(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0093964
(43) 공개일자 2017년08월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/14 (2006.01) *C21D 8/02* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/02* (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) *C22C 38/06* (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/14 (2013.01)
C21D 8/0221 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7019238
(22) 출원일자(국제) 2015년12월22일
심사청구일자 2017년07월11일
(85) 번역문제출일자 2017년07월11일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2015/085869
(87) 국제공개번호 WO 2016/104526
국제공개일자 2016년06월30일
(30) 우선권주장
JP-P-2014-266491 2014년12월26일 일본(JP)
JP-P-2015-202378 2015년10월13일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 고베 세이코쇼
일본 효고켄 고베시 쥬오쿠 와키노하마 가이간도오리 2초메 2방 4고
(72) 발명자
다시로 기이치로
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내
가토 다쿠
일본 도쿄도 시나가와쿠 기타시나가와 5초메 9반 12고 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인

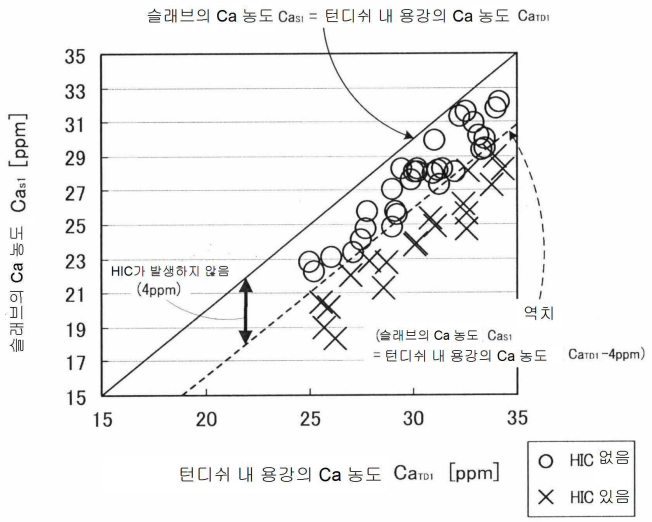
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **내수소유기균열성이 우수한 강판 및 라인 파이프용 강관**

(57) 요 약

내수소유기균열성이 우수한 강판이나 강관을 실현한다. 나아가서는, 압연 후에 수소유기균열 시험을 행하는 일 없이, 주편의 내부 품질로부터 내수소유기균열성을 평가할 수 있는 강판이나 강관을 실현한다. 상기 내수소유기균열성이 우수한 강판은, 규정의 C, Si, Mn, P, S, Al, Ca, N, 및 O를 만족시키고, 또한 규정의 REM 및 Zr로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하고, 잔부가 철 및 불가피 불순물로 이루어지며, 상기 Ca와 상기 S의 비(Ca/S)가 2.0 이상이면서, 상기 Ca, 상기 S 및 상기 O가 (Ca-1.25S)/O≤1.80을 만족시키고, 또한 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량이 역치 $Ca_{drop\Theta}$ 이하이고, 해당 역치 $Ca_{drop\Theta}$는 상기 슬래브를 압연하여 얻은 강판에 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량인 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도6



(52) CPC특허분류
C22C 38/004 (2013.01)
C22C 38/005 (2013.01)
C22C 38/02 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/58 (2013.01)

(72) 발명자
오카 유이치
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내
사토 신스케
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내
가와노 하루야
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내
미야케 다카시
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내
기무라 세이
일본 효고켄 가코가와시 가나자와초 1반치 가부시키가이샤 고베 세이코쇼 가코가와 제철소 내

명 세 서

청구범위

청구항 1

질량%로,

C: 0.02～0.15%,

Si: 0.02～0.50%,

Mn: 0.6～2.0%,

P: 0% 초과 0.030% 이하,

S: 0% 초과 0.003% 이하,

Al: 0.010～0.08%,

Ca: 0.0003～0.0060%,

N: 0.001～0.01%, 및

O: 0% 초과 0.0045% 이하를 만족시키고, 또한

REM: 0% 초과 0.02% 이하, 및

Zr: 0% 초과 0.010% 이하

로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하고, 잔부가 철 및 불가피 불순물로 이루어지며,

상기 Ca와 상기 S의 비(Ca/S)가 2.0 이상이면서,

상기 Ca, 상기 S 및 상기 O가 (Ca-1.25S)/O≤1.80을 만족시키고,

또한, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량이 역치 $Ca_{drop\Theta}$ 이하이고, 해당 역치 $Ca_{drop\Theta}$는 상기 슬래브를 압연하여 얻은 강판에 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량인 것을 특징으로 하는 내수소유기균열성이 우수한 강판.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 역치 $Ca_{drop\Theta}$는 미리 하기 (i)～(iii)의 방법으로 구해진 값인 강판.

(i) 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도와 슬래브의 Ca 농도를 측정하고, 상기 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 상기 슬래브의 Ca 농도를 빼서 Ca 저하량을 산출한다.

(ii) 상기 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브를 압연하여 얻어지는 강판에 대해서 수소유기균열 시험을 행한다.

(iii) 상기 (i)에서 측정한 Ca 저하량과, 상기 (ii)의 수소유기균열 시험 결과로부터, 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량을 구한다.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브는 상기 Ca 저하량을 측정한 슬래브인 강판.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 슬래브의 Ca 농도는, 상기 슬래브에 있어서 두께 방향으로 상이한 2개소 이상의 위치에서 Ca 농도를 조사하여, 얻어진 2개 이상의 Ca 농도 중 최소의 Ca 농도인 강판.

청구항 5

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 역치 $Ca_{drop\theta}$는 4ppm인 강판.

청구항 6

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

추가로 다른 원소로서, 질량%로,

B: 0% 초과 0.005% 이하,

V: 0% 초과 0.1% 이하,

Cu: 0% 초과 1.5% 이하,

Ni: 0% 초과 1.5% 이하,

Cr: 0% 초과 1.5% 이하,

Mo: 0% 초과 1.5% 이하, 및

Nb: 0% 초과 0.06% 이하

로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하는 강판.

청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

추가로 다른 원소로서, 질량%로,

Ti: 0% 초과 0.03% 이하, 및

Mg: 0% 초과 0.01% 이하

로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하는 강판.

청구항 8

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

라인 파이프용인 강판.

청구항 9

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

압력 용기용인 강판.

청구항 10

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 기재된 강판으로 형성되는 라인 파이프용 강관.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 천연 가스·원유 수송용 라인 파이프나 저장용 탱크 등에 적합한, 내수소유기균열성이 우수한 강판,

및 해당 강판을 이용하여 얻어지는 내수소유기균열성이 우수한 라인 파이프용 강관에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 주로 석유·가스 등의 수송용 라인 파이프나 저장용 탱크에서는, 황화수소를 함유하는 열질(劣質) 자원의 개발에 수반하여, 내수소유기균열성이나 내응력부식균열성 등의 이른바 내사워성이 필요시 된다. 이하에서는, 이 내사워성을 구비한 강판을 「내사워 강판」이라고 하는 경우가 있다. 수소유기균열(Hydrogen Induced Cracking, 이하, 「HIC」라고 하는 경우가 있다)은, 상기 황화수소 등에 의한 부식 반응에 수반하여 강재 내부에 침입한 수소가, MnS나 Nb(C, N)을 비롯한 비금속 개재물 등에 집적되어, 가스화에 의해 생기는 균열이라는 것이 알려져 있다.

