] Nb는 재결정 억제 작용을 갖는 원소이며, 조직의 미세화에 유효하게 기여함과 동시에, 탄화물, 질화물을 효과적으로 석출함으로써 강재를 고강도화하는 원소이다. 이러한 작용을 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.005% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.008% 이상이며, 더 바람직하게는 0.01% 이상, 더 바람직하게는 0.03% 이상이다. 그러나, 본 발명의 제 1 강압연재에 있어서는, 0.05%를 초과하면 조직이 지나치게 미세화되어 항복비가 높아진다. 따라서 Nb는 0.05% 이하로 억제하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.04% 이하이며, 더 바람직하게는 0.03% 이하로 한다. 본 발명의 제 2 강압연재에 있어서는, 0.25%를 초과하면 모재의 인성을 열화시키기 때문에, Nb는 0.25% 이하로 억제하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.23% 이하이며, 더 바람직하게는 0.2% 이하로 한다.
- [0107] V를 첨가하여 강도를 높이기 위해서는 0.005% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.01% 이상, 더 바람직하게는 0.03% 이상 함유시키는 것이 좋다. 그러나 0.1%를 초과하면 용접성이 악화됨과 동시에 모재의 인성이 열화되기 때문에, V는 0.1% 이하로 하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.08% 이하, 더 바

람직하게는 0.06% 이하로 억제하는 것이 좋다.

- [0108] B는 강재의 강도를 높임과 동시에, 용접시에 가열된 HAZ가 냉각되는 과정에서 강 중의 N과 결합하여 BN을 석출하여 오스테나이트립 내로부터의 페라이트 변태를 촉진시킨다. 이러한 효과를 유효하게 발휘시키기 위해서는, 0.0003% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.0005% 이상이며, 더 바람직하게는 0.0008% 이상으로 한다. 그러나 0.005%를 초과하면 강재(모재)의 인성을 열화시키기 때문에, B는 0.005% 이하로 하는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 0.004% 이하이며, 더 바람직하게는 0.003% 이하로 하는 것이 좋다.
- [0109] [제조 방법에 대하여]
- [0110] 다음으로, 본 발명의 강재를 제조하는 데 있어서 적합하게 채용할 수 있는 제법에 대하여 설명한다. 본 발명의 강재는 고용 REM과 고용 Zr을 소정량 이하로 저감하기 위해, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 0.0020~0.015%의 범위로 조정된 용강에 REM과 Zr을 첨가하여 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>를 0.0010~0.0035%의 범위로 조정된 후, 주조하여 강재(주편)를 얻는다. 이하, 이러한 범위를 규정한 이유를 설명한다.
- [0111] 우선, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 적절히 제어한 용강에 REM과 Zr을 복합 첨가하면, REM과 Zr을 개재물의 한 형태인 산화물로서 강 중에 생성시킬 수 있다. 이 때 용강에 복합 첨가하는 REM량과 Zr량을 조정함으로써 용강의 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>를 적절히 제어하고, 이 용강을 주조하면 강재 중의 고용 REM량과 고용 Zr량을 저감할 수 있다.
- [0112] 통상, 전로나 전기로에서 1차 정련된 용강 중의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>은 0.015%를 초과하고 있다. 이 용강에 REM이나 Zr을 첨가하면, 용강 중의 산소량이 지나치게 많기 때문에 REM이나 Zr과 산소의 반응이 심해져 용제 작업상 바람직하지 않다. 또한, 조대한 REM의 산화물과 조대한 ZrO<sub>2</sub>가 생성되어 모재 인성 자체가 열화된다.
- [0113] 그래서 본 발명에서는, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 종래보다도 조금 적게 조정된 용강에 REM과 Zr을 첨가함으로써 REM의 개재물로서 REM 산화물을, Zr의 개재물로서 Zr 산화물, 또는 REM과 Zr의 복합 개재물로서 REM과 Zr을 포함하는 산화물을 생성시킬 수 있다.
- [0114] 한편, REM과 Zr의 개재물 중, 특히 산화물량을 늘리는 관점에서 하면, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 조정된 용강에 REM과 Zr을 다량으로 첨가하면 좋지만, 산화물을 형성하지 않는 과잉인 REM과 Zr은 강재 중에 고용된다. 그런데 고용 REM이나 고용 Zr이 많아지면, 상술한 바와 같이 HAZ 인성에 편차가 생겨 버린다.
- [0115] 그래서 본 발명에서는, 용강에 첨가하는 REM량과 Zr량을 조정함으로써, REM과 Zr을 첨가한 후의 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>를 종래보다도 조금 적게 조정하여, REM과 Zr이 주조 중에 고용되는 것을 방지하는 것으로 했다.
- [0116] REM과 Zr을 첨가하기 전의 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>은 1차 제련 후의 용강에 포함되는 통상의 총 산소량보다도 적고, 0.015% 이하로 억제해야 하며, 바람직하게는 0.01% 이하, 더욱 바람직하게는 0.008% 이하로 한다. 그러나 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 지나치게 적게 하여 0.0020% 미만이면 산소량이 부족해지기 때문에, REM과 Zr을 복합 첨가하여도 HAZ의 인성 향상에 기여하는 산화물량을 확보할 수 없고, 더구나 산화물을 형성할 수 없었던 REM이나 Zr이 강재 중에 고용되거나, 또는 Zr이 탄화물 등을 형성하여 모재의 인성을 열화시킨다. 따라서 REM과 Zr을 복합 첨가하기 전의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>은 0.0020% 이상으로 조정하는 것이 바람직하고, 더욱 바람직하게는 0.0025% 이상이다.
- [0117] 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>이란, 용강 중에 포함되는 전체 산소량(전체 O량)을 의미하며, 용강에 용존 원자로서 포함되는 산소량(이른바 프리(free) 산소)과 산화물계 개재물로서 존재하고 있는 산소량을 합한 전체 산소량을 의미한다. 용강에 용존 원자로서 포함되는 산소량은 고체 전해질을 이용한 산소 센서를 이용하면 측정할 수 있다. 총 산소량은 일반적인 불활성 가스 용해-적외선 흡수법 등에 의해 측정할 수 있다.
- [0118] 용강 중의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 상기 범위로 조정하기 위해서는, 예컨대 RH식 탈가스 정련 장치를 이용하여 탈산하는 방법, 취과가열식(取鍋加熱式) 정련 장치나 간이식 용강 처리 설비 등을 이용하여 탈산하는 방법, 용강에 Si, Mn, Ti, Al 등의 탈산 원소를 첨가하여 탈산하는 방법 등을 들 수 있다. 물론 이들 방법을 적절히 조합하여 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 조정해도 좋다. 탈산 원소를 첨가하는 방법을 채용할 때는, 전로로부터 취과로 출강할 때에 탈산 원소를 첨가해도 상관없다.

- [0119] 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>을 조정된 용강에 REM과 Zr을 복합 첨가하는 순서는 특별히 한정되지 않고, 예컨대 (a) REM을 첨가한 후에 Zr을 첨가해도 좋고, (b) Zr을 첨가한 후에 REM을 첨가해도 좋고, (c) REM과 Zr을 동시에 복합 첨가해도 좋다. REM을 복수 종류 첨가하는 경우는, 동시에 또는 따로따로 첨가해도 좋다. 예컨대, REM으로서 Ce와 La를 이용하고, Ce+Zr+La의 순서로 첨가해도 좋다.
- [0120] 용강에 첨가하는 REM이나 Zr의 형태는 특별히 한정되지 않고, 예컨대 REM으로서, 순 La나 순 Ce, 순 Y 등, 또는 순 Zr, 나아가서는 Fe-Si-La 합금, Fe-Si-Ce 합금, Fe-Si-La-Ce 합금 등을 첨가하면 좋다. 또한, 용강에 미시 메탈을 첨가해도 좋다. 미시 메탈이란 희토류 원소의 혼합물이며, 구체적으로는 Ce를 40~50% 정도, La를 20~40% 정도 함유하고 있다.
- [0121] 상기 REM과 Zr을 복합 첨가한 후에는, 주조 직전의 상기 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>에 영향이 가지 않을 정도이면 합금 원소를 첨가하여 강재의 성분을 조정해도 좋다.
- [0122] 주조 직전의 상기 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>는 0.0010% 이상으로 한다. 0.0010% 미만이면 산소량이 부족해지기 때문에 주조 중에 REM이나 Zr이 강재 중에 고용되어 버려, HAZ 인성의 편차를 발생시키는 원인이 된다. 따라서 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>는 0.0010% 이상으로 하고, 바람직하게는 0.0015% 이상이다. 그러나 상기 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>가 과잉이 되면, 주조 중에 조대한 산화물이 많이 생성되어 모재 자체의 인성을 저하시킨다. 따라서 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>는 0.0035% 이하로 억제해야 하며, 바람직하게는 0.0030% 이하, 더욱 바람직하게는 0.0025% 이하로 한다.
- [0123] 상기 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>를 0.0010~0.0035%의 범위로 제어하기 위해서는, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>에 따라 REM과 Zr의 첨가량을 조정하면 좋고, 구체적으로는 총 산소량 [O]<sub>1</sub>에 따라 하기 수학적 4를 만족하도록 REM과 Zr의 첨가량을 결정하고, 결정된 REM과 Zr의 첨가량 범위로 원소를 첨가하면 좋다. 수학적 4 중, [REM]과 [Zr]은 각각 REM 또는 Zr의 첨가량(질량%)이며, [O]<sub>1</sub>은 REM과 Zr을 첨가하기 전의 용강의 총 산소량(질량%)이다. 우변의 계수 15는 실험을 반복하여 행한 결과 결정된 값이다.
- [0124] 수학적 4
- [0125]  $[REM]+[Zr] \leq 15 \times [O]_1$
- [0126] 단, 강재에 포함되는 REM(총 REM)량과 Zr(총 Zr)량은 상기 성분 조성에서 규정하는 범위를 만족할 필요가 있다.
- [0127] 한편, 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>에 대하여 REM이나 Zr을 조금 많게 첨가하여 상기 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>가 0.0010%를 하회한 경우에는, 산소원으로서 산화물[예컨대, MnO나 철산화물(예컨대, FeO)]을 첨가해도 좋다.
- [0128] 다음으로, 상기 본 발명의 강재(강편)로부터 얻어지는 본 발명의 제 1 강압연재의 제조 방법에 대하여 설명한다. 상기와 같이 주조하여 얻어진 강편은 압연 종료 온도를 870℃ 이상으로 하여 열간 압연한 후, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역으로부터 담금질하고, 이어서 Ac<sub>1</sub>점~Ac<sub>3</sub>점의 온도역(오스테나이트-페라이트 2상역. 이하, 단지 「2상역」이라고 하는 경우가 있음)으로부터 담금질하고, 이어서 Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역에서 뜨임을 행한다.
- [0129] 본 발명의 강재는, 상술한 바와 같이, 용접 후의 HAZ 인성을 향상시키기 위해 강재 중에 REM과 Zr을 함유하는 개재물을 분산시키고 있는 데에 특징이 있는데, 이러한 개재물이 강재 중에 분산되어 있기 때문에, 열간 압연 후의 담금질 과정에서는 입자 내 변태가 촉진되어, 담금질 완료 후의 변태 조직이 미세해지기 쉬운 경향이 인지된다. 조직의 미세화는 모재 자체의 인성의 향상에는 유효하게 작용하는 것이지만, 조직이 미세화되면 홀 패치의 법칙으로부터 항복점이 상승하기 때문에 항복비가 높아져 버린다. 그 때문에, 80% 이하의 항복비(저항복비)를 실현하기 위해서는, 담금질 완료 후의 조직이 필요 이상으로 지나치게 미세해지고, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 필요 이상으로 작아지지 않도록, 열간 압연을 비교적 높은 온도에서 행할 필요가 있다.
- [0130] 구체적으로는, 본 발명에서는 압연 종료 온도가 870℃ 이상이 되도록 열간 압연을 행하는 것이 중요하다. 도 4는 압연 종료 온도와, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 실험 결과를 정리한 것이다. 80% 이하의 항복비를 달성하기 위해, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D를 35μm 이상으로 하기 위해서

는, 이 도 4로부터 분명한 바와 같이 압연 종료 온도를 870℃ 이상으로 할 필요가 있다.

[0131] 도 5는 담금질 개시 온도[도 5에 있어서는, 직접 담금질(DQ)을 행한 경우의 담금질 개시 온도를 의미함]와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 실험 결과를 정리한 것이다. 590MPa 이상의 인장강도를 달성하기 위해 페라이트 분율을 24% 이하로 억제하기 위해서는, 도 5로부터 담금질 개시 온도를 페라이트 변태 개시 온도(Ar<sub>3</sub>점) 이상으로 할 필요가 있다.