[0003] HIC는 주편(鑄片)의 중심 편석, 내부 균열 등을 포함하는 편석부, 특히 MnS 등의 개재물을 기점으로 발생하기 쉽다는 것이 알려져 있다. 그래서, 종래부터, 내HIC성을 높이는 기술에 대하여 몇 가지 제안되어 있다. 예를 들면 특허문헌 1에는, 판 두께 중심부의 Mn, Nb, Ti의 편석도를 억제하는 것에 의해 내HIC성을 개선한 강재가 개시되어 있다. 또한 특허문헌 2에는, Ca와 O와 S의 함유량으로 이루어지는 파라미터식에 의해 MnS나 Ca계 산황화물을 기점으로 한 HIC를 억제하는 방법이 개시되어 있다.

[0004] 이들 방법에 의해, 대부분의 HIC는 억제되지만, 미세한 HIC가 국소적으로 다수 발생하는 경우가 있다.

[0005] 한편, 강판은 용제, 주조, 열간 압연을 거쳐 얻어진 후, 제품으로서 출하 전에 HIC 시험이 실시된다. 그러나, HIC 시험은 결과가 판명되기까지 수 주간을 필요로 한다. 또한, 상기 HIC 시험에서 HIC가 발생하면, 상기 강판을 내수소유기균열성이 우수한 제품으로서 출하할 수 없어, 재차 제조, 즉 다시 용제부터 행해서 얻어진 제품에 대하여, 재차 HIC 시험을 행할 필요가 있다. 그렇게 되면, 제조 기간이 장기화되어 납기 지연 등의 원인이 된다.

[0006] 그래서, 상기 열간 압연 후에 HIC 시험을 행하는 것이 아니라, 상기 주조 후의 주편의 단계에서 내HIC성을 평가할 수 있으면, 제조 기간을 대폭으로 단축할 수 있다고 생각된다. HIC는, 전술한 바와 같이, 편석부(중심편석, 내부 균열)나 MnS 등의 개재물을 기점으로 발생하기 때문에, 주편의 단계에서 이들을 평가할 수 있으면, 그 평가 결과에 기초하여 내HIC성을 평가할 수 있다고 생각된다.

[0007] 예를 들면, 압연 후에 HIC 시험을 행하는 종래의 방법에서는, 주조부터 출하까지 하기의 긴 공정 A-1을 거친다. 이에 비해, 주편의 단계에서 내HIC성을 평가할 수 있으면, 하기 공정 B-1대로, HIC 시험을 행하는 경우의 「(HIC 시험을 위한) 샘플 조정→HIC 시험」을 생략할 수 있기 때문에, 제품을 조기에 출하할 수 있다.

[0008] 공정 A-1: 주조→압연→(HIC 시험을 위한) 샘플 조정→HIC 시험→출하

[0009] 공정 B-1: 주조→내HIC성의 평가→압연→출하

[0010] 또한, HIC 시험의 결과가 NG였을 경우, 종래의 방법에서는, 주조부터 재용제까지가 긴 하기의 공정 A-2를 거친다. 이에 비해, 하기 공정 B-2대로 주편의 단계에서 내HIC성을 평가할 수 있으면, 이 평가가 NG였다고 해도, 하기 공정 A-2에 있어서의 「압연→(HIC 시험을 위한) 샘플 조정→HIC 시험」을 생략할 수 있어, 조기에 재용제를 개시할 수 있다.

[0011] 공정 A-2: 주조→압연→(HIC 시험을 위한) 샘플 조정→HIC 시험→재용제

[0012] 공정 B-2: 주조→내HIC성의 평가→재용제

[0013] 이와 같은 방법으로서, 특허문헌 3에는, 주편의 단계에서 내부 균열을 평가하는 방법이 개시되어 있다. 이 방법에서는, 내부 균열의 평가 결과로부터 HCR(Hot Charge Rolling) 조업의 가부를 판단하고 있다.

[0014] 또한, CaO 개재물을 평가하는 것은 아니지만, 특허문헌 4~8에는 압연 전에 주편의 품질을 평가하는 방법이 개시되어 있다. 예를 들면, 특허문헌 4~7에서는, 주편이나 턴디쉬 내 용강의 개재물량, 원소량 등으로부터 주편의 품질을 평가하고 있다. 또한, 특허문헌 8에서는, 턴디쉬 내 용강의 분석 결과로부터 주편의 품질을 평가하고(1차 판정), 이 판정 정밀도가 소정의 정밀도를 만족시키지 않는 경우에는 주편 샘플의 분석 결과로부터 주편의 품질을 평가하고 있다(2차 판정).

선행기술문헌

특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 일본 특허공개 2010-209461호 공보

(특허문헌 0002) 일본 특허공개 평06-136440호 공보

(특허문헌 0003) 일본 특허공개 2006-198649호 공보

(특허문헌 0004) 일본 특허공개 소62-277539호 공보

(특허문헌 0005) 일본 특허공개 2002-214222호 공보

(특허문헌 0006) 일본 특허공개 평10-122854호 공보

(특허문헌 0007) 일본 특허공개 평10-249505호 공보

(특허문헌 0008) 일본 특허공개 2000-292418호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 특허문헌 3~8은, 상기대로 CaO 개재물을 평가하는 것은 아니지만, CaO 개재물의 평가 방법으로서, 특허문헌 3~8과 같이 주편이나 턴디쉬 내 용강의 개재물량 및 원소량 등으로부터 평가하는 것이 생각된다.

[0017] 주편의 단계에서 CaO 개재물을 평가하기 위해서는, CaO 집적대가 발생한 위치에서 CaO량 또는 Ca 농도를 분석할 필요가 있다. 그러나, CaO 집적대가 발생하는 위치는 주편의 폭 방향, 두께 방향 및 주조 방향에 격차가 있기 때문에, 그 위치를 예측하는 것은 어렵다. 또한, 주편의 소정의 부분을 분석해도, 그 분석 결과가 반드시 CaO 집적대의 CaO량이라고는 할 수 없다. 따라서, 주편의 분석 결과로부터 CaO 개재물을 평가할 수 없다.

[0018] 턴디쉬 내 용강의 개재물량이나 원소량 등으로부터 CaO 개재물을 평가하는 것도 생각할 수 있다. 그러나, CaO 개재물은 주형에 주입 이후에도 응집·집적된다. 따라서, 턴디쉬 내 용강의 CaO량 또는 Ca 농도로부터 CaO 집적대가 존재하지 않는다고 평가해도, 그 후, CaO 개재물이 응집하는 것에 의해 HIC가 발생할 우려가 있다.

[0019] 본 발명은 상기와 같은 사정에 착안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, 내수소유기균열성이 우수한 강판이나 강관을 실현하는 것, 나아가서는, HIC 시험을 행하는 일 없이, 주편의 내부 품질로부터 내HIC성을 평가할 수 있는 강판이나 강관을 실현하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0020] 상기 과제를 해결할 수 있었던 본 발명의 내수소유기균열성이 우수한 강판은,

[0021] 질량%로,

[0022] C: 0.02~0.15%,

[0023] Si: 0.02~0.50%,

[0024] Mn: 0.6~2.0%,

[0025] P: 0% 초과 0.030% 이하,

[0026] S: 0% 초과 0.003% 이하,

[0027] Al: 0.010~0.08%,

[0028] Ca: 0.0003~0.0060%,

[0029] N: 0.001~0.01%, 및

[0030] O: 0% 초과 0.0045% 이하를 만족시키고, 또한

[0031] REM: 0% 초과 0.02% 이하, 및

[0032] Zr: 0% 초과 0.010% 이하

[0033] 로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 포함하고, 잔부가 철 및 불가피 불순물로 이루어지며,

[0034] 상기 Ca와 상기 S의 비(Ca/S)가 2.0 이상이면서,

[0035] 상기 Ca, 상기 S 및 상기 O가 (Ca-1.25S)/O≤1.80을 만족시키고,

[0036] 또한, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량이 역치 $Ca_{dropΘ}$ 이하이고, 해당 역치 $Ca_{dropΘ}$는 상기 슬래브를 압연하여 얻은 강판에 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량인 점에 특징을 갖는다.

[0037] 상기 역치 $Ca_{dropΘ}$는 미리 하기 (i)~(iii)의 방법으로 구해진 값이어도 된다.

[0038] (i) 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도와 슬래브의 Ca 농도를 측정하고, 상기 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 상기 슬래브의 Ca 농도를 빼서 Ca 저하량을 산출한다.

[0039] (ii) 상기 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브를 압연하여 얻어지는 강판에 대해서 수소유기균열 시험을 행한다.

[0040] (iii) 상기 (i)에서 측정한 Ca 저하량과, 상기 (ii)의 수소유기균열 시험 결과로부터, 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량을 구한다.

[0041] 상기 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브는 상기 Ca 저하량을 측정한 슬래브여도 된다.

[0042] 상기 슬래브의 Ca 농도는, 상기 슬래브에 있어서 두께 방향으로 상이한 2개소 이상의 위치에서 Ca 농도를 조사하여, 얻어진 2개 이상의 Ca 농도 중 최소의 Ca 농도여도 된다.

[0043] 상기 역치 $Ca_{dropΘ}$는 4ppm(질량ppm)이어도 된다.

[0044] 상기 강판은, 추가로 다른 원소로서, 하기 (A) 및 (B) 중 어느 하나 이상을 포함하고 있어도 된다.

[0045] (A) 질량%로, B: 0% 초과 0.005% 이하, V: 0% 초과 0.1% 이하, Cu: 0% 초과 1.5% 이하, Ni: 0% 초과 1.5% 이하, Cr: 0% 초과 1.5% 이하, Mo: 0% 초과 1.5% 이하, 및 Nb: 0% 초과 0.06% 이하로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소

[0046] (B) 질량%로, Ti: 0% 초과 0.03% 이하, 및 Mg: 0% 초과 0.01% 이하로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종 이상의 원소

[0047] 상기 강판은 라인 파이프용이나 압력 용기용으로서 적합하다. 또한 본 발명에는, 상기 강판으로 형성되는 라인 파이프용 강관도 포함된다.

발명의 효과

[0048] 본 발명에 의하면, 내수소유기균열성이 확실히 우수한 강판이나 강관을 제공할 수 있다. 나아가서는, HIC 시험을 행하는 일 없이, 주편의 내부 품질로부터 내HIC성을 평가할 수 있는 강판이나 강관을 제공할 수 있다. 이들은 천연 가스·원유의 수송용 라인 파이프나 저장용 탱크 등의 압력 용기 등에 적합하게 이용된다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 CaO 개재물의 흐름을 설명하는 모식도이다.

도 2는 여러 가지의 슬래브의 Ca 농도 분포를 나타내는 도면이다.

도 3(a)는 슬래브의 단면도이고, 도 3(b)는 제품의 단면도이다.

도 4는 슬래브의 단면도이다.

도 5는 슬래브의 조사면을 설명하는 도면이다.

도 6은 실시예에 있어서의 제 1 실시형태의 역치 결정 결과를 나타내고 있고, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1} 및 슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1}과, HIC 시험 결과의 관계를 나타내는 도면이다.

도 7은 실시예에 있어서의 제 2 실시형태의 역치 결정 결과를 나타내고 있고, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}

및 슬래브의 Ca 농도의 최소치 Ca_{min1}과, HIC 시험 결과의 관계를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 본 발명자들은 상기 과제를 해결하기 위해서 예의 연구를 거듭했다. 우선, 본 발명자들은 HIC가 MnS 개재물을 기점으로 발생하기 쉽다는 것에 착안했다. 그 결과, 탈황 작용을 갖는 원소인 희토류 원소 또는 Zr을 강재에 함유시키는 것에 의해, MnS의 생성을 억제하여 내수소유기균열성을 높이는 것이 가능하다는 것에 상도했다. 더욱이, 그 탈황 작용을 효과적으로 발휘시키기 위해서, 후술하는 적절한 함유량을 발견하기에 이르렀다.

[0051] 다음으로, 본 발명자들은 HIC가 주편 제조 시에 생기는 CaO 집적부를 기점으로 발생하기 쉽다는 것에 착안했다. 그 결과, CaO 집적부의 유무를 평가할 수 있는 「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량」에 주목하여, 슬래브의 단계에서, 이 Ca 저하량을 소정의 역치 이하로 수렴시키면, 내수소유기균열성이 높은 제품이 얻어지고, 나아가서는 제품을 조기에 출하할 수 있다는 것을 발견했다. 이 점에 대해서는 후에 상세히 기술한다.

[0052] 우선은 성분 조성에 대하여 설명한다. 한편, 이하, 성분에 대하여 「%」는 「질량%」, 「ppm」은 「질량ppm」을 의미한다.

[0053] 우수한 내HIC성을 확보하기 위해서는, 강재의 성분 조성을 제어할 필요가 있다. 나아가서는, 예를 들면 라인파이프용 강재로서 요구되는 그 밖의 특성으로서, 고강도나 우수한 용접성 등을 확보하기 위해서도, 강판의 성분 조성을 하기와 같이 할 필요가 있다. 이하, 전술한 희토류 원소 및 Zr을 비롯해, 각 성분의 규정 이유에 대하여 설명한다.

[0054] 〔성분 조성〕

[0055] [C: 0.02~0.15%]

[0056] C는 모재 및 용접부의 강도를 확보하기 위해서 필요 불가결한 원소이며, 0.02% 이상 함유시킬 필요가 있다. C량은, 바람직하게는 0.03% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.05% 이상이다. 한편, C량이 지나치게 많으면 HAZ 인성과 용접성이 열화된다. 또한 C량이 과잉이면, HIC의 기점이나 파괴 진전 경로가 되는 NbC나 섬상(島狀) 마텐자이트가 생성되기 쉬워진다. 따라서 C량은 0.15% 이하로 할 필요가 있다. 바람직하게는 0.12% 이하, 보다 바람직하게는 0.10% 이하이다.

[0057] [Si: 0.02~0.50%]

[0058] Si는 탈산 작용을 가짐과 더불어, 모재 및 용접부의 강도 향상에 유효한 원소이다. 이들 효과를 얻기 위해, Si량을 0.02% 이상으로 한다. Si량은, 바람직하게는 0.05% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.15% 이상이다. 그러나, Si량이 지나치게 많으면 용접성이나 인성이 열화된다. 또한 Si량이 과잉이면, 섬상 마텐자이트가 생겨 HIC가 발생·진전된다. 따라서 Si량은 0.50% 이하로 억제할 필요가 있다. Si량은, 바람직하게는 0.45% 이하, 보다 바람직하게는 0.35% 이하이다.

[0059] [Mn: 0.6~2.0%]

[0060] Mn은 모재 및 용접부의 강도 향상에 유효한 원소이며, 본 발명에서는 0.6% 이상 함유시킨다. Mn량은, 바람직하게는 0.8% 이상이며, 보다 바람직하게는 1.0% 이상이다. 그러나, Mn량이 지나치게 많으면, MnS가 생성되어 내수소유기균열성이 열화될 뿐만 아니라 HAZ 인성이나 용접성도 열화된다. 따라서 Mn량의 상한을 2.0%로 한다. Mn량은, 바람직하게는 1.8% 이하이며, 보다 바람직하게는 1.5% 이하, 더 바람직하게는 1.2% 이하이다.

[0061] [P: 0% 초과 0.030% 이하]

[0062] P는 강재 중에 불가피적으로 포함되는 원소이며, P량이 0.030%를 초과하면 모재나 HAZ부의 인성 열화가 현저하고, 내수소유기균열성도 열화된다. 따라서 본 발명에서는 P량을 0.030% 이하로 억제한다. P량은, 바람직하게는 0.020% 이하, 보다 바람직하게는 0.010% 이하이다.