[0132] 상기 담금질 방법으로서, 열간 압연 직후의 열간 압연재에 담금질을 행하는 직접 담금질(DQ) 외에, 해당 열간 압연재를 오프라인(off line)으로 담금질(RQ)해도 좋다. 한편, 상기 DQ 처리에서는, 공정상 재시도를 할 수 없다는 점에서, 상기 RQ 처리의 경우보다도 상기 담금질 개시 온도의 엄격한 온도 관리가 요구된다.

[0133] 또한, 경질의 베이나이트 조직 및/또는 마르텐사이트 조직 중에 규정량의 페라이트상을 혼재시키기 위해서는, 2상역으로부터 2번째의 담금질을 행할 필요가 있다. 도 6은 2상역 부근의 온도역으로 유지하고, 이 온도역으로부터 담금질했을 때의 온도(이하, 가열 온도라고 부르는 경우가 있음)와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이며, 후술하는 실시예의 실험 결과를 정리한 것이다. 80% 이하의 항복비를 달성하기 위해 페라이트 분율을 4% 이상으로 하기 위해서는, 도 6으로부터 분명한 바와 같이, Ac<sub>1</sub>점 이상 Ac<sub>3</sub>점 이하의 온도(2상역 온도)로 유지할 필요가 있다. 2상역 온도에서의 유지 시간은, 예컨대 5분 이상으로 하면 좋다.

[0134] 상기 2상역으로 가열한 후에는, 담금질(예컨대, RQ)을 행하고, 그 후 페라이트 변태 개시 온도 미만의 온도(Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도)에서 뜨임을 행한다. 이것에 의해 강재의 강도를 약 590MPa 이상으로 조정할 수 있다.

[0135] 상기 강편의 온도는 후기하는 실시예의 항에서 설명하는 순서로 산출한 t/4 위치에 있어서의 온도로 관리한다. t는 강편의 두께(mm)를 의미한다. 또한, 상기 Ar<sub>3</sub>점, 상기 Ac<sub>3</sub>점, 상기 Ac<sub>1</sub>점의 온도는 후기하는 실시예에 나타내는 순서로 측정할 수 있다.

[0136] 본 발명의 제 1 강압연재는, 예컨대 교량이나 고층 건조물, 선박 등의 구조물의 재료로서 사용할 수 있고, 소~중입열 용접은 물론 대입열 용접에 있어서도 용접 열영향부의 인성 열화를 막을 수 있다.

[0137] 다음으로, 상기 본 발명의 강재(강편)로부터 얻어지는 본 발명의 제 2 강압연재의 제조 방법에 대하여 설명한다. 상기와 같이 주조하여 얻어진 주편(예컨대, 슬래브)은 금속 조직이 상기 수학적 2와 수학적 3의 요건을 만족하도록, 얻어진 강편을 Ac<sub>3</sub>점 이상, 1200℃ 이하의 온도역(이하, 이 온도역의 온도를 「가열 온도」 또는 「T1」이라고 부르는 경우가 있음)으로 가열하고, 이어서 열간 압연을 행한다. 열간 압연에서는, 강편의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하인 온도역(이하, 이 온도역의 온도를 「T2」라고 부르는 경우가 있음)에 있어서는 1패스당의 최대 압하율을 12% 이하, 누적 압하율을 40% 이상으로 한다. 이어서 얻어진 열간 압연재의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점 이상인 온도역(이하, 이 온도역의 온도를 「T3」이라고 부르는 경우가 있음)으로부터, 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역(이하, 이 온도역의 온도를 「T4」라고 부르는 경우가 있음)까지 냉각 속도 5℃/초 이상으로 냉각한다. 이하, 이러한 범위를 규정한 이유를 설명한다.

[0138] 주조하여 얻어진 강편은 가열 온도(T1)를 Ac<sub>3</sub>점 이상, 1200℃ 이하로 하여 가열한다. 가열 온도(T1)는 강편의 금속 조직을 오스테나이트로 하기 위해 Ac<sub>3</sub>점 이상으로 가열할 필요가 있다. 그러나 가열 온도가 1200℃를 초과하면, 초기 오스테나이트립이 조대화되기 때문에 변태 조직을 충분히 미세화할 수 없다. 따라서 가열 온도(T1)는 1200℃ 이하로 한다.

[0139] 상기 Ac<sub>3</sub>점의 온도는 하기 수학적 5로부터 산출할 수 있다. 식 중, [ ]는 각 원소의 함유량(질량%)을 나타낸다.

### 수학적 5

[0140]  $Ac_3(℃) = 908 - 223.7 \times [C] + 438.5 \times [P] + 30.49 \times [Si] - 34.43 \times [Mn] - 23 \times [Ni]$

[0141] 가열 온도(T1)로 가열한 강편은 열간 압연되는데, 열간 압연에서는, 강편의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하인 온도역에 있어서는 1패스당의 최대 압하율을 12% 이하, 누적 압하율을 40% 이상으로 할 필요가 있다.

Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에서의 압연 조건을 제어함으로써, 오스테나이트립의 성장을 억제할 수 있고, 변태 전의 오스테나이트립에 변형을 효율적으로 도입할 수 있기 때문에, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립을 미세화할 수 있어, 모재 자체의 저온 인성을 높일 수 있다.

[0142] Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에 있어서의 1패스당의 최대 압하율이 12%를 초과하면, 오스테나이트립에 변형이 과도하게 축적되고, 변형의 회복 현상이 일어나, 변태 후의 조직(대각 입계로 둘러싸인 결정립)이 조대화되기 때문에 모재 자체의 저온 인성이 나빠진다. 따라 변형의 회복을 억제하기 위해, Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에 있어서의 1패스당의 최대 압하율은 12% 이하로 한다. 바람직하게는 11% 이하이며, 더욱 바람직하게는 10% 이하이다. 1패스당의 최대 압하율을 작게 하는 편이 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 조대화 억제 효과가 커지지만, 최대 압하율을 지나치게 작게 하면 제조 시간이 길어져 생산성이 나빠진다. 따라서 1패스당의 최대 압하율의 하한은 6%로 하는 것이 바람직하다.

[0143] Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에 있어서의 누적 압하율은 40% 이상으로 한다. 누적 압하율이 40%를 회하면, 오스테나이트립에 도입되는 변형량이 적어져, 변태 후의 핵생성 부위(site)가 적어지기 때문에, 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 조대화되어, 모재 자체의 저온 인성이 나빠진다. 따라서 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에 있어서의 누적 압하율은 40% 이상으로 한다. 바람직하게는 45% 이상, 더욱 바람직하게는 50% 이상이다. Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하의 온도역에 있어서의 누적 압하율의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 통상 60% 정도이다.

[0144] 상기 Ar<sub>3</sub>점의 온도는 하기 수학적 식 6으로부터 산출할 수 있다. 식 중, [ ]는 각 원소의 함유량(질량%)을 나타내고, t는 제품의 마무리 두께(mm)를 의미한다.

**수학적 식 6**

[0145]  $Ar_3(℃) = 910 - 310 \times [C] - 80 \times [Mn] - 20 \times [Cu] - 55 \times [Ni] + 0.35 \times (t - 8)$

[0146] 상기 누적 압하율은 하기 수학적 식 7로 산출할 수 있다. t<sub>0</sub>은 강편의 평균 온도가 900℃ 이하인 온도역에 있어서의 강편의 압연 개시 두께(mm), t<sub>1</sub>은 강편의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상인 온도역에 있어서의 강편의 압연 종료 두께(mm)를 의미한다.

**수학적 식 7**

[0147]  $누적\ 압하율 = [(t_0 - t_1) / t_0] \times 100$

[0148] 상기 강편의 평균 온도는 후기하는 실시예의 항에서 설명하는 순서로 산출한 t/4 위치에 있어서의 온도로 관리한다. t는 슬래브의 두께(mm)를 의미한다.

[0149] 한편, 강편의 평균 온도가 900℃를 초과하는 온도역(오스테나이트 재결정 영역)에서의 1패스당의 최대 압하율이나 누적 압하율은 특별히 한정되지 않는다.

[0150] 다음으로, 열간 압연하여 얻어진 열간 압연재를, 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점 이상인 온도역(T3)으로부터 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역(T4)까지 평균 냉각 속도 5℃/초 이상으로 냉각함으로써, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 분율을 높일 수 있어 모재 자체의 인성을 향상시킬 수 있다.

[0151] 즉, 본 발명의 제 2 강압연재는 베이나이트 조직을 주체로 한 것이지만, 일반적으로 베이나이트는 오스테나이트 및 베이나이트의 결정 격자의 가장 밀접한 면과, 그에 따른 가장 밀접한 방향이 거의 평행하게 된다고 하는 K-S(Kurdjumov-Scachs) 관계를 가지고 생성되는 것이 알려져 있다. 이 관계에서는, 베이나이트는 오스테나이트에 대하여 최대 24 가지의 방위 중 어느 방위를 선택하여 생성하게 되지만, 베이나이트 변태의 온도가 변화됨으로써 이 선택되는 경향이 변화되어 베이나이트 형태가 변화된다고 말해지고 있다(가와다(Kawada) 등: CAMP-ISJ vol. 16, No. 3(2003), PS30). 이것은 변태 온도가 저하됨에 따라서, 베이나이트가 페라이트 변태로 대표되는 확산 변태로부터 마르텐사이트로 대표되는 전단 변태로 변화되거나, 또는 변태 온도 저하에 의해 변태의 핵 생성능, 생성된 조직의 성장 속도 등이 변화되어, 변태 후의 조직이 크게 변화되기 때문이라고 생각된다. 이상의 점에서, 상기 Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역(T3)으로부터 500℃ 이하의 온도역(T4)으로의 평균 냉각 속도를 크게 함으로

써, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 분율을 높일 수 있다.

[0152] 500℃ 이하의 온도역(T4)까지 평균 냉각 속도 5℃/초 이상으로 냉각한 후에는, 필요에 따라 뜨임을 행해도 좋다. 뜨임함으로써 열간 압연이나 변태에 의해 도입된 변형이 소실되기 때문에, 모재의 저온 인성을 더 높일 수 있다. 뜨임은, 예컨대 500℃ 이상, Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도로 가열하여 행하면 좋다.

[0153] 상기 Ac<sub>1</sub>점의 온도는 하기 수학적 식 8로부터 산출할 수 있다. 식 중, [ ]는 각 원소의 함유량(질량%)을 나타낸다.

**수학적 식 8**

[0154]  $Ac_1(℃) = 723 - 14 \times [Mn] + 22 \times [Si] - 14.4 \times [Ni]$

[0155] 본 발명의 제 2 강압연재는, 예컨대 교량이나 고층 건조물, 선박 등의 구조물의 재료로서 사용할 수 있고, 소~중입열 용접은 물론 대입열 용접에 있어서도 용접 열영향부의 인성 열화를 막을 수 있다.

[0156] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 더 상세히 설명하지만, 하기 실시예는 본 발명을 한정하는 성질의 것이 아니라, 전·후기의 취지에 적합할 수 있는 범위에서 적당히 변경하여 실시하는 것도 가능하고, 그들은 모두 본 발명의 기술적 범위에 포함된다.

[0157] [실시예 1]

[0158] 하기 실험예 1-1, 1-2에서는, 동일 강종을 이용하여 강재의 HAZ 인성과 그 편차(실험예 1-1), 및 강압연재의 강도와 항복비(실험예 1-2)에 관하여 검토하고, 실험예 1-1과 실험예 1-2를 종합하여 강재(강압연재)의 특성을 평가했다.

[0159] [실험예 1-1(HAZ 인성과 그 편차의 평가)]

[0160] 용선(溶銑)을 240톤 전로에서 1차 정련한 후, 이 전로로부터 취과로 출강하여 성분 조정 및 온도 조정하면서 2차 정련을 행했다.

[0161] 취과에서는, Si와 Mn을 이용하여 탈산하고, 하기 표 1에 나타내는 총 산소량 [O]<sub>1</sub>로 조정하면서 화학 성분 조성을 조정했다. 총 산소량 [O]<sub>1</sub>은 용강에 용존 원자로서 포함되는 산소량과 산화물계 개재물로서 존재하고 있는 산소량을 합한 전체 산소량을 의미하며, 용강에 용존 원자로서 포함되는 산소량은 고체 전해질을 이용한 산소 센서를 이용하여 측정하고, 총 산소량은 일반적인 불활성 가스 용해-적외선 흡수법에 의해 측정했다. 한편, 하기 표 1에는, 총 산소량 [O]<sub>1</sub> 외에, REM과 Zr을 첨가하기 전의 용강의 용존 산소량도 함께 나타냈다.

[0162] 상기 총 산소량 [O]<sub>1</sub>에 따라 상기 수학적 식 2를 만족하도록 REM과 Zr의 첨가량을 산출하고, REM과 Zr을 첨가하여 하기 표 1에 나타내는 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>로 조정했다. 하기 표 1에, REM의 첨가량[REM]과, Zr의 첨가량[Zr], REM과 Zr 첨가량의 합계([REM]+[Zr])를 나타낸다. 또한, REM과 Zr 첨가량의 합계와 총 산소량 [O]<sub>1</sub>의 비 ([REM]+[Zr])/[O]<sub>1</sub>도 함께 나타낸다.