[0063] [S: 0% 초과 0.003% 이하]

[0064] S는 지나치게 많으면 MnS를 다량으로 생성하여 내수소유기균열성을 현저하게 열화시키는 원소이기 때문에, 본 발명에서는 S량의 상한을 0.003%로 한다. S량은, 바람직하게는 0.002% 이하이며, 보다 바람직하게는 0.0015% 이하, 더 바람직하게는 0.0010% 이하이다. 이와 같이 내수소유기균열성 향상의 관점에서는 적은 편이 바람직하

다.

[0065] [Al: 0.010~0.08%]

[0066] Al은 강탈산 원소이며, Al량이 적으면, 산화물 중의 Ca 농도가 상승, 즉 Ca계 개재물이 강판 표층부에 형성되기 쉬워져 미세한 HIC가 발생한다. 따라서 본 발명에서는 Al을 0.010% 이상으로 할 필요가 있다. Al량은, 바람직하게는 0.020% 이상, 보다 바람직하게는 0.030% 이상이다. 한편, Al 함유량이 지나치게 많으면, Al의 산화물이 클러스터 형상으로 생성되어 수소유기균열의 기점이 된다. 따라서 Al량은 0.08% 이하로 할 필요가 있다. Al량은, 바람직하게는 0.06% 이하이며, 보다 바람직하게는 0.05% 이하이다.

[0067] [Ca: 0.0003~0.0060%]

[0068] Ca는 황화물의 형태를 제어하는 작용이 있어, CaS를 형성하는 것에 의해 MnS의 형성을 억제하는 효과가 있다. 이 효과를 얻기 위해서는, Ca량을 0.0003% 이상으로 할 필요가 있다. Ca량은, 바람직하게는 0.0005% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.0010% 이상이다. 한편, Ca량이 0.0060%를 초과하면, Ca계 개재물을 기점으로 HIC가 많이 발생한다. 따라서 본 발명에서는 Ca량의 상한을 0.0060%로 한다. Ca량은, 바람직하게는 0.0045% 이하이며, 보다 바람직하게는 0.0035% 이하, 더 바람직하게는 0.0025% 이하이다.

[0069] [N: 0.001~0.01%]

[0070] N은 강 조직 중에 TiN으로서 석출되어, HAZ부의 오스테나이트립의 조대화를 억제하고, 또한 페라이트 변태를 촉진시켜, HAZ부의 인성을 향상시키는 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서는 N을 0.001% 이상 함유시킬 필요가 있다. N량은, 바람직하게는 0.003% 이상이며, 보다 바람직하게는 0.0040% 이상이다. 그러나 N량이 지나치게 많으면, 고용 N의 존재에 의해 HAZ 인성이 오히려 열화되기 때문에, N량은 0.01% 이하로 할 필요가 있다. 바람직하게는 0.008% 이하이며, 보다 바람직하게는 0.0060% 이하이다.

[0071] [O: 0% 초과 0.0045% 이하]

[0072] O(산소)는 청정도 향상의 관점에서 낮은 편이 바람직하고, O가 다량으로 포함되는 경우, 인성이 열화되는 것에 더하여, 산화물을 기점으로 HIC가 발생하여, 내수소유기균열성이 열화된다. 이 관점에서, O량은 0.0045% 이하로 할 필요가 있고, 바람직하게는 0.0030% 이하, 보다 바람직하게는 0.0020% 이하이다.

[0073] [Ca/S(질량비): 2.0 이상]

[0074] 전술한 대로, S는 황화물계 개재물로서 MnS를 형성하고, 해당 MnS를 기점으로 HIC가 발생한다. 이 때문에, Ca를 첨가하여 강 중의 황화물계 개재물을 CaS로 해서 형태를 제어하여, 내HIC성에 대한 S의 무해화를 도모한다. 이 작용 효과를 충분히 발휘시키기 위해서는, Ca/S를 2.0 이상으로 할 필요가 있다. Ca/S는, 바람직하게는 2.5 이상, 보다 바람직하게는 3.0 이상이다. 한편, 본 발명에서 규정하는 Ca량과 S량으로부터 Ca/S의 상한은 17 정도가 된다.

[0075] [(Ca-1.25S)/O≤1.80]

[0076] Ca계 산황화물에 의한 HIC의 발생을 억제하기 위해서는, Ca계 개재물 중에서도 특히 응집합체를 형성하기 쉬운 CaO를 억제하는 것이 유효하다. 그리고 그것을 위해서는, 강 중 전체 Ca량으로부터 황화물(CaS)로서 존재하는 Ca분을 뺀 Ca량(Ca-1.25S)이, O량에 비하여 과잉이 되지 않도록 해야 한다. O량에 비하여 Ca량(Ca-1.25S)이 과잉이면, 산화물계 개재물로서 CaO가 형성되기 쉬워져, 해당 CaO의 응집합체(조대한 Ca계 개재물)가 강판 표층부에 대량으로 형성되기 쉬워진다. 이들 조대한 Ca계 개재물은 HIC의 기점이 되기 때문에, 우수한 내HIC성을 얻기 위해서는 (Ca-1.25S)/O를 1.80 이하로 할 필요가 있다. (Ca-1.25S)/O는, 바람직하게는 1.40 이하, 보다 바람직하게는 1.30 이하, 더 바람직하게는 1.20 이하, 특히 바람직하게는 1.00 이하이다. 한편, CaO와 마찬가지로 응집합체를 형성하기 쉬운 Al_2O_3을 억제하는 관점에서, (Ca-1.25S)/O의 하한치는 0.1 정도가 된다.

[0077] [REM: 0% 초과 0.02% 이하]

[0078] REM(Rare Earth Metal, 희토류 원소)은, 전술한 대로, 탈황 작용에 의해 MnS의 생성을 억제하여 내수소유기균열성을 높이는 데 유효한 원소이다. 이와 같은 효과를 발휘시키기 위해서는, REM을 0.0002% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. REM량은, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상, 더 바람직하게는 0.0010% 이상이다. 한편, REM을 다량으로 함유시켜도 효과가 포화된다. 따라서 REM량의 상한은 0.02%로 하는 것이 필요하다. 주조 시의 침지 노즐의 폐색을 억제하여 생산성을 높이는 관점에서는, REM량을 0.015% 이하로 하는 것이 바람직하고, 보다 바람직하게는 0.010% 이하, 더 바람직하게는 0.0050% 이하이다. 한편, 본 발명에 있어서, 상기 REM이란, 란타노이

드 원소(La에서 Lu까지의 15원소)와 Sc(스칸듐) 및 Y를 의미한다.

[0079] [Zr: 0% 초과 0.010% 이하]

[0080] Zr은 탈황 작용에 의해 내HIC성을 향상시킴과 더불어, 산화물을 형성하여 미세하게 분산됨으로써 HAZ 인성의 향상에 기여하는 원소이다. 이들 효과를 발휘시키기 위해서는, Zr량을 0.0003% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Zr량은, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상, 더 바람직하게는 0.0010% 이상, 보다 더 바람직하게는 0.0015% 이상이다. 한편, Zr을 과잉으로 첨가하면, 조대한 개재물을 형성하여 내수소유기균열성 및 모재 인성을 열화시킨다. 따라서 Zr량은 0.010% 이하로 하는 것이 필요하다. Zr량은, 바람직하게는 0.0070% 이하, 보다 바람직하게는 0.0050% 이하, 더 바람직하게는 0.0030% 이하이다.

[0081] 본 발명의 강재(강판, 강관)의 성분은 상기대로이며, 잔부는 철 및 불가피 불순물로 이루어진다. 또한, 상기 원소에 더하여 추가로,

[0082] (a) 하기 양의 B, V, Cu, Ni, Cr, Mo, 및 Nb로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종류 이상의 원소를 함유시키는 것에 의해, 강도나 인성을 보다 높이거나,

[0083] (b) 하기 양의 Ti 및 Mg로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종류 이상의 원소를 함유시키는 것에 의해, HAZ 인성의 향상이나, 탈황을 촉진시켜 내HIC성을 보다 개선할 수 있다. 이하, 이들 원소에 대하여 상세히 기술한다.

[0084] [B: 0% 초과 0.005% 이하]

[0085] B는 담금질성을 높여, 모재 및 용접부의 강도를 높임과 더불어, 용접 시에, 가열된 HAZ부가 냉각되는 과정에서 N과 결합하여 BN을 석출시켜, 오스테나이트립 내로부터의 페라이트 변태를 촉진하기 때문에, HAZ 인성을 향상시킨다. 이 효과를 얻기 위해서는 B량을 0.0002% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. B량은, 보다 바람직하게는 0.0005% 이상이며, 더 바람직하게는 0.0010% 이상이다. 그러나, B 함유량이 과다해지면, 모재와 HAZ부의 인성이 열화되거나, 용접성의 열화를 초래하기 때문에, B량은 0.005% 이하로 하는 것이 바람직하다. B량은, 보다 바람직하게는 0.004% 이하, 더 바람직하게는 0.0030% 이하이다.

[0086] [V: 0% 초과 0.1% 이하]

[0087] V는 강도의 향상에 유효한 원소이며, 이 효과를 얻기 위해서는 0.003% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.010% 이상이다. 한편, V 함유량이 0.1%를 초과하면 용접성과 모재 인성이 열화된다. 따라서 V량은 0.1% 이하로 하는 것이 바람직하고, 보다 바람직하게는 0.08% 이하이다.

[0088] [Cu: 0% 초과 1.5% 이하]

[0089] Cu는 담금질성을 향상시켜 강도를 높이는 데 유효한 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서는 Cu를 0.01% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. Cu량은, 보다 바람직하게는 0.05% 이상, 더 바람직하게는 0.10% 이상이다. 그러나, Cu 함유량이 1.5%를 초과하면 인성이 열화되기 때문에, 1.5% 이하로 하는 것이 바람직하다. Cu량은, 보다 바람직하게는 1.0% 이하, 더 바람직하게는 0.50% 이하이다.

[0090] [Ni: 0% 초과 1.5% 이하]

[0091] Ni는 모재 및 용접부의 강도와 인성의 향상에 유효한 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서는 Ni량을 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Ni량은, 보다 바람직하게는 0.05% 이상, 더 바람직하게는 0.10% 이상이다. 그러나 Ni가 다량으로 포함되면, 구조용 강재로서 극히 고가가 되기 때문에, 경제적인 관점에서 Ni량은 1.5% 이하로 하는 것이 바람직하다. Ni량은, 보다 바람직하게는 1.0% 이하, 더 바람직하게는 0.50% 이하이다.

[0092] [Cr: 0% 초과 1.5% 이하]

[0093] Cr은 강도의 향상에 유효한 원소이며, 이 효과를 얻기 위해서는 0.01% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. Cr량은, 보다 바람직하게는 0.05% 이상, 더 바람직하게는 0.10% 이상이다. 한편, Cr량이 1.5%를 초과하면 HAZ 인성이 열화된다. 따라서 Cr량은 1.5% 이하로 하는 것이 바람직하다. Cr량은, 보다 바람직하게는 1.0% 이하, 더 바람직하게는 0.50% 이하이다.

[0094] [Mo: 0% 초과 1.5% 이하]

[0095] Mo는 모재의 강도와 인성의 향상에 유효한 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서는 Mo량을 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Mo량은, 보다 바람직하게는 0.05% 이상, 더 바람직하게는 0.10% 이상이다. 그러나, Mo량이 1.5%를 초과하면 HAZ 인성 및 용접성이 열화된다. 따라서 Mo량은 1.5% 이하로 하는 것이 바람직하고, 보다 바

람직하게는 1.0% 이하, 더 바람직하게는 0.50% 이하이다.

[0096] [Nb: 0% 초과 0.06% 이하]

[0097] Nb는 용접성을 열화시키는 일 없이 강도와 모재 인성을 높이는 데 유효한 원소이다. 이 효과를 얻기 위해서는 Nb량을 0.002% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Nb량은, 보다 바람직하게는 0.010% 이상, 더 바람직하게는 0.020% 이상이다. 그러나, Nb량이 0.06%를 초과하면 모재와 HAZ의 인성이 열화된다. 따라서 본 발명에서는 Nb량의 상한을 0.06%로 하는 것이 바람직하다. Nb량은, 보다 바람직하게는 0.050% 이하, 더 바람직하게는 0.040% 이하, 보다 더 바람직하게는 0.030% 이하이다.

[0098] [Ti: 0% 초과 0.03% 이하]

[0099] Ti는 강 중에 TiN으로서 석출됨으로써, 용접 시의 HAZ부에서의 오스테나이트립의 조대화를 방지하고 또한 페라이트 변태를 촉진하기 때문에, HAZ부의 인성을 향상시키는 데 유효한 원소이다. 더욱이 Ti는, 탈황 작용을 나타내기 때문에 내HIC성의 향상에도 유효한 원소이다. 이들 효과를 얻기 위해서는 Ti를 0.003% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. Ti량은, 보다 바람직하게는 0.005% 이상, 더 바람직하게는 0.010% 이상이다. 한편, Ti 함유량이 과다해지면, 고용 Ti의 증가나 TiC 석출의 증가에 의해 모재와 HAZ부의 인성이 열화되기 때문에, 0.03% 이하로 하는 것이 바람직하다. Ti량은, 보다 바람직하게는 0.02% 이하이다.

[0100] [Mg: 0% 초과 0.01% 이하]

[0101] Mg는 결정립의 미세화를 통해서 인성의 향상에 유효한 원소이며, 또한 탈황 작용을 나타내기 때문에 내HIC성의 향상에도 유효한 원소이다. 이들 효과를 얻기 위해서는 Mg를 0.0003% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. Mg량은, 보다 바람직하게는 0.001% 이상이다. 한편, Mg를 과잉으로 함유시켜도 효과가 포화되기 때문에, Mg량의 상한은 0.01%로 하는 것이 바람직하다. Mg량은, 보다 바람직하게는 0.005% 이하이다.

[0102] 본 발명의 강판은, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량이 역치 $Ca_{drop\Theta}$ 이하여서, 내수소유기균열성이 높은 강판이다. 여기에서 역치 $Ca_{drop\Theta}$란, 미리 구해진, 상기 슬래브를 압연하여 얻은 강판에 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량을 의미한다.

[0103] [Ca 저하량]

[0104] 상기대로, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 뺀 Ca 저하량을 소정의 역치 이하로 하는 것에 의해, 내수소유기균열성이 높은 강판이 얻어지는 것, 또한 제품을 조기에 출하할 수 있는 것에 대하여 설명한다. 이하에서는, 우선 상기 Ca 저하량을 평가 지표로 한 이유부터 설명한다.

[0105] 본 발명자들은, MnS 개재물에 착안한 뒤에, MnS의 생성을 억제하기 위해서, Ca를 2차 정련으로 용강에 첨가하는 것에 관하여 연구를 진행시켰다.

[0106] 용강에 대한 Ca 첨가량이 적정한 경우, 용강 중에 $CaO-Al_2O_3$ 개재물이 생성된다. $CaO-Al_2O_3$은 용강과의 젖음성이 양호하기 때문에, 용강 중에서 응집되지 않고, 미세한 그대로여서, 내HIC성에 악영향을 미치지 않는다.