[0163] 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>로 조정된 후, 이 [O]<sub>2</sub>량에 영향을 미치지 않을 정도로 화학 성분을 조정하고 나서 주조했다.

[0164] 한편, 2차 정련에는 RH식 탈가스 정련 장치 등을 이용하여 탈H나 탈S 등을 행했다.

[0165] 하기 표 1에 있어서, REM은 La를 50% 정도 및 Ce를 25% 정도 함유하는 미시 메탈의 형태로, Zr은 Zr 단체로 각각 첨가했다.

[0166] 도 1에, REM과 Zr을 첨가하기 전의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>과, REM과 Zr 첨가량의 합계([REM]+[Zr])의 관계를 그래프로 나타낸다. 도 1 중, ○는 하기 표 1의 No. 1~5의 결과, ×는 하기 표 1의 No. 11~15의 결과를 각각 나타낸다. 한편, 도 1에서는, 총 산소량 [O]<sub>1</sub>의 단위를 ppm으로 표기했다.

[0167] 또한 하기 표 2에는, 성분 조정 후의 강재의 성분 조성(잔부는 철 및 불가피 불순물)을 나타낸다.

[0168] 성분 조정 후의 용강을 연속 주조기에서 슬래브로 주조하고, 이 슬래브의 t/4(단, t는 슬래브의 두께) 위치에

있어서의 횡단면으로부터 샘플을 잘라냈다. 잘라낸 샘플 표면을 일본전자제의 EPMA 「JXA-8500F(장치명)」를 이용하여 10,000배로 관찰하여, 최대 직경이 0.2 $\mu$ m 이상인 개재물에 대하여 성분 조성을 정량 분석했다. 관찰 조건은 가속 전압을 7kV, 시료 전류를 0.003 $\mu$ A, 관찰 시야 면적을 1cm<sup>2</sup>, 분석 개수는 무작위로 선택한 100개로 하여, 특성 X선의 파장 분산 분광에 의해 개재물 중앙부에서의 성분 조성을 정량 분석했다. 분석 대상 원소는 Al, Mn, Si, Ti, Zr, Ca, La, Ce로 하고, 분석 대상으로 삼는 원소의 존재비를 몰 환산하고, 환산 후의 원소량 전체를 1몰로 했을 때에, 분석 대상으로 삼는 개재물에 포함되는 각 원소의 몰분율을 산출했다. 몰분율의 산출 결과를 하기 표 3에 나타낸다.

[0169] 상기 샘플 표면을 EPMA로 관찰한 결과, 관찰된 개재물은 REM과 Zr을 포함하는 복합 개재물이 대부분이지만, 단독 개재물로서 REM의 개재물이나 Zr의 개재물도 생성되어 있었다.

[0170] 또한, 강재에 포함되는 고용 REM량과 고용 Zr량은 다음 순서로 산출했다. 우선, 강재에 개재물로서 포함되어 있는 REM량과 Zr량을 전해 추출법으로 측정했다. 전해 추출은, 전해액으로서, 메탄올 100cc 중에 트리아에탄올 아민 2cc와 테트라메틸암모늄 클로라이드 1g을 함유하는 용액을 이용하여, 상기 샘플을 500A/m<sup>2</sup> 이하의 전류하에서 추출(전기분해)했다. 이로써 매트릭스가 용해됨과 동시에, 고용 REM과 고용 Zr도 전해액 중에 추출되었다. 샘플의 크기는 세로 15mm×가로 15mm×길이 5mm로 했다.

[0171] 이어서, 추출 후의 전해액을 멤브레인 필터(필터 직경은 47mm, 구멍 크기는 0.1 $\mu$ m)를 이용하여 여과하고, 필터마다 잔사를 백금제 도가니에 옮겨 가스 버너로 가열하여 회분화했다. 이어서, 알칼리 용제(融劑)(탄산 나트륨과 사붕산 나트륨의 혼합물)를 가하고, 다시 가스 버너로 가열하여 잔사를 용해했다. 다음으로, 18부피% 염산을 가하여 용해물을 용액화한 후, 메스플라스크에 옮기고, 추가로 순수를 가하여 농도를 높여 분석액을 얻었다. 분석액 중의 REM과 Zr 농도를 ICP-MS법으로 측정했다.

[0172] 이렇게 하여 구한 개재물에 포함되는 REM량과 Zr량을, 별도로 통상의 ICP-MS 으로 분석한 REM량(총 REM량) 또는 Zr량(총 Zr량)으로부터 뺀으로써 고용 REM량과 고용 Zr량을 구했다. 산출한 결과를 하기 표 3에 함께 나타냈다. 표 3에 있어서, 「<0.0001」은 원소가 검출되지 않은 것을 의미한다.

[0173] 도 2에, 주조 전의 용강에 포함되는 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>와, 강재에 포함되는 고용 REM량 또는 고용 Zr량의 관계를 그래프로 나타낸다. 한편, 도 2에서는, 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>의 단위를 ppm으로 표기했다. 또한, 도 2에는, 고용 REM 또는 고용 Zr이 검출된 데이터만 플로팅(plotting)했다.

[0174] 다음으로, 용접시에 열영향을 받는 HAZ의 인성을 평가하기 위해, 대입열 용접을 모의하여 하기에 나타내는 용접 재현 시험을 행했다. 용접 재현 시험은 슬래브로부터 잘라낸 샘플이 1400℃가 되도록 가열하고, 이 온도에서 5초간 유지한 후, 냉각하여 행했다. 냉각은 800℃로부터 500℃로의 냉각 시간이 300초가 되도록 조정했다.

[0175] 냉각 후의 샘플의 충격 특성은 V 노치 샤르피 시험을 행하여 -40℃에서의 흡수 에너지(vE<sub>-40</sub>)를 측정하여 평가했다.

[0176] 샘플은 동일 강종으로부터 JIS Z2242 「금속 재료의 샤르피 충격 시험 방법」에 준하여 3개씩 채취하고, 각 샘플에 대하여 vE<sub>-40</sub>을 측정한 결과와 그들의 평균치를 하기 표 4에 나타낸다. vE<sub>-40</sub>의 평균치가 150J 이상인 것을 합격(HAZ 인성 양호)으로 한다.

[0177] 또한, 각 샘플에 대하여, vE<sub>-40</sub>치의 최대치와 최소치에 근거하여 하기 기준으로 인성의 편차를 평가했다. 평가 결과를 하기 표 4에 나타낸다.

[0178] [최대치와 최소치의 평가 기준]

[0179] ○: HAZ 인성의 최대치 또는 최소치가 150J 이상이다.

[0180] ×: HAZ 인성의 최대치 또는 최소치가 150J 미만이다.

[0181] [종합 평가 기준]

[0182] ○: 3개 측정된 결과 중 최소치가 150J 이상으로, 높은 HAZ 인성이 안정되게 확보되어 있다.

[0183] △: 3개 측정된 결과 중 적어도 1개가 150J 이상이지만, HAZ 인성의 편차가 크고, 최소치는 150J 미만이다.

[0184] ×: 3개 측정된 결과 중 모두가 150J 미만이다.

- [0185] 도 3에, 하기 표 4에 나타낸 각 샘플에 대하여 HAZ 인성의 평균치(도면 중의 ○표)와, HAZ 인성의 최대치와 최소치의 폭을 그래프로 나타낸다.
- [0186] 이상의 결과로부터 다음과 같이 고찰할 수 있다. 상기 도 1과 도 3으로부터 분명한 바와 같이, REM과 Zr을 첨가하기 전의 총 산소량  $[O]_1$ 을 0.0020~0.015%(20~150ppm)로 조정된 용강에, 상기 수학적 식 2를 만족하도록 REM과 Zr을 첨가하면, HAZ 인성이 양호해지고, HAZ 인성의 편차도 적어지는 것을 알 수 있다. 한편, 도 1에 나타낸 직선의 식은  $([REM]+[Zr])=15 \times 10^{-4} \times [O]_1$ 이다.
- [0187] 표 1, 표 3, 및 도 2로부터 분명한 바와 같이, 주조 전의 용존 산소량  $[O]_2$ 를 0.0010~0.0035%(10~35 ppm)의 범위로 조정하고 나서 주조하면, 강재에 포함되는 고용 REM량과 고용 Zr량을 소정치 이하로 저감할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0188] 표 2~표 4, 및 도 3으로부터 분명한 바와 같이, No. 1~5는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 예이며, 강재의 화학 성분 중 특히 REM량과 Zr량이 적절히 조정되어 있음과 동시에, 고용 REM량과 고용 Zr량이 적절히 제어되어 있기 때문에, HAZ 인성의 평균치가 150J 이상이 되어 HAZ 인성이 우수하다. 또한, HAZ 인성의 편차도 적어지고 있다.
- [0189] 한편, No. 6~15는 본 발명에서 규정하는 요건으로부터 벗어나는 예이며, 강재의 화학 성분 중 특히 REM량 또는 Zr량이 본 발명에서 규정하는 범위로부터 벗어나고 있거나(No. 6~10, 15), 또는 고용 REM량과 고용 Zr량이 본 발명에서 규정하는 범위로부터 벗어나고 있기 때문에(No. 11~14), HAZ 인성의 평균치가 150J 미만이 되어 HAZ 인성이 뒤떨어지고 있다. 또한, HAZ 인성의 편차도 큰 것이 많아지고 있다.

표 1

No.	경종	REM+Zr 첨가 전 용준 산소량 (질량%)	[O] 1 (질량%)	첨가량			([REM] + [Zr]) / [O] 1	[O] 2 (질량%)
				[REM] (질량%)	[Zr] (질량%)	[REM] + [Zr] (질량%)		
1	a1	0.0015	0.0023	0.010	0.005	0.015	6.5	0.0015
2	b1	0.0050	0.0085	0.067	0.009	0.076	8.9	0.0011
3	c1	0.0024	0.0025	0.010	0.005	0.015	6.0	0.0018
4	d1	0.0055	0.0082	0.020	0.009	0.029	3.5	0.0021
5	e1	0.0030	0.0065	0.013	0.008	0.021	3.2	0.0014
6	f1	0.0046	0.0067	0.030	-	0.030	4.5	0.0017
7	g1	0.0047	0.0068	0.030	-	0.030	4.4	0.0017
8	h1	0.0028	0.0054	-	0.012	0.012	2.2	0.0015
9	i1	0.0041	0.0056	0.005	0.005	0.010	1.8	0.0016
10	j1	0.0022	0.0025	0.015	0.002	0.017	6.8	0.0015
11	k1	0.0027	0.0032	0.020	0.040	0.060	18.8	0.0007
12	l1	0.0032	0.0047	0.115	0.009	0.124	26.1	0.0008
13	m1	0.0035	0.0046	0.080	0.009	0.089	19.5	0.0004
14	n1	0.0040	0.0082	0.208	0.020	0.228	27.8	0.0005
15	o1	0.0025	0.0025	-	-	-	-	0.0004

[0190]

표 2

No.	강종	강재의 화학 성분(질량%)													
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Zr	Ca	기타		
1	a1	0.12	0.24	1.47	0.006	0.001	0.002	0.0041	0.013	0.0025	0.0017	-	Cu : 0.22, Ni : 0.17, Mo : 0.17, Nb : 0.006, V : 0.044		
2	b1	0.16	0.45	1.80	0.013	0.001 미만	0.005	0.0059	0.014	0.0025	0.0026	-	Cr : 0.35, Nb : 0.020, B : 0.0015		
3	c1	0.09	0.30	1.54	0.009	0.003	0.004	0.0052	0.022	0.0028	0.0020	-	Cu : 0.21, Ni : 0.33, Cr : 0.55, B : 0.0011		
4	d1	0.05	0.12	1.53	0.007	0.004	0.003	0.0056	0.018	0.0033	0.0025	-			
5	e1	0.14	0.35	1.45	0.007	0.002	0.005	0.0055	0.015	0.0024	0.0019	-	Cu : 0.22, Ni : 0.17, Mo : 0.17, Nb : 0.006, V : 0.044		
6	f1	0.11	0.24	1.49	0.006	0.001	0.002	0.0041	0.013	0.0034	<0.0001	-			
7	g1	0.04	0.2	1.81	0.007	0.002	0.003	0.0051	0.015	0.0034	<0.0001	-	Nb : 0.0018		
8	h1	0.08	0.16	1.54	0.007	0.003	0.003	0.0047	0.019	<0.0001	0.0013	-			
9	i1	0.13	0.14	1.50	0.006	0.005	0.003	0.0085	0.019	0.0004	0.0022	-			
10	j1	0.05	0.13	0.92	0.013	0.001 미만	0.006	0.0061	0.013	0.0032	0.0004	-			
11	k1	0.11	0.29	1.52	0.008	0.09	0.002	0.0055	0.013	0.0033	0.0100	0.0006			
12	l1	0.05	0.15	1.62	0.007	0.004	0.003	0.0058	0.013	0.0307	0.0070	-			
13	m1	0.04	0.001	1.52	0.010	0.002	0.003	0.0044	0.015	0.0148	0.0045	0.0008			
14	n1	0.07	0.16	1.51	0.008	0.003	0.002	0.0050	0.015	0.0875	0.0090	-	Nb : 0.015		
15	o1	0.08	0.17	1.61	0.006	0.002	0.03	0.0079	0.020	<0.0001	<0.0001	0.0018			

[0191]

표 3

No.	강종	개재물의 화학 성분 (물분율)											합계	고용 REa (질량%)	고용 Rb (질량%)	고용 REa+고용 Zr (질량%)
		Ca	Si	Al	Mn	Ti	Zr	RPM			합계					
								La	Ce	합계						
1	a1	-	-	-	0.112	0.716	0.047	0.050	0.075	0.125	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
2	b1	-	-	-	0.086	0.042	0.356	0.178	0.338	0.516	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
3	c1	-	-	-	0.130	0.606	0.083	0.066	0.115	0.181	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
4	d1	-	-	-	0.201	0.398	0.163	0.089	0.149	0.238	1.000	0.0004	0.0007	0.0011		
5	e1	-	-	-	0.200	0.308	0.263	0.090	0.139	0.229	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
6	f1	-	-	-	0.125	0.454	-	0.177	0.244	0.421	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
7	g1	-	-	-	0.132	0.464	-	0.156	0.248	0.404	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
8	h1	-	-	-	0.264	0.548	0.188	-	-	-	1.000	<0.0001	0.0002	0.0002		
9	i1	-	-	-	0.256	0.448	0.238	0.020	0.038	0.058	1.000	<0.0001	0.0005	0.0005		
10	j1	-	-	-	0.071	0.425	0.042	0.187	0.275	0.462	1.000	0.0002	<0.0001	0.0002		
11	k1	0.043	-	-	0.081	0.317	0.343	0.086	0.130	0.216	1.000	0.0004	0.0014	0.0018		
12	l1	-	-	-	0.055	0.057	0.606	0.115	0.167	0.282	1.000	0.0023	0.0020	0.0043		
13	m1	0.105	-	-	0.062	0.021	0.067	0.237	0.474	0.711	1.000	0.0015	0.0009	0.0024		
14	n1	-	-	-	0.052	0.004	0.096	0.276	0.572	0.848	1.000	0.0565	0.0040	0.0605		
15	o1	0.194	-	-	0.094	0.028	-	-	-	-	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		

표 4

No.	강종	HAZ 인성			평균치	최대치의 평가	최소치의 평가	종합 평가
		vE <sub>40</sub> (J)						
1	a1	209	185	178	191	○	○	○
2	b1	235	215	209	220	○	○	○
3	c1	264	260	242	255	○	○	○
4	d1	261	227	198	229	○	○	○
5	e1	251	220	208	226	○	○	○
6	f1	135	100	105	113	×	×	×
7	g1	140	136	118	131	×	×	×
8	h1	158	19	10	62	○	×	△
9	i1	145	138	75	119	×	×	×
10	j1	155	145	135	145	○	×	△
11	k1	180	15	5	67	○	×	△
12	l1	15	9	9	11	×	×	×
13	m1	172	80	20	91	○	×	△
14	n1	5	5	5	5	×	×	×
15	o1	90	75	5	57	×	×	×

[0193]

[0194]

[실험예 1-2(모재의 인장강도와 항복비의 평가)]

[0195]

상기 실험예 1-1에 기재한 조건으로 주조하여 얻어진 슬래브(강종 a1~o1)를, 마무리 압연 종료 온도가 하기 표 5에 나타내는 온도가 되도록 열간 압연을 행하고, 얻어진 열간 압연재를 Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역으로부터 담금질했다. 담금질은, 열간 압연 후, 하기 표 5에 나타내는 담금질 개시 온도로부터 직접 담금질하거나(하기 표 5에 DQ로 표기), 열간 압연하여 얻어진 열간 압연재를 오프라인으로 하기 표 5에 나타내는 담금질 개시 온도로 가열하고 나서 담금질했다(하기 표 5에 RQ로 표기).

[0196]

담금질 후, Ac<sub>1</sub>점~Ac<sub>3</sub>점의 온도역으로 가열 유지하고, 이 온도역으로부터 담금질을 행했다. 유지 시간은 5분간으로 했다. 하기 표 5에 가열 온도를 나타낸다.

[0197]

이어서 Ac<sub>1</sub>점 미만의 온도역에서 뜨임을 행했다. 하기 표 5에 뜨임 온도를 나타낸다.

[0198]

각 슬래브의 상기 Ar<sub>3</sub>점, 상기 Ac<sub>1</sub>점, 및 상기 Ac<sub>3</sub>점은 하기 방법으로 측정했다. 측정 결과를 하기 표 5에 나타낸다.

[0199]

《Ar<sub>3</sub>점(냉각시 페라이트 변태 개시 온도)의 측정 방법》

[0200]

상기 슬래브로부터 채취한 φ 8mm×길이 12mm의 가공 포마스터 시험편을, 가공 포마스터 시험기에서 1100℃로 가열하여 10초간 유지한 후, 1000℃에서 누적 압하율을 25%로 하여 가공하고, 추가로 900℃에서 누적 압하율을 25%로 하여 가공하고, 그 후 800℃로부터 평균 냉각 속도 1℃/초로 냉각했다. 냉각 중에 부피가 팽창하기 시작하는 온도를 Ar<sub>3</sub>점 온도로서 측정했다.

[0201]

《Ac<sub>1</sub>점(가열시 페라이트 변태 개시 온도)과 Ac<sub>3</sub>점(가열시 페라이트 변태 종료 온도)의 측정》

[0202]

상기 가공 포마스터 시험편을 평균 가열 속도를 10℃/초로 하여 상온으로부터 1000℃까지 가열했을 때 부피가 감소하기 시작하는 온도를 Ac<sub>1</sub>점 온도로 하고, 또한 가열을 계속하여 부피가 팽창하기 시작하는 온도를 Ac<sub>3</sub>점 온도로서 측정했다.

[0203]

상기 압연 종료 온도, 담금질 개시 온도, 가열 온도, 뜨임 온도는 열간 압연재의 두께를 t로 했을 때 t/4 위치에 있어서의 평균 온도로 판리했다. t/4 위치에 있어서의 온도는 하기 순서로 산출했다.

[0204]

《압연 종료 온도의 산출 방법》

[0205]

(1) 프로세스 컴퓨터를 이용하여, 가열 개시부터 추출까지의 분위기 온도와 노 체재 시간에 근거하여 강편의 표면부터 이면까지의 판두께 방향에서의 임의의 위치의 가열 온도를 산출한다.

[0206]

(2) 상기 산출한 가열 온도를 이용하여, 압연 중의 압연 패스 스케줄이나 패스 사이의 냉각 방법(수냉 또는 공냉)의 데이터에 근거하여 판두께 방향의 임의의 위치의 압연 온도를 차분법 등 계산에 적합한 방법을 이용하여 산출하면서 압연한다.

- [0207] (3) 강판 표면 온도는 압연 라인 상에 설치된 방사형 온도계를 이용하여 실측한다(단, 프로세스 컴퓨터 상에서도 계산한다).
- [0208] (4) 조압연 개시시, 조압연 종료시, 및 마무리 압연 개시시에 각각 실측한 강판 표면 온도를 프로세스 컴퓨터 상의 계산 표면 온도와 대조한다.
- [0209] (5) 계산 표면 온도와 실측한 강판 표면 온도의 차이가  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  이상인 경우는, 실측한 강판 표면 온도를 계산 표면 온도로 치환하여 프로세스 컴퓨터 상의 계산 표면 온도로 한다.
- [0210] (6) 보정된 계산 표면 온도를 이용하여 t/4 위치에 있어서의 압연 종료 온도를 구한다.
- [0211] 《담금질 개시 온도, 가열 온도, 뜨임 온도의 산출 방법》
- [0212] (1) 프로세스 컴퓨터를 이용하여, 가열 개시부터 가열 종료까지의 분위기 온도와 노 체제 시간에 근거하여 강판의 표면부터 이면까지의 관두께 방향에서의 임의의 위치의 가열 온도를 산출한다.
- [0213] (2) 산출된 가열 온도로부터 t/4 위치에 있어서의 온도를 구한다.
- [0214] 하기 표 5에는, 냉각하여 얻어진 압연재의 제품 두께(mm)도 나타냈다.
- [0215] 다음으로, 얻어진 압연재의 금속 조직을 다음 순서로 관찰하여 페라이트 분율을 측정했다.
- [0216] 《금속 조직의 관찰》
- [0217] (1) 압연재의 표면과 이면의 양쪽을 포함하도록, 압연 방향(긴 방향)에 평행하게 절단한 샘플을 준비한다.
- [0218] (2) #150~#1000까지의 습식 에머리 연마지, 또는 그것과 동등한 기능을 갖는 연마 방법으로 연마하고, 다이아몬드 슬러리 등의 연마제를 이용하여 경면 마무리를 실시한다.
- [0219] (3) 연마된 샘플을 3% 질산-에탄올 용액(나이탈 용액)으로 에칭하여 페라이트 조직의 결정립계를 출현시킨다.
- [0220] (4) t/4 위치(t는 샘플 두께)의 조직을 100배 또는 400배의 배율로 사진 촬영했다. 페라이트 조직은 흑색으로 착색되어 있다. 본 실험예에서는 6cm×8cm의 사진으로서 촬영했다.
- [0221] (5) 다음으로, 촬영한 사진을 화상 해석 장치에 입력한다(상기 사진의 영역은 배율이 100배인 경우는  $600\mu\text{m} \times 800\mu\text{m}$ , 배율이 400배인 경우는  $150\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 에 상당한다). 화상 해석 장치에의 입력은 어느 배율의 경우도 영역의 합계가 1mm×1mm 이상이 되도록 입력한다(즉, 100배인 경우는 상기 사진을 적어도 6장, 400배인 경우는 상기 사진을 적어도 35장 입력한다).
- [0222] (6) 화상 해석 장치에 있어서, 사진마다 흑색의 면적률을 산출하여 모든 사진의 평균치를 페라이트 분율로 한다.
- [0223] 한편, 상기 현미경 관찰에 있어서, 어느 실시예에 있어서도 잔부는 베이나이트 조직 및/또는 마르텐사이트 조직인 것을 확인했다.
- [0224] 다음으로, 상기 압연재의 금속 조직을 하기 순서로 관찰하여, 결정 방위차가  $15^{\circ}$  이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상단 직경 D를 구했다. D( $\mu\text{m}$ )의 값을 하기 표 6에 나타낸다.
- [0225] 《D의 산출 방법》
- [0226] (1) 압연재의 표면과 이면의 양쪽을 포함하도록, 압연 방향(긴 방향)에 평행한 방향으로 절단한 샘플을 준비한다.
- [0227] (2) #150~#1000까지의 습식 에머리 연마지, 또는 그것과 동등한 기능을 갖는 연마 방법으로 연마하고, 다이아몬드 슬러리 등의 연마제를 이용하여 경면 마무리를 실시한다.
- [0228] (3) 경면 연마면을, TexSEM Laboratories사 제조의 EBSP(Electron Back Scattering Pattern) 장치로, 관두께 방향의 t/4 위치에 있어서 측정 범위를  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ , 피치를  $0.5\mu\text{m}$ 로 하여 2개의 결정의 방위차를 측정하여 결정 방위차가  $15^{\circ}$  이상인 경계를 대각 입계로 했다. 한편, 측정 방향의 신뢰성을 나타내는 컨피던스 인덱스가 0.1보다도 작은 측정점은 해석 대상으로부터 제외했다.
- [0229] (4) 입자 분포도(Grain distribution map)에 있어서, 결정 방위차가  $15^{\circ}$  이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 최대 폭(통상 관두께 방향을 따르는 길이)과 최대 길이(통상 압연 방향을 따르는 길이)를 측정하여, 결정립

의 면적을 산출하고 결정립의 원 상당 직경을 산출하여 평균치를 구했다.

[0230] 다음으로, 얻어진 압연재의 항복강도와 인장강도를 다음 순서로 측정하여 항복비를 산출했다.