[0107] 그러나, 용강에 대한 Ca 첨가량이 적정하지 않은 경우, 예를 들면, MnS 생성의 억제 및 Al_2O_3의 개질에 필요한 소요량을 초과하는 과잉된 첨가를 행한 경우, 용강 중에는, $CaO-Al_2O_3$ 개재물에 더하여 순수한 CaO 개재물도 생성된다. 순수한 CaO 개재물은 용강과의 젖음성이 나쁘기 때문에 용강 중에서 응집되기 쉽다. 응집 합체된 CaO는 조대한 개재물이 되어 HIC를 유발한다.

[0108] 조대화된 CaO 개재물은 용강보다도 밀도가 작기 때문에, 대부분은 부상 분리된다. 그러나, 도 1에 나타내는 바와 같이, 일부는 주형 내의 용강의 흐름을 타고 주편의 깊숙이까지 들어가면서 부력을 받고, 응고 외피에 포착되어 CaO 집적대를 형성한다. CaO 집적대는 HIC의 기점이 된다.

[0109] 그래서, 용강에 대한 적정한 Ca 첨가량을 미리 결정할 수 있으면, CaO 개재물에 의한 HIC 발생을 억제할 수 있다. 그를 위해서는, Ca 첨가 전의 용강 중의 개재물량 및 그의 조성, 및 황 농도를 정확하게 파악할 필요가 있다. 그러나 실조업에서는, 이들을 사전에 파악하는 것이 불가능하기 때문에, Ca 첨가량을 MnS 생성 억제에 충분한 양으로 하고 있다. 그 결과, Ca 첨가량이 과잉이 되기 쉽고, CaO 집적대가 형성되기 쉽다.

[0110] 상기 CaO 집적대가 항상 동일한 위치에 발생하면, 그 위치의 Ca 농도를 분석함으로써 CaO 개재물의 집적도를 파악할 수 있다. 또한, CaO 집적도로부터 주편에 CaO 집적대가 발생해 있는지를 추측할 수 있다.

[0111] 그러나 CaO 집적대가 발생하는 위치는, 전술한 대로, 주조 조건(주조 속도 및 침지 노즐의 토출 구멍의 각도 등)에 따라 주편의 두께 방향으로 상이하다. 예를 들면, 도 2에 나타내는 바와 같이, 주조 조건(주조 속도 및 침지 노즐의 토출 구멍의 각도)이 상이한 3개의 슬래브(A~C)에서는, 집적대가 발생한 고Ca 농도의 위치(a~c)가 각각 상이하다. 이와 같이 CaO 집적대의 위치를 예측할 수는 없기 때문에, 집적도(Ca 농도)로부터 CaO 집적대가 발생해 있는지를 평가하는 것은 곤란하다.

[0112] 그래서 본 발명자들은, Ca 농도의 조사 위치에 대하여 관점을 바꾸어, 저Ca 농도가 되는 위치에 착안했다. CaO 집적대가 발생한 경우, CaO 집적대에서는 Ca 농도가 높아지는 한편, CaO 집적대가 발생해 있지 않은 위치에서는 Ca 농도가 비교적 낮아진다고 생각된다. 이를 고려하면서, CaO 집적대가 발생한 경우의 「슬래브의 임의의 두께 방향 위치의 Ca 농도」와 「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도」의 관계를 조사했다. 그 결과, CaO 집적대가 발생해 있지 않은 위치에서는 「슬래브의 Ca 농도」가 비교적 낮기 때문에, 『「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도」로부터 「슬래브의 Ca 농도」를 뺀 값』, 즉 『턴디쉬로부터 슬래브로의 Ca 농도 저하량』이 커진다는 것을 알 수 있었다.

[0113] 그렇게 하면, 상기 『턴디쉬로부터 슬래브로의 Ca 농도 저하량』이 큰 경우, 그 위치에는 집적대가 발생해 있지 않지만 다른 위치에 CaO 집적대가 발생해 있다고 생각되기 때문에, HIC가 발생한다고 평가할 수 있다. 한편, 상기 『턴디쉬로부터 슬래브로의 Ca 농도 저하량』이 작은 경우, 턴디쉬의 Ca 농도와 슬래브의 Ca 농도에는 거의 차가 없다, 즉 슬래브에 고Ca 농도의 위치가 없다고 추측할 수 있다. 이 경우, 슬래브에 CaO 집적대가 발생해 있지 않다고 생각되기 때문에, HIC가 발생하지 않는다고 평가할 수 있다.

[0114] 본 발명에서는, 이와 같이 CaO 집적대의 유무와 관련하는 「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도」로부터 「슬래브의 Ca 농도」를 뺀 값(이하 「Ca 저하량」이라고 칭한다)을 이용하여, 내HIC성을 평가하기로 했다.

[0115] [Ca 저하량의 역치의 결정]

[0116] 다음으로, 얻어지는 강판이 우수한 내HIC성을 발휘하는지를 판단하기 위한, 상기 Ca 저하량의 역치 $Ca_{drop\Theta}$, 즉 슬래브를 압연하여 얻은 강판에 HIC가 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량을 구하는 방법에 대하여 설명한다.

[0117] 상기 역치 $Ca_{drop\Theta}$는 미리 구해 두지만, 그 방법은 특별히 제한되지 않는다. 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 구하는 방법으로서, 미리 하기 (i)~(iii)의 방법으로 구하는 것을 들 수 있다.

[0118] (i) 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도와 슬래브의 Ca 농도를 측정하고, 상기 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도로부터 상기 슬래브의 Ca 농도를 빼서 Ca 저하량을 산출한다.

[0119] (ii) 상기 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브를 압연하여 얻어지는 강판에 대해서 수소유기균열 시험을 행한다.

[0120] (iii) 상기 (i)에서 측정한 Ca 저하량과, 상기 (ii)의 수소유기균열 시험 결과로부터, 수소유기균열이 발생하지 않는 최대의 Ca 저하량을 구한다.

[0121] 상기 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 구하는 방법으로서 구체적으로, 하기 제 1 실시형태와 제 2 실시형태를 예로, 이하에 상세히 기술한다.

[0122] 〔제 1 실시형태〕

[0123] (턴디쉬 내 용강의 Ca 농도의 조사)

[0124] 턴디쉬 내 용강을 채취하여, 그의 Ca 농도(Ca_{TD1})를 분석한다. 턴디쉬 내 용강은 취과(ladle)로부터 상시 공급되기 때문에, Ca 농도(Ca_{TD1})는 채취 시에 관계없이 일정하다.

[0125] (슬래브의 Ca 농도의 조사)

[0126] 다음으로, 슬래브의 Ca 농도(Ca_{S1})를 조사한다. 도 3(a)에 나타내는 대로, 슬래브의 기준측 표면으로부터 두께 방향으로 D/2의 범위의 영역 R4(이하, 「기준측 영역 R4」라고 칭한다)로부터 샘플을 채취하여, Ca 농도 Ca_{S1}을 분석한다. 「기준측 영역 R4」는, 도 3(a)에 나타내는 바와 같이, 반기준측 표면으로부터 슬래브의 두께 방향으로 D/2 이상 D 이하의 범위이다.

[0127] 전술한 대로, CaO 개재물의 밀도는 용강의 밀도보다 작기 때문에, 용강 중의 CaO 개재물은 용강과의 밀도차에

기인한 부력을 받아 부상한다. 굽힘부나 수평부가 형성된 연속 주조기에서는, 도 1에 나타내는 대로, CaO 개재물이 부상하면 반기준측의 응고셸에 포착되기 때문에, CaO 집적대는 슬래브의 반기준측에 발생하고, 기준측에 발생하지 않는다.