[0231] 《항복강도와 인장강도의 측정》

[0232] 압연재의 t/4 위치(t는 압연재의 두께)로부터, 압연 방향(긴 방향)에 대하여 수직이 되도록 JIS Z2201의 4호 시험편을 채취하고, JIS Z2241에 규정되어 있는 조건으로 인장 시험을 행하여 항복강도(YS)와 인장강도(TS)를 측정했다. YS와 TS로부터 항복비를 산출했다. YS, TS, 항복비를 하기 표 6에 나타낸다. 본 발명에서는, TS가 590MPa 이상이고 항복비가 80% 이하인 경우를 인장특성이 우수하다(합격)고 평가했다.

[0233] 이상의 결과에 근거하여 도 4~도 9를 작성했다.

[0234] 도 4는 압연 종료 온도와, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 4에는, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 33~38의 결과만을 나타냈다.

[0235] 도 5는 담금질 개시 온도와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 5에는, 열간 압연 후에 직접 담금질(DQ)을 행한 예 중, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 28~32의 결과만을 나타냈다.

[0236] 도 6은 2상역 부근의 온도에서 가열 유지했을 때의 가열 온도와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 6에는, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 21~25의 결과만을 나타냈다.

[0237] 도 7은 페라이트 분율과 인장강도(TS)의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 7에는, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 28~32의 결과만을 나타냈다.

[0238] 도 8은 페라이트 분율과 항복비의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 8에는, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 21~48의 결과 모두를 나타냈다.

[0239] 도 9는 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D와 항복비의 관계를 나타내는 그래프이다. 한편, 도 9에는, 표 5, 표 6에 나타낸 No. 33~38의 결과만을 나타냈다.

**표 5**

No.	강종	압연 종료 온도 (°C)	담금질		가열 온도 (°C)	뜨임 온도 (°C)	제품 두께 (mm)	Ar <sub>3</sub> (°C)	Ac <sub>1</sub> (°C)	Ac <sub>3</sub> (°C)
			방법	개시 온도 (°C)						
21	a1	870	RQ	930	780	580	50	746	705	838
22	a1	870	RQ	930	810	580	50	746	705	838
23	a1	870	RQ	930	730	580	50	746	705	838
24	a1	870	RQ	930	700	580	50	746	705	838
25	a1	870	RQ	930	850	580	50	746	705	838
26	b1	870	RQ	930	780	580	80	735	708	830
27	c1	870	RQ	930	780	600	100	766	706	831
28	d1	870	DQ	780	780	580	50	749	733	846
29	d1	870	DQ	800	780	580	50	749	733	846
30	d1	870	DQ	770	780	580	80	749	733	846
31	d1	870	DQ	700	780	580	50	749	733	846
32	d1	870	DQ	400	780	580	50	749	733	846
33	e1	800	DQ	720	780	580	50	748	710	840
34	e1	840	DQ	780	780	580	50	748	710	840
35	e1	870	DQ	800	780	580	50	748	710	840
36	e1	900	DQ	820	780	580	50	748	710	840
37	e1	940	DQ	840	780	580	50	748	710	840
38	e1	970	DQ	870	780	580	50	748	710	840
39	f1	870	RQ	930	780	580	50	727	705	840
40	g1	870	RQ	930	780	580	80	771	702	846
41	h1	870	RQ	930	780	580	80	780	705	845
42	i1	870	RQ	930	780	580	80	768	705	834
43	j1	870	DQ	700	780	580	80	839	713	875
44	k1	870	DQ	800	770	580	80	773	708	843
45	l1	870	DQ	800	700	580	80	783	704	849
46	m1	870	RQ	930	900	580	80	794	702	851
47	n1	870	RQ	930	780	550	80	786	705	849
48	o1	870	RQ	930	770	580	80	775	704	842

[0240]

표 6

No.	강종	페라이트 분율 (면적%)	베이나이트 와 마르텐 사이트의 합계 분율 (질량%)	D ( $\mu\text{m}$ )	인장 특성		
					YS(MPa)	T S(MPa)	항복비(%)
21	a1	10.7	87.6	36.2	467	616	76
22	a1	12.1	87.9	38.4	446	591	75
23	a1	8.4	91.6	36.9	488	631	77
24	a1	0	99.0	35.4	506	541	94
25	a1	0	100	37.9	731	759	96
26	b1	12.9	86.0	38.2	481	651	74
27	c1	11.3	88.7	44.8	461	609	76
28	d1	13.7	85.1	37.3	471	649	73
29	d1	8.3	91.7	38.1	498	659	76
30	d1	23.1	74.2	35.9	424	595	71
31	d1	33.6	63.4	43.1	383	561	68
32	d1	47.7	50.1	45.4	371	541	69
33	e1	10.5	89.5	29.8	465	562	83
34	e1	13.5	86.5	33.3	491	601	82
35	e1	10.0	88.8	36.0	482	611	79
36	e1	11.0	89.0	39.9	465	615	76
37	e1	8.5	91.5	45.1	456	625	73
38	e1	12.0	88.0	49.2	442	639	69
39	f1	11.0	89.0	37.9	477	620	77
40	g1	9.7	90.3	39.1	437	599	73
41	h1	10.4	88.2	36.2	462	618	75
42	i1	10.2	89.8	35.0	483	651	74
43	j1	27.2	65.3	43.1	391	565	69
44	k1	7.1	92.9	37.9	509	662	77
45	l1	0	98.0	36.4	518	584	89
46	m1	0	100	39.8	654	708	92
47	n1	9.9	89.2	38.2	483	671	72
48	o1	10.3	89.7	38.8	512	691	74

[0241]

[0242]

상기 실험예 1-1과 상기 실험예 1-2의 결과를 종합하면, 상기 표 4와 상기 표 6으로부터 다음과 같이 고찰할 수 있다.

[0243]

No. 21~23, 26~30, 35~38은 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 a1~e1을 이용한 예이며, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차도 적고, 표 6으로부터 분명한 바와 같이, 590MPa 이상의 인장강도와 80% 이하의 항복비를 실현하고 있다.

[0244]

No. 24, 25는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 a1을 이용하고 있기 때문에, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차는 적지만, 페라이트가 생성되지 않고 있기 때문에 항복비가 80%를 초과하고 있다.

[0245]

No. 31, 32는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 d1을 이용하고 있기 때문에, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차는 적지만, 페라이트가 24%를 초과하여 생성되고 있기 때문에, 인장강도가 590MPa 미만으로 되어 있다.

[0246]

No. 33, 34는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 e1을 이용하고 있기 때문에, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차는 적지만, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D가 35 $\mu\text{m}$  미만으로 되어 있기 때문에, 모재의 항복비가 80%를 초과하여 높아지고 있다.

[0247]

No. 39~48은 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하지 않는 강종 f1~강종 o1을 이용하고 있기 때문에, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 나쁘고, HAZ 인성의 편차도 커지고 있다. 특히, No. 43, 45, 46은 페라이트 분율이 적절히 제어되어 있지 않기 때문에, 인장강도가 낮거나 항복비가 커지고 있다.

[0248]

[실시예 2]

[0249]

하기 실험예 2-1, 2-2에서는, 동일 강종을 이용하여 강재의 HAZ 인성과 그 편차(실험예 2-1), 및 강재 자체의 저온 인성(실험예 2-2)에 관하여 검토하고, 실험예 2-1과 실험예 2-2를 종합하여 강재(강압연재)의 특성을 평가했다.

- [0250] [실험예 2-1(HAZ 인성과 그 편차의 평가)]
- [0251] 실험예 1-1과 같은 방법으로 강재를 얻어, 실험예 1-1과 같은 측정·시험 방법에 의해 강재의 평가를 행했다. 표 8에 나타내는 조성의 각 강종을, 표 7에 나타내는 것과 같은 조건으로 강재를 얻어 평가했다. 측정·평가 결과를 표 9, 10에 나타낸다.
- [0252] 도 10에, REM과 Zr을 첨가하기 전의 총 산소량  $[O]_1$ 과, REM과 Zr 첨가량의 합계( $[REM]+[Zr]$ )의 관계를 그래프로 나타낸다. 도 10 중, ○는 하기 표 7의 No. 101~104의 결과, ×는 하기 표 7의 No. 109~112의 결과를 각각 나타낸다. 한편, 도 7에서는, 총 산소량  $[O]_1$ 의 단위를 ppm으로 표기했다.
- [0253] 도 11에, 주조 전의 용강에 포함되는 용존 산소량  $[O]_2$ 와, 강재에 포함되는 고용 REM량 또는 고용 Zr량의 관계를 그래프로 나타낸다. 한편, 도 11에서는, 용존 산소량  $[O]_2$ 의 단위를 ppm으로 표기했다. 또한, 도 2에는, 고용 REM 또는 고용 Zr이 검출된 데이터만 플로팅했다.
- [0254] 표 7, 9 및 도 10~12에 나타내진 결과로부터, 실시예 1-1의 고찰에서 말한 것과 동일한 것을 말할 수 있다.
- [0255] 표 8~표 10, 및 도 12로부터 분명한 바와 같이, No. 101~104는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 예이며, 강재의 화학 성분 중 특히 REM량과 Zr량이 적절히 조정되어 있음과 동시에, 고용 REM량과 고용 Zr량이 적절히 제어되어 있기 때문에, HAZ 인성의 평균치가 150J 이상이 되어 HAZ 인성이 우수하다. 또한, HAZ 인성의 편차도 적어지고 있다.
- [0256] 한편, No. 105~113은 본 발명에서 규정하는 요건으로부터 벗어나는 예이며, 강재의 화학 성분 중 특히 REM량 또는 Zr량이 본 발명에서 규정하는 범위로부터 벗어나고 있거나(No. 105~108, 113), 또는 고용 REM량과 고용 Zr량이 본 발명에서 규정하는 범위로부터 벗어나고 있기 때문에(No. 109~112), HAZ 인성의 평균치가 150J 미만 이 되어 HAZ 인성이 뒤떨어지고 있다. 또한, HAZ 인성의 편차도 큰 것이 많아지고 있다.

표 7

No.	강종	REM가 첨가 전 용존 산소량 (질량%)	[O] <sub>1</sub> (질량%)	첨가량			([REM] + [Zr]) / [O] <sub>1</sub>	[O] <sub>2</sub> (질량%)
				[REM] (질량%)	[Zr] (질량%)	[REM] + [Zr] (질량%)		
101	a2	0.0015	0.0023	0.010	0.005	0.015	6.5	0.0015
102	b2	0.0050	0.0085	0.067	0.009	0.076	8.9	0.0011
103	c2	0.0024	0.0025	0.010	0.005	0.015	6.0	0.0018
104	d2	0.0055	0.0082	0.020	0.009	0.029	3.5	0.0021
105	e2	0.0047	0.0068	0.030	-	0.030	4.4	0.0017
106	f2	0.0028	0.0054	-	0.012	0.012	2.2	0.0015
107	f2	0.0041	0.0056	0.005	0.005	0.010	1.8	0.0016
108	h2	0.0022	0.0025	0.015	0.002	0.017	6.8	0.0015
109	i2	0.0027	0.0032	0.020	0.040	0.060	18.8	0.0007
110	j2	0.0032	0.0047	0.115	0.009	0.124	26.1	0.0008
111	k2	0.0035	0.0046	0.080	0.009	0.089	19.5	0.0004
112	l2	0.0040	0.0082	0.208	0.020	0.228	27.8	0.0005
113	m2	0.0025	0.0025	-	-	-	-	0.0004

[0257]

표 8

No.	강종	강재의 화학 성분 (질량%)															
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Zr	Ca	Cu	Ni	Nb	B	
101	a2	0.12	0.30	1.62	0.007	0.003	0.003	0.0067	0.02	0.0025	0.0017	-	-	-	0.025	-	
102	b2	0.08	0.13	0.92	0.014	0.001 미만	0.006	0.0040	0.013	0.0025	0.0026	-	-	-	0.020	0.0027	
103	c2	0.07	0.20	1.56	0.009	0.004	0.003	0.0070	0.017	0.0028	0.0020	0.0014	-	-	0.015	-	
104	d2	0.05	0.001	1.53	0.008	0.005	0.003	0.0055	0.018	0.0033	0.0025	-	0.21	0.33	-	0.0011	
105	e2	0.04	0.2	1.81	0.007	0.002	0.003	0.0053	0.015	0.0034	<0.0001	-	-	-	0.018	-	
106	f2	0.08	0.16	1.54	0.007	0.003	0.003	0.0046	0.019	<0.0001	0.0013	-	-	-	-	-	
107	g2	0.13	0.14	1.50	0.006	0.005	0.003	0.0088	0.019	0.0004	0.0022	-	-	-	-	-	
108	h2	0.05	0.13	0.92	0.013	0.001 미만	0.006	0.0060	0.013	0.0032	0.0004	-	-	-	-	-	
109	i2	0.11	0.29	1.52	0.008	0.09	0.002	0.0053	0.013	0.0033	0.0100	0.0006	-	-	-	-	
110	j2	0.05	0.15	1.62	0.007	0.004	0.003	0.0060	0.013	0.0307	0.0070	-	-	-	-	-	
111	k2	0.04	0.001	1.52	0.010	0.002	0.003	0.0042	0.015	0.0148	0.0045	0.0008	-	-	-	-	
112	l2	0.07	0.16	1.51	0.008	0.003	0.002	0.0048	0.015	0.0875	0.0090	-	-	-	0.015	-	
113	m2	0.08	0.17	1.61	0.006	0.002	0.03	0.0080	0.020	<0.0001	<0.0001	0.0018	-	-	-	-	

표 9

No.	강종	개재물의 화학 성분 (물분율)											합계	고용 REM (질량%)	고용 Zr (질량%)	고용 REM+고용 Zr (질량%)
		Ca	Si	Al	Mn	Ti	Zr	REM		합계						
101	a2	-	-	-	0.112	0.716	0.047	0.050	0.075	0.125	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
102	b2	-	-	-	0.086	0.042	0.356	0.178	0.338	0.516	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
103	c2	-	-	-	0.130	0.606	0.083	0.066	0.115	0.181	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
104	d2	-	-	-	0.201	0.398	0.163	0.089	0.149	0.238	1.000	0.0004	0.0007	0.0011		
105	e2	-	-	-	0.132	0.464	-	0.156	0.248	0.404	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
106	f2	-	-	-	0.264	0.548	0.188	-	-	-	1.000	<0.0001	0.0002	0.0002		
107	g2	-	-	-	0.256	0.448	0.238	0.020	0.038	0.058	1.000	<0.0001	0.0005	0.0005		
108	h2	-	-	-	0.071	0.425	0.042	0.187	0.275	0.462	1.000	0.0002	<0.0001	0.0002		
109	i2	0.043	-	-	0.081	0.317	0.343	0.086	0.130	0.216	1.000	0.0004	0.0014	0.0018		
110	j2	-	-	-	0.055	0.057	0.606	0.115	0.167	0.282	1.000	0.0023	0.0020	0.0043		
111	k2	0.105	-	-	0.034	0.062	0.021	0.067	0.237	0.474	1.000	0.0015	0.0009	0.0024		
112	l2	-	-	-	0.052	0.004	0.096	0.276	0.572	0.848	1.000	0.0565	0.0040	0.0605		
113	m2	0.194	-	-	0.684	0.094	0.028	-	-	-	1.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001		

[0259]

표 10

No.	강종	HAZ 인성 vE <sub>-40</sub> (J)			평균치	최대치의 평가	최소치의 평가	종합 평가
		209	185	178				
101	a2	209	185	178	191	○	○	○
102	b2	235	215	209	220	○	○	○
103	c2	264	260	242	255	○	○	○
104	d2	261	227	198	229	○	○	○
105	e2	140	136	118	131	×	×	×
106	f2	158	19	10	62	○	×	△
107	g2	145	138	75	119	×	×	×
108	h2	155	145	135	145	○	×	△
109	i2	180	15	5	67	○	×	△
110	j2	15	9	9	11	×	×	×
111	k2	172	80	20	91	○	×	△
112	l2	5	5	5	5	×	×	×
113	m2	90	75	5	57	×	×	×

[0260]

- [0261] [실험예 2-2(모재의 저온 인성의 평가)]
- [0262] 상기 실험예 2-1에 기재한 조건으로 주조하여 얻어진 슬래브(강종 a2~m2)를, 하기 표 5에 나타내는 가열 온도(T1)로 가열한 후, 열간 압연하여 열간 압연재를 얻었다. 열간 압연은 슬래브의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점+10℃ 이상, 900℃ 이하인 온도역(T2)에 있어서의 1패스당의 최대 압하율과 누적 압하율을 하기 표 5에 나타내는 조건으로 행했다. 누적 압하율은 상기 수학적 식 7을 이용하여 산출했다.
- [0263] 다음으로, 열간 압연하여 얻어진 열간 압연재를, 열간 압연재의 평균 온도가 Ar<sub>3</sub>점 이상인 온도역(T3)으로부터 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역(T4)까지 냉각했다. 냉각 개시 온도(T3)와 냉각시의 평균 냉각 속도를 하기 표 5에 나타낸다.
- [0264] 하기 표 11의 No. 123에 관해서는, 열간 압연재의 표면 온도가 500℃ 이하인 온도역(T4)까지 냉각한 후, 580℃로 가열하여 뜨임을 행했다.
- [0265] 한편, 상기 슬래브 또는 상기 열간 압연재의 평균 온도는 슬래브 또는 열간 압연재의 두께를 t로 했을 때 t/4 위치에 있어서의 온도로 관리했다. t/4 위치에 있어서의 온도는 하기 순서로 계산했다.
- [0266] 《평균 온도의 산출 방법》
- [0267] (1) 프로세스 컴퓨터를 이용하여, 가열 개시부터 추출까지의 분위기 온도와 노 체재 시간에 근거하여 강편의 표면부터 이면까지의 관두께 방향에서의 임의의 위치의 가열 온도를 산출한다.
- [0268] (2) 상기 산출한 가열 온도를 이용하여, 압연 중의 압연 패스 스케줄이나 패스 사이의 냉각 방법(빙냉 또는 공냉)의 데이터에 근거하여 관두께 방향의 임의의 위치의 압연 온도를 차분법 등 계산에 적합한 방법을 이용하여 산출하면서 압연한다.
- [0269] (3) 강판 표면 온도는 압연 라인 상에 설치된 방사형 온도계를 이용하여 실측한다(단, 프로세스 컴퓨터 상에서도 계산한다).
- [0270] (4) 조압연 개시시, 조압연 종료시, 및 마무리 압연 개시시에 각각 실측한 강판 표면 온도를 프로세스 컴퓨터 상의 계산 표면 온도와 대조한다.
- [0271] (5) 계산 표면 온도와 실측한 강판 표면 온도의 차이가 ±30℃ 이상인 경우는, 실측한 강판 표면 온도를 계산 표면 온도로 치환하여 프로세스 컴퓨터 상의 계산 표면 온도로 한다.
- [0272] (6) 보정된 계산 표면 온도를 이용하여 t/4 위치에 있어서의 온도를 구한다.
- [0273] 한편, 열간 압연재의 표면 온도는 압연 라인 상에 설치된 방사형 온도계를 이용하여 측정했다.
- [0274] 하기 표 11에는, 냉각하여 얻어진 압연재의 제품 두께(mm)도 나타냈다. 또한, 하기 표 11에는, 상기 표 8에 나타낸 화학 성분 조성에 근거하여 상기 수학적 식 5, 수학적 식 6, 및 수학적 식 8을 이용하여 산출한 Ac<sub>3</sub>점, Ar<sub>3</sub>점, Ac<sub>1</sub>점의 값도 나타낸다.
- [0275] 다음으로, 얻어진 압연재의 t/4 위치(t는 관두께)로부터 경면 연마 후 시험편을 채취하고, 이것을 2% 질산-에탄올 용액(나이탈 용액)으로 에칭한 후, 5 시야에 있어서 광학 현미경을 이용하여 400배로 관찰하고, 화상 해석에 의해 강 조직 중의 베이나이트 분율(면적%)을 측정했다. 이 때, 페라이트 및 마르텐사이트 이외의 조직은 모두 베이나이트라고 간주했다. 베이나이트 분율(면적%)을 하기 표 12에 나타낸다.
- [0276] 또한, 상기 압연재의 금속 조직을 하기 순서로 관찰하여, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D와, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강재 전체에서 차지하는 비율 M을 구했다. D(μm)와 M(면적%)의 값을 하기 표 12에 나타낸다.
- [0277] 《D의 산출 방법》
- [0278] 실시예 1-2에 있어서의 방법과 동일하다.
- [0279] 《M의 산출 방법》
- [0280] 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강재 전체에서 차지하는 비율 M은 상기 D의 산출 방법에 있어서의 (3)의 공정에서 결정 방위차의 텍스트 데이터를 해석하여 산출했다. 텍스트 데이터의 해석은 결정 방위차가 5° 이하인 것을 노이즈(noise)로 하여 삭제하고, 금속 조직 전체에서 차지하는 결정 방위차가 55

° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 면적 분율을 산출했다.

- [0281] 평균 원 상당 직경 D와 미(未)재결정역에 있어서의 누적 압하율의 관계를 도 13에 나타낸다. 도 13으로부터 분명한 바와 같이, 미재결정역에 있어서의 누적 압하율을 40% 이상으로 하면, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D를 30 $\mu$ m 이하로 할 수 있다.
- [0282] 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율 M과, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역(T3)으로부터 500℃ 이하의 온도역(T4)으로의 평균 냉각 속도의 관계를 도 5에 나타낸다. 도 5로부터 분명한 바와 같이, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역(T3)으로부터 500℃ 이하의 온도역(T4)으로의 평균 냉각 속도를 5℃/초 이상으로 제어하면, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율 M을 50면적% 이상으로 할 수 있다.
- [0283] 다음으로, 얻어진 압연재의 저온 인성을 다음 순서로 평가했다.
- [0284] 《저온 인성의 평가 방법》
- [0285] 압연재의 저온 인성은, V 노치 샤르피 시험을 행하여 압연재의 충격 특성을 -60℃에서의 흡수 에너지(vE<sub>-60</sub>)를 측정함으로써 평가했다. vE<sub>-60</sub>의 측정은 t/4 위치로부터 NK(일본 해사협회) 선급이 정하는 U4호 시험편을 채취하여 JIS Z2242에 따라서 행했다. 측정 결과를 하기 표 6에 나타낸다.
- [0286] 한편, NK 선급에 있어서의 조선 E 등급에서는 모재의 충격 특성을 시험 온도 -40℃에서 평가하기 때문에, 본 실험에에서는 조건을 더욱 엄격하게 시험 온도를 -60℃로 하여 흡수 에너지(vE<sub>-60</sub>)를 측정하고, 이 평균치가 100J 이상인 것을 합격(모재의 저온 인성이 양호)으로 했다.
- [0287] 평균 원 상당 직경 D와, 압연재의 vE<sub>-60</sub>의 관계를 도 15에 나타낸다. 도 15로부터 분명한 바와 같이, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D를 30 $\mu$ m 이하로 하면, vE<sub>-60</sub>을 100J 이상으로 할 수 있어, 모재 자체의 저온 인성을 개선할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0288] 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 전체에서 차지하는 비율 M과, 압연재의 vE<sub>-60</sub>의 관계를 도 16에 나타낸다. 도 16으로부터 분명한 바와 같이, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율 M을 50면적% 이상으로 하면, vE<sub>-60</sub>을 100J 이상으로 할 수 있어, 모재 자체의 저온 인성을 개선할 수 있는 것을 알 수 있다.

표 11

No	강종	가열 온도 (°C)	최대 입하율 (%)	누적 입하율 (%)	입면 온도 (°C)	냉각 개시 온도 (°C)	평균 냉각 속도 (°C/초)	제품 무게 (mm)	Ars (°C)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)
121	a2	1100	10	53	795	782	8	50	758	707	838
122	b2	1100	12	53	855	845	8	60	830	713	869
123	b2	1100	11	60	850	840	8	60	830	713	869
124	b2	1100	12	54	855	843	8	60	830	713	869
125	b2	1200	10	55	850	841	8	60	830	713	869
126	b2	1100	14	45	855	843	8	60	830	713	869
127	b2	1100	12	50	855	845	12	60	830	713	869
128	b2	1100	12	50	865	852	8	60	830	713	869
129	b2	1100	12	50	865	855	8	60	830	713	869
130	b2	1100	12	50	848	842	8	60	830	713	869
131	b2	1100	12	50	850	835	5	60	830	713	869
132	c2	1100	10	52	810	792	8	55	780	706	849
133	d2	1100	12	50	795	785	8	80	775	697	840
134	e2	1150	12	40	805	795	8	60	771	702	846
135	f2	1000	12	45	810	800	8	60	780	705	845
136	g2	1100	12	27	805	795	8	60	768	706	834
137	h2	1130	12	30	860	850	8	60	839	713	875
138	i2	1100	10	38	805	790	8	60	773	708	843
139	j2	1100	11	33	825	815	8	60	783	704	849
140	k2	1100	11	50	830	820	4	60	794	702	851
141	l2	1100	11	50	815	805	3	60	786	705	849
142	m2	1100	11	50	805	795	3	60	775	704	842

표 12

No.	강종	베이나이트 분율 (면적%)	D (μm)	M (면적%)	vE <sub>-60</sub> (J)
121	a2	89	22.5	65	200
122	b2	90	22.7	61	265
123	b2	90	20.3	65	295
124	b2	88	22.5	64	250
125	b2	85	21.3	68	280
126	b2	87	35	64	60
127	b2	100	25	75	285
128	b2	95	24	68	275
129	b2	93	24	70	280
130	b2	95	23.5	64	250
131	b2	96	23.9	55	180
132	c2	92	22.9	69	220
133	d2	93	24.9	65	180
134	e2	89	30	68	110
135	f2	86	28	67	155
136	g2	85	40	64	7
137	h2	95	38	68	15
138	i2	92	32	63	85
139	j2	88	35	65	55
140	k2	80	26	48	95
141	l2	82	26	40	85
142	m2	81	25	45	90