[0128] 그래서 본 발명에서는, 상기 도 3(a)대로, CaO 집적대가 발생하지 않는 「기준측 표면으로부터 두께 방향으로 D/2의 범위(기준측 영역 R4)」, 즉 후술하는 실시예에서는, 슬래브 두께 D의 중심으로부터 기준측 표면을 향하여 -0.50D까지의 범위에서, Ca 농도 Ca_{S1}을 조사한다. 이 기준측 영역 R4의 Ca 농도 Ca_{S1}에 의해, CaO 집적대가 발생해 있지 않은 위치의 「Ca 저하량」을 산출할 수 있기 때문에, CaO 집적대의 유무를 정확하게 평가할 수 있다.

[0129] 그리고, 『턴디쉬 내의 Ca 농도 Ca_{TD1}』로부터 『슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1}』을 빼서, 「Ca 저하량 Ca_{drop1}」을 산출한다. Ca_{drop1}은 이하의 식으로 표시된다.

[0130] $Ca_{drop1}=Ca_{TD1}-Ca_{S1}$

[0131] (압연)

[0132] 상기 Ca 농도 Ca_{S1}을 측정한 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브를 열간 압연하여, 역치 측정용의 강판을 제조한다. 예를 들면 다음의 조건에서 압연을 행하는 것을 들 수 있다. 즉, 상기 슬래브를 1050~1250℃가 되도록 가열한 후, 강판의 표면 온도로 900℃ 이상, 하기와 같이 계산에 의해 구해지는 강판 평균 온도가 1000℃ 이상의 누적 압하율이 40% 이상이고 또한 1패스당 압하율이 10% 이상인 패스가 2패스 이상이 되도록 열간 압연을 행한다. 그 후 추가로, 700℃ 이상 900℃ 미만의 누적 압하율이 20% 이상이 되도록 열간 압연을 행하여, 압연 종료 온도가 700℃ 이상 900℃ 미만이 되도록 한다. 그 후, 650℃ 이상의 온도로부터 수냉을 개시하고, 350~600℃의 온도에서 정지하고, 추가로 그 후, 실온까지 공냉한다. 상기 강판 평균 온도는 다음과 같이 해서 구해진다. 즉, 압연 중의 압연 패스 스케줄이나 패스간의 냉각 방법(수냉 또는 공냉) 등의 데이터에 기초하여, 판 두께 방향의 임의의 위치에 있어서의 온도를 차분법 등 계산에 적합한 방법을 이용하여 계산하고, 구해진 강편의 표면에서 이면까지의 온도의 평균치를 강판 평균 온도로 한다.

[0133] (HIC 시험)

[0134] 그리고 강판에 대해서 HIC 시험을 행하여, HIC 발생의 유무를 조사한다. HIC 시험은, 후술하는 실시예에 나타내는 대로, NACE(National Association of Corrosion and Engineer) standard TM0284-2003에 규정된 방법으로 행하는 것을 들 수 있다.

[0135] 상기 HIC 시험의 대상 영역은, 도 3(b)에 나타내는 바와 같이, 반기준측 영역에 대응하는 제품 영역 R40 중 두께 중심부 근방을 제외한 영역 R41로 한다. 상기 도 1에 나타내는 대로, 조대화된 CaO 집적대는 슬래브의 반기준측에 형성되기 쉬워, CaO 기인의 HIC는 반기준측 면 근방에 대응하는 영역에 발생하기 쉽기 때문이다. 한편, 두께 중심부에서는 편석 기인의 HIC가 발생하기 쉽기 때문에, CaO 기인의 HIC로 평가할 수 없다. 그래서, 두께 중심부 근방을 제외한 영역 R41에서 HIC가 발생해 있는지를 조사한다.

[0136] (역치의 결정)

[0137] 계속해서, 상기 「Ca 저하량 Ca_{drop1}」과 「HIC 시험 결과」로부터, HIC가 발생하지 않는 Ca 저하량의 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 결정한다. 복수의 Ca 저하량 Ca_{drop1}과 HIC 시험 결과를 대비하여, HIC가 전혀 발생하지 않을 때의 최대 Ca 저하량을 「역치 $Ca_{drop\Theta}$」라고 한다. 특히, 복수의 슬래브의 측정 결과 및 시험 결과를 이용하는 것에 의해, 보다 정확한 역치를 얻을 수 있어, HIC 발생 유무의 오판정을 줄일 수 있다.

[0138] 〔제 2 실시형태〕

[0139] 다음으로, Ca 저하량의 산출 방법이 상기 제 1 실시형태와 상이한 제 2 실시형태에 대하여, 도 4를 참조하면서 설명한다. 전술한 제 1 실시형태와 동일한 구성에 대해서는 설명을 간략화한다. 또한 상기 도 4에 있어서도, 전술한 제 1 실시형태와 동일한 구성에 대해서는 동일한 부호를 이용하여, 그 설명을 적절히 생략한다.

[0140] (턴디쉬 내 용강의 Ca 농도의 조사)

[0141] 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도(Ca_{TD1})를 조사한다.

[0142] (슬래브의 Ca 농도의 조사)

[0143] 다음으로, 동일 차지(charge)로 주조한 슬래브에 있어서, 도 4에 나타내는 대로, 두께 방향으로 상이한 2개소 이상의 조사 위치에서 샘플을 채취하여, 각 샘플의 Ca 농도를 분석한다. 얻어진 2개 이상의 Ca 농도(Ca_{S1}, Ca_{S2}…)로부터 최소의 Ca 농도(Ca_{min1})를 선택한다.

[0144] 그리고, 「턴디쉬 내의 Ca 농도 Ca_{TD1}」로부터 「슬래브의 최소 Ca 농도 Ca_{min1}」을 뺀 값을 이용하여, 「Ca 저하량 Ca_{drop11}」을 산출한다. Ca_{drop11}은 이하의 식으로 표시된다.

[0145] $Ca_{drop11}=Ca_{TD1}-Ca_{min1}$

[0146] 슬래브의 두께 방향의 전체 범위에서 Ca 농도의 조사 위치를 1개소로 한 경우, 그 위치가 집적대이면 현저하게 높은 Ca 농도가 검출된다. 고Ca 농도로부터 산출된 Ca 저하량은 작기 때문에, CaO 집적대가 발생해 있지 않다고 판단되어, HIC가 발생하지 않는다고 평가되어 버린다. 그러나, 실제로는 집적대가 발생하고, 이것이 원인으로 HIC가 발생할 수 있다는 것도 생각된다.

[0147] 그래서, 본 실시형태에서는, 슬래브의 두께 방향으로 상이한 2개소 이상의 위치에서 Ca 농도를 조사한다. CaO 집적대는 주조 조건에 의해 정해지는 특정한 두께 방향 위치에 존재하기 때문에, 조사 위치를 두께 방향으로 변경하는 것에 의해, CaO 집적대가 발생해 있지 않은 위치를 조사 대상에 포함시킬 수 있다.

[0148] 또한, 2개 이상의 Ca 농도(Ca_{S1}, Ca_{S2}…)에는, 집적대의 Ca 농도나 집적대가 발생해 있지 않은 위치의 Ca 농도가 포함되지만, 이들 중 최소의 Ca 농도(Ca_{min1})를 선택하는 것에 의해, 집적대가 발생해 있지 않은 위치의 Ca 농도를 선택할 수 있다. 이 농도로부터 집적대가 발생해 있지 않은 위치에서의 Ca 저하량을 산출할 수 있기 때문에, CaO 집적대의 유무를 정확하게 평가할 수 있다.