[0289]

[0290]

- [0291] 상기 실험에 2-1과 상기 실험에 2-2의 결과를 종합하면, 상기 표 10과 상기 표 12로부터 다음과 같이 고찰할 수 있다.
- [0292] No. 121~125, 127~133은 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 a2~d2를 이용한 예이며, 표 4로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차도 적고, 표 12로부터 분명한 바와 같이, 모재 자체의 저온 인성도 양호하다.
- [0293] No. 126은 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하는 강종 b2를 이용하고 있기 때문에, 표 10으로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 양호하고, HAZ 인성의 편차는 적지만, 미재결정역에 있어서의 1패스당의 최대 압하율이 12%를 초과하고 있기 때문에, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D가 30 $\mu$ m를 초과해 버려, 모재의 저온 인성이 나빠지고 있다.
- [0294] No. 134와 No. 135는, 표 12로부터 분명한 바와 같이, 모재의 저온 인성은 양호하지만, 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하지 않는 강종 e2와 강종 f2를 이용하고 있기 때문에, 표 10으로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 나쁘고, HAZ 인성의 편차도 커지고 있다.
- [0295] No. 136~142는 본 발명에서 규정하는 요건을 만족하지 않는 강종 g2~강종 m2를 이용하고 있기 때문에, 표 10으로부터 분명한 바와 같이, HAZ 인성이 나쁘고, HAZ 인성의 편차도 커지고 있다. 또한, 표 12로부터 분명한 바와 같이, 금속 조직이 적절히 제어되어 있지 않기 때문에, 모재 자체의 저온 인성도 나빠지고 있다.

**도면의 간단한 설명**

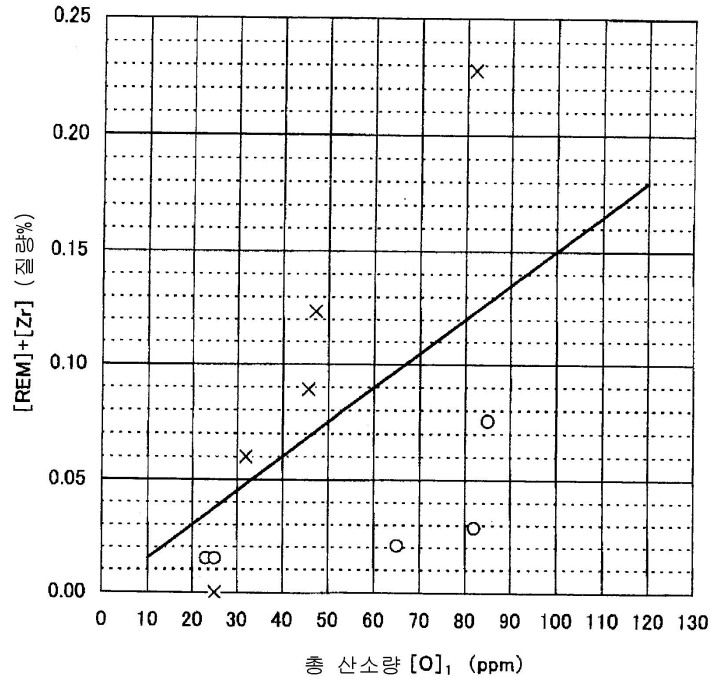
- [0296] 도 1은 실시예 1에 있어서, REM과 Zr을 첨가하기 전의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>과, REM과 Zr 첨가량의 합계의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0297] 도 2는 실시예 1에 있어서, 주조 전의 용강에 포함되는 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>와, 강제에 포함되는 고용 REM량 또는 고용 Zr량의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0298] 도 3은 실시예 1에 있어서, HAZ 인성의 평균치와, HAZ 인성의 최대치와 최소치의 폭을 나타내는 그래프이다.
- [0299] 도 4는 실시예 1에 있어서, 압연 종료 온도와, 결정 방위차가 15° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0300] 도 5는 실시예 1에 있어서, 담금질 개시 온도와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0301] 도 6은 실시예 1에 있어서, 2상역 부근의 온도에서 가열 유지했을 때의 가열 온도와 페라이트 분율의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0302] 도 7은 실시예 1에 있어서, 페라이트 분율과 인장강도(TS)의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0303] 도 8은 실시예 1에 있어서, 페라이트 분율과 항복비의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0304] 도 9는 실시예 1에 있어서, 대각 입계로 둘러싸인 결정립의 평균 원 상당 직경 D와 항복비의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0305] 도 10은 실시예 2에 있어서, REM과 Zr을 첨가하기 전의 총 산소량 [O]<sub>1</sub>과, REM과 Zr 첨가량의 합계의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0306] 도 11은 실시예 2에 있어서, 주조 전의 용강에 포함되는 용존 산소량 [O]<sub>2</sub>와, 강제에 포함되는 고용 REM량 또는 고용 Zr량의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0307] 도 12는 실시예 2에 있어서, HAZ 인성의 평균치와, HAZ 인성의 최대치와 최소치의 폭을 나타내는 그래프이다.
- [0308] 도 13은 실시예 2에 있어서, 평균 원 상당 직경 D와 미재결정역에 있어서의 누적 압하율의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0309] 도 14는 실시예 2에 있어서, 결정 방위차가 55° 이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율 M과, Ar<sub>3</sub>점 이상의 온도역(T3)으로부터 500℃ 이하의 온도역(T4)으로의 평균 냉각 속도의 관계를 나타내는 그래프이다.

[0310] 도 15는 실시예 2에 있어서, 평균 원 상당 직경 D와, 압연재의  $vE_{-60}$ 의 관계를 나타내는 그래프이다.

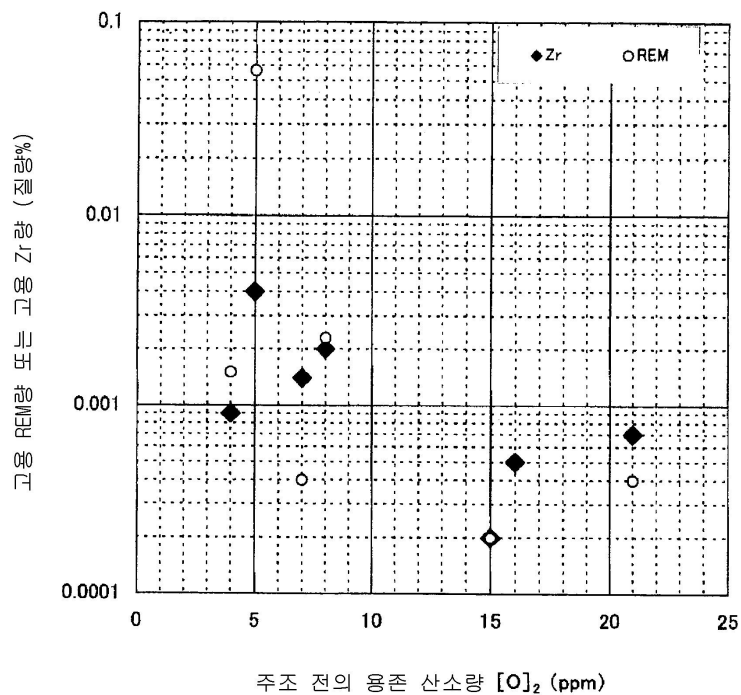
[0311] 도 16은 실시예 2에 있어서, 결정 방위차가  $55^\circ$  이상인 대각 입계로 둘러싸인 결정립이 강제 전체에서 차지하는 비율 M과, 압연재의  $vE_{-60}$ 의 관계를 나타내는 그래프이다.

도면

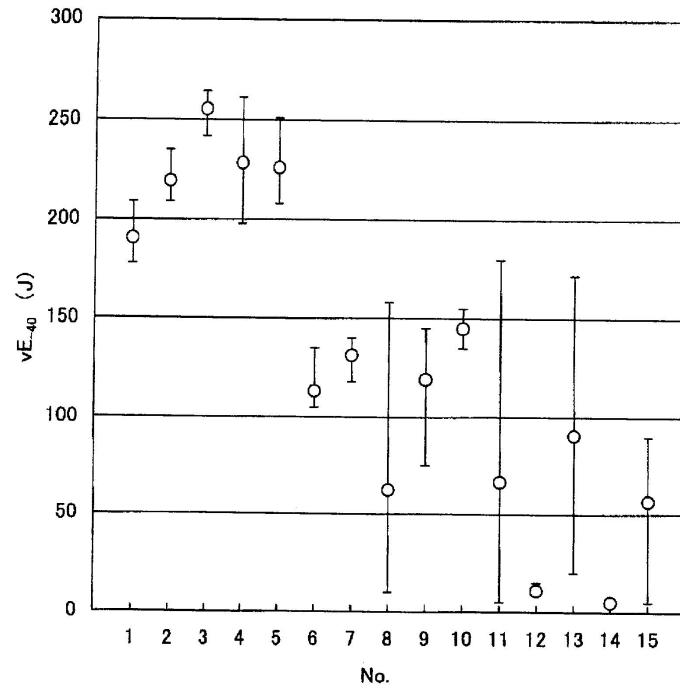
도면1



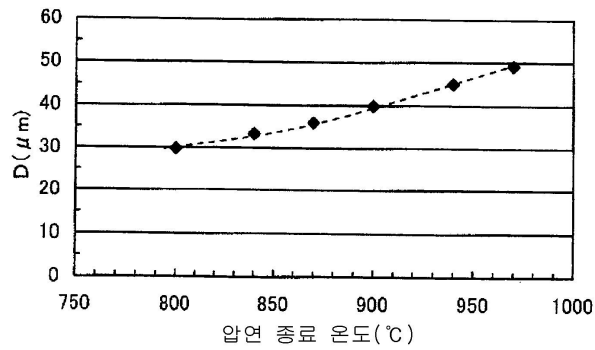
도면2



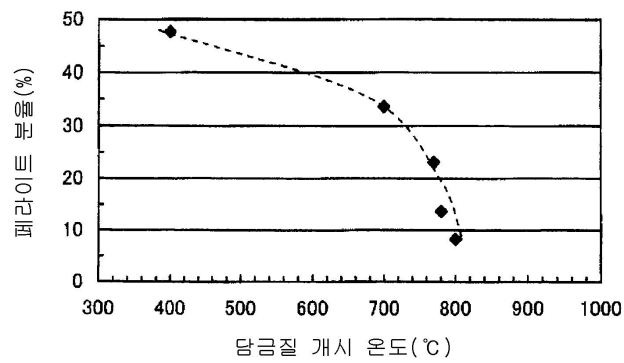
도면3



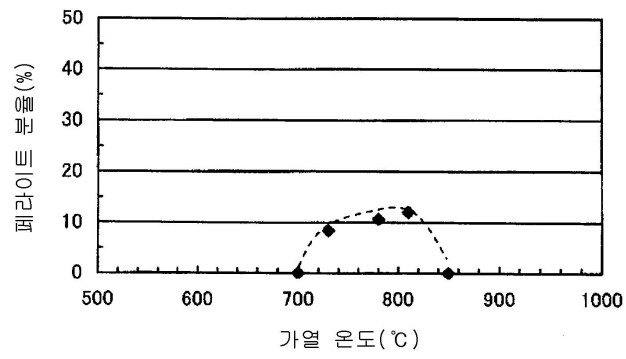
도면4



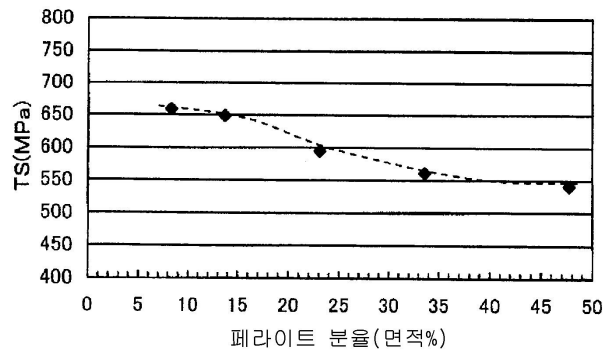
도면5



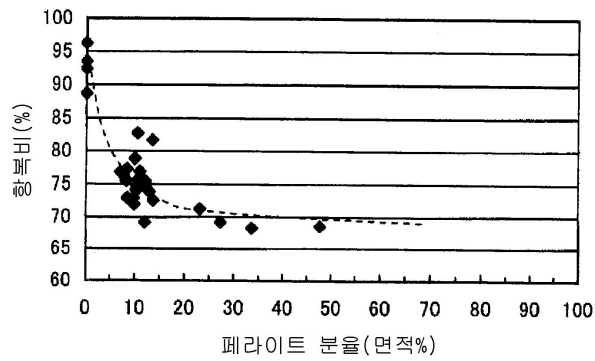
도면6



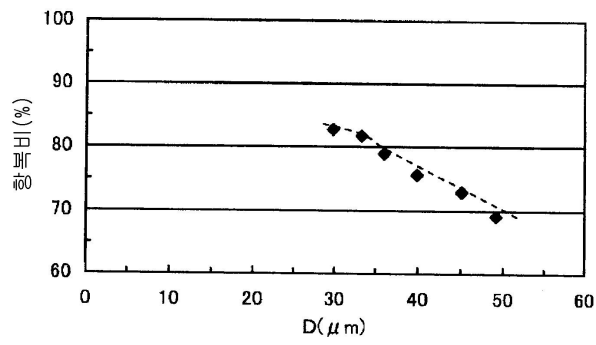
도면7



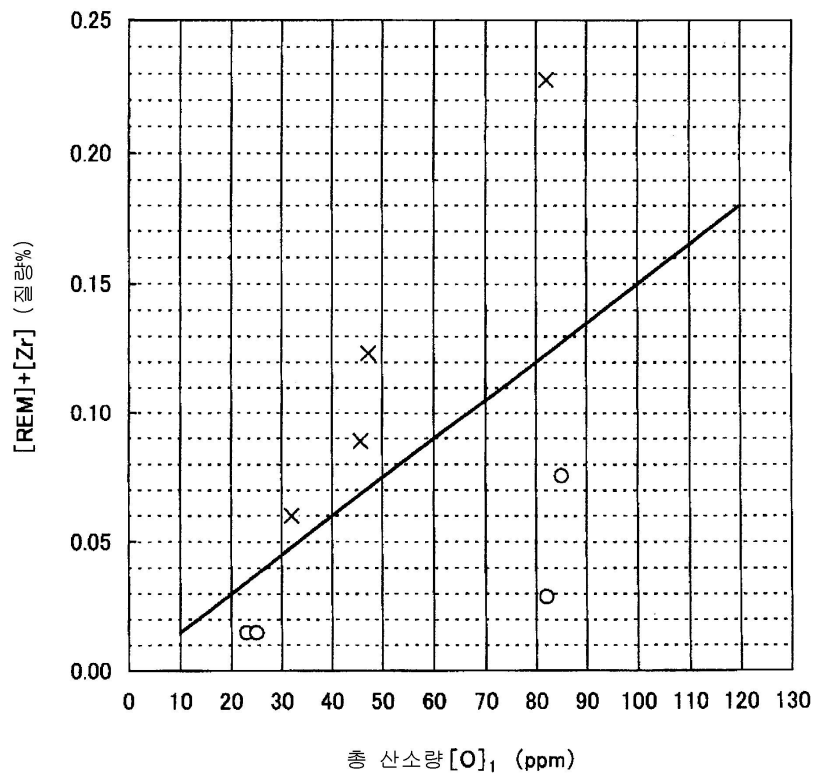
도면8



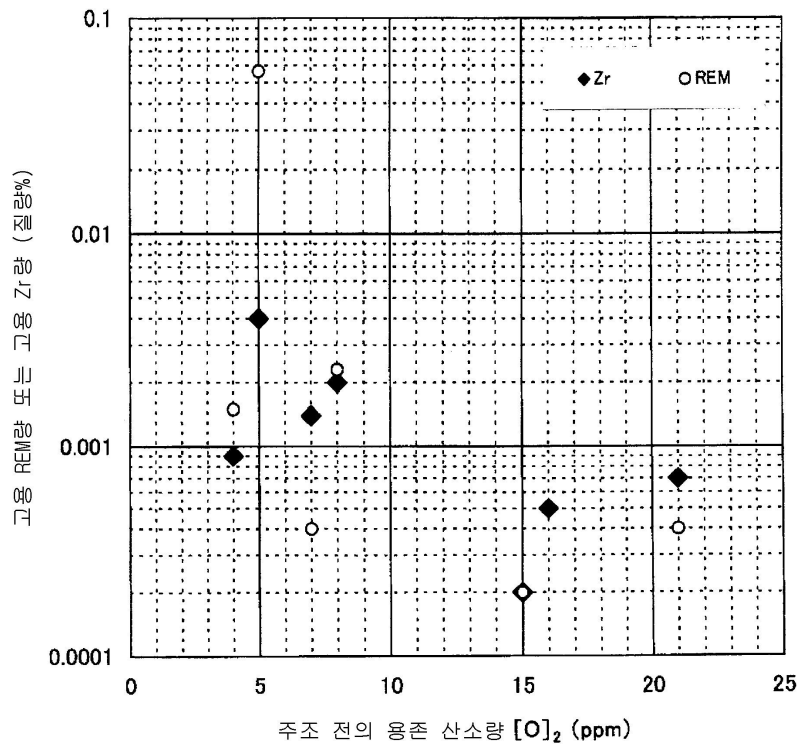
도면9



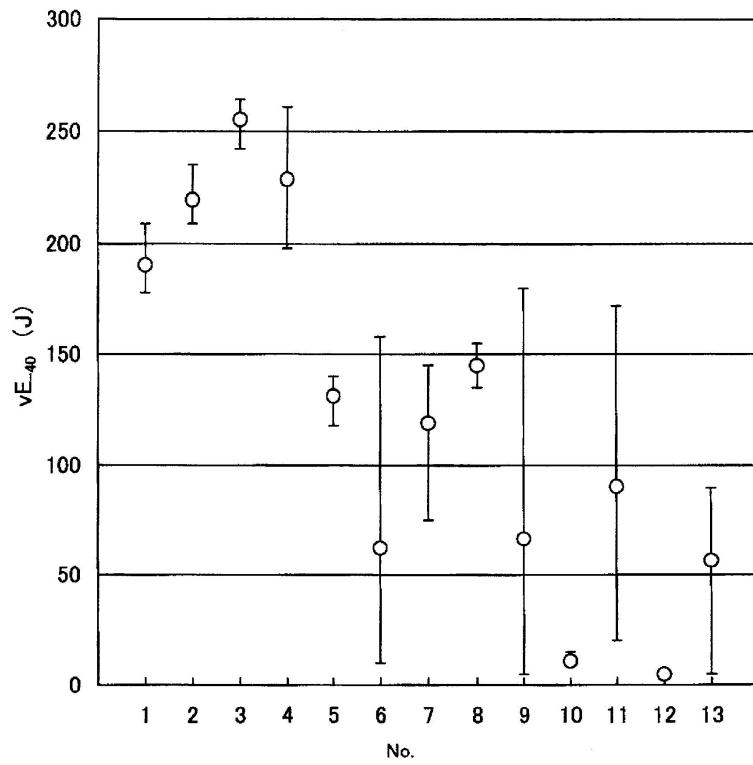
도면10



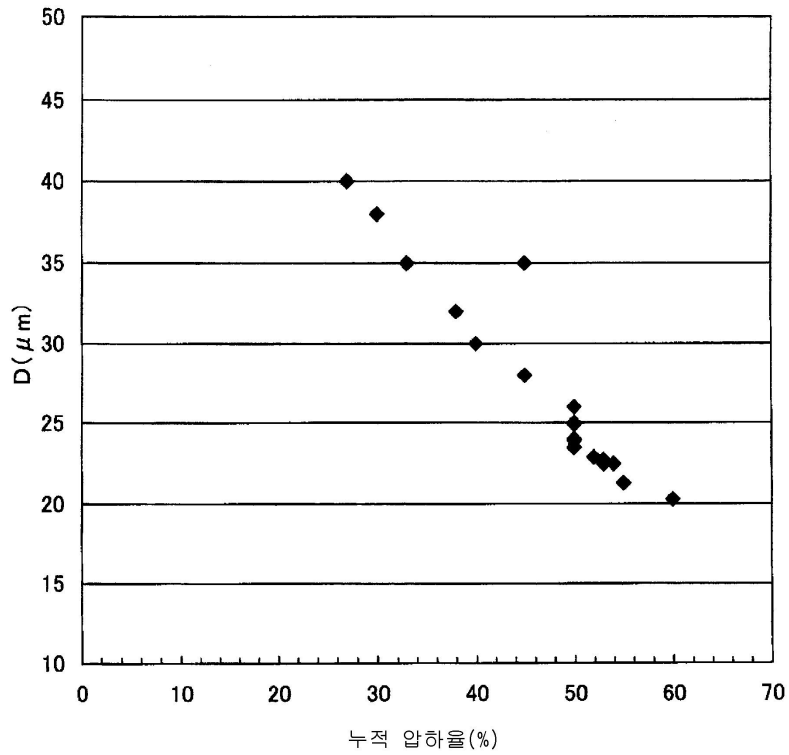
도면11



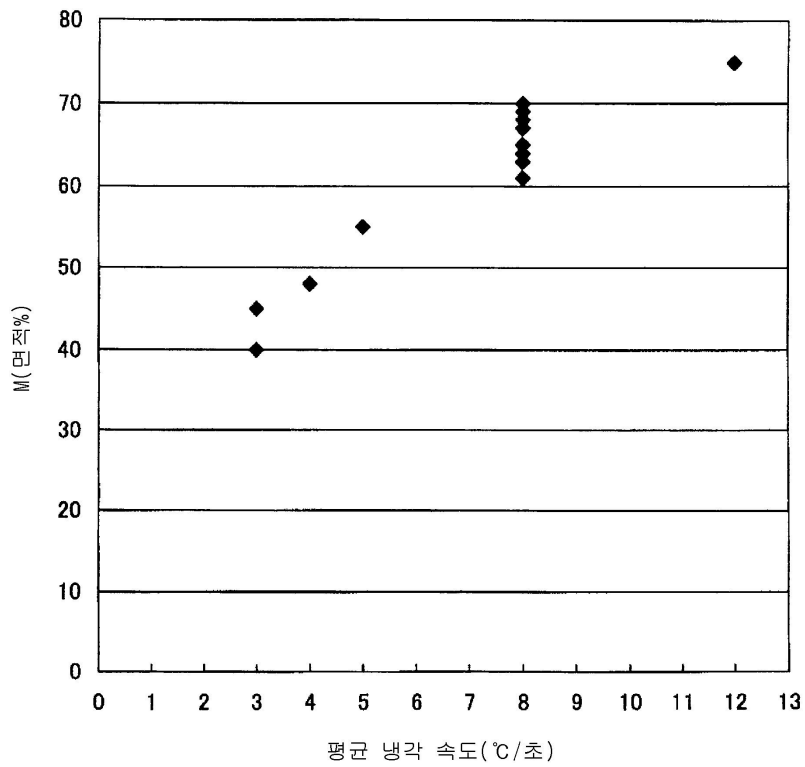
도면12



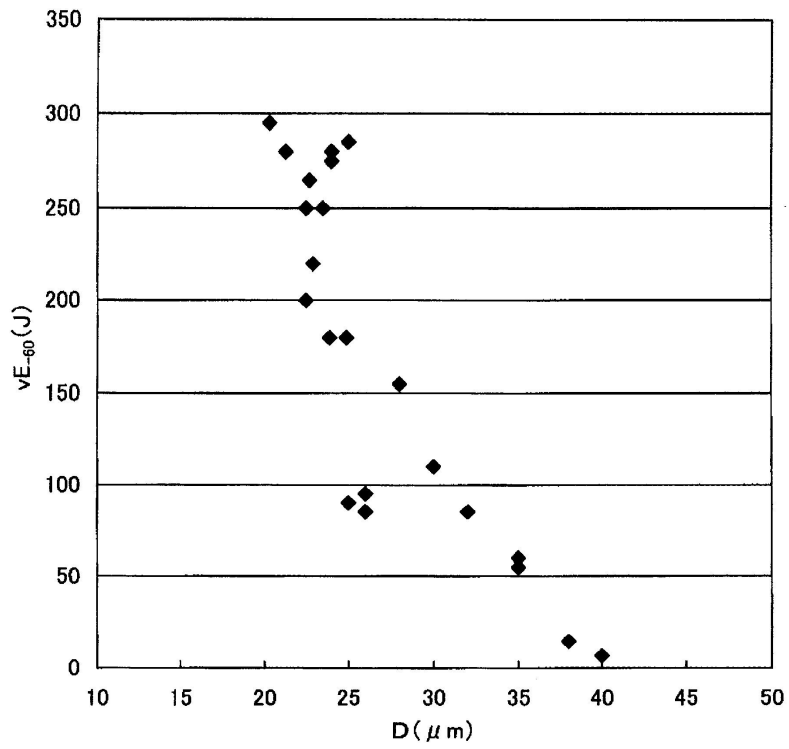
도면13



도면14



도면15



도면16