[0149] 여기에서, CaO 집적대의 생성 메커니즘은 CaO 개재물과 Al_2O_3 개재물에서 동일하고, Al_2O_3 개재물의 집적대의 두께는 10mm로 보고되어 있다(문헌: ISIJ International, Vol. 43(2003), No. 10, p. 1548-1555). 이 보고로부터 CaO 개재물의 집적대의 두께도 10mm라고 추측할 수 있다. 그렇다면, 도 4에 나타내는 바와 같이, Ca 농도의 각 조사 위치를 두께 방향으로 10mm보다 길게 떼어 놓으면, 조사 위치의 하나가 집적대여도, 그 밖의 조사 위치는 집적대가 발생해 있지 않은 위치가 된다. 이와 같은 이유로부터, 2개소 이상의 조사 위치는 각각 두께 방향으로 10mm를 초과해서 이간되어 있는 것이 바람직하다. 한편, 도 4에서는, 조사 위치를 2개소로 하고, 2개의 조사 위치의 두께 방향 거리 l이 10mm를 초과하는 경우를 나타내고 있다(2개의 조사 위치의 두께 방향 거리 l>10mm).

[0150] 또한 도 1에 나타내는 대로, 주조 경로의 굽힘부 근방에서는, CaO 개재물이 광범위에서 포착되기 때문에, 도 4에 나타내는 슬래브의 폭 방향 양단으로부터 D/2의 영역 R1, R2에서는, CaO 집적대가 두께 방향으로 광범위하게 발생한다. 따라서, 영역 R1, R2에서는 Ca 농도의 조사 위치를 두께 방향으로 변경해도, 집적대가 발생해 있지 않은 위치를 조사할 수 없을 가능성이 있다. 그래서, Ca 농도 조사 위치를, 주로 광면(廣面)측만으로부터 냉각되는, 폭 방향 양단으로부터 D/2를 제외한 폭 W-D의 영역 R3으로 하는 것이 바람직하다.

[0151] (압연)

[0152] 상기 Ca 농도 Ca_{S1} 등을 측정한 슬래브와 동일한 주조 조건에서 주조한 슬래브를 열간 압연하여, 역치 측정용의 강판을 제조한다.

[0153] (HIC 시험)

[0154] 그리고 강판에 대해서 HIC 시험을 행하여, 「반기준측 면 근방에 대응하는 영역 R41」에서의 HIC 발생 유무를 조사한다. HIC 시험은, 후술하는 실시예에 나타내는 대로, NACE standard TM0284-2003에 규정된 방법으로 행하는 것을 들 수 있다.

[0155] (역치의 결정)

[0156] 계속해서, 「Ca 저하량 Ca_{drop11}」과 「HIC 시험 결과」로부터, HIC가 발생하지 않는 Ca 저하량의 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 결정한다. 본 실시형태에서는, HIC가 전혀 발생하지 않을 때의 최대 Ca 저하량을 「역치 $Ca_{drop\Theta}$」라고 한다.

[0157] [판정 대상 차지의 Ca 저하량의 측정]

[0158] 판정 대상 차지의 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD11}을 조사한다. 예를 들면 상기 제 2 실시형태와 마찬가지로, 동일 차지로 주조한 슬래브에 있어서 두께 방향으로 상이한 2개소 이상에서 Ca 농도를 조사하여, 2개 이상의 Ca 농도(Ca_{S11}, Ca_{S12}…)로부터 최소의 Ca 농도(Ca_{min11})를 선택한다. 2개소 이상의 조사 위치는 각각 두께 방향으로 10㎜보다 길게 이간되어 있는 것이 바람직하다.

[0159] 그리고, 「턴디쉬 내의 Ca 농도 Ca_{TD11}」로부터 「슬래브의 최소 Ca 농도 Ca_{min11}」을 빼서, 판정 대상의 「Ca 저하량 Ca_{drop}」을 산출한다. Ca_{drop}은 이하의 식으로 표시된다.

[0160] $Ca_{drop}=Ca_{TD11}-Ca_{min11}$

[0161] [판정 대상 차지의 Ca 저하량의 평가]

[0162] 상기 판정 대상의 Ca_{drop}과 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 대비하여, Ca_{drop}이 역치 $Ca_{drop\Theta}$ 이하인 경우, 얻어지는 강판은 내HIC성이 우수하다고 판단하고, Ca_{drop}이 역치 $Ca_{drop\Theta}$를 초과해 있는 경우, 얻어지는 강판은 내HIC성이 뒤떨어진다고 판단한다.

[0163] 슬래브의 조사 위치(조사면)는 정상부가 바람직하지만, 비정상부여도 된다. 「비정상부」란, 주조 조건의 변화 시에 주조된 부분이고, 주조 속도의 상승 시와 같은 주조 초기나, 주조 속도의 하강 시와 같은 주조 말기에 주조된 부분 등을 들 수 있다. 비정상부에서 조사하는 경우, 도 5에 나타내는 바와 같이, HIC 시험을 실시하는 부위에 인접하는 부분을 조사하는 것이 바람직하다. 이와 같은 부분은 HIC 시험 결과와 마찬가지인 내HIC성을 나타내기 때문에, 보다 정확한 평가를 행할 수 있다.

[0164] 본 발명의 강판은, 그의 압연 전의 상태인 슬래브의 단계에 있어서, 턴디쉬 내의 Ca 농도로부터 슬래브의 Ca 농도를 빼서 「Ca 저하량 Ca_{drop}」을 산출하고, 그 「Ca 저하량 Ca_{drop}」이 $Ca_{drop}\leq$역치 $Ca_{drop\Theta}$를 만족시키는 강판이다. 본 발명의 강판은, 상기 $Ca_{drop}\leq$역치 $Ca_{drop\Theta}$를 만족시키고 있어, 슬래브에 CaO 집적대가 발생해 있지 않다고 생각되기 때문에, HIC가 발생하지 않는다.

[0165] 이와 같이, 본 실시형태에서는, 내HIC성의 평가에 「턴디쉬로부터 슬래브로의 Ca 농도 저하량」을 이용하고 있다. 이것으로부터 주편의 내부 품질(CaO 개재물의 집적도)을 정확하게 평가할 수 있기 때문에, 이 평가 결과를 토대로 주편의 단계에서 내HIC성을 평가할 수 있다. 이에 의해, 수 주간을 필요로 하는 HIC 시험을 생략할 수 있기 때문에, 제조로부터 출하까지의 기간을 대폭으로 단축할 수 있다.

[0166] 본원은 2014년 12월 26일에 출원된 일본 특허출원 제2014-266491호 및 2015년 10월 13일에 출원된 일본 특허출원 제2015-202378호에 기초하는 우선권의 이익을 주장하는 것이다. 2014년 12월 26일에 출원된 일본 특허출원 제2014-266491호의 명세서의 전체 내용 및 2015년 10월 13일에 출원된 일본 특허출원 제2015-202378호의 명세서의 전체 내용이 본원의 참고를 위해 원용된다.

[0167] **실시예**

[0168] 이하, 실시예를 들어 본 발명을 보다 구체적으로 설명하지만, 본 발명은 물론 하기 실시예에 의해 제한을 받는 것은 아니고, 전·후기의 취지에 적합할 수 있는 범위에서 적당히 변경을 가하여 실시하는 것도 물론 가능하며, 그들은 모두 본 발명의 기술적 범위에 포함된다.

[0169] (1) 주조

[0170] 표 1-1~표 4 및 도 6, 7에는, 역치를 결정하기 위한 실험 조건 및 실험 결과를 나타낸다. 연속 주조에 의해, 슬래브 두께 D가 280㎜이고 슬래브 폭 W가 2100㎜인 슬래브를 얻었다. 제 1 실시형태의 주조 조건을 표 1-1 및 표 1-2에, 제 2 실시형태의 주조 조건을 표 2-1 및 표 2-2에 각각 나타낸다. 본 실시예에서는, API(The American Petroleum Institute) X65 그레이드의 강판과 API X70 그레이드의 강판을 얻기 위해, 각각 25차지의 제조를 행했다.

[0171] 여기에서, 표 1-1, 표 1-2, 표 2-1 및 표 2-2에 나타내는 조건을 설명한다.

[0172] <턴디쉬 내 용강의 성분>

[0173] C, Mn, Nb, P, Ca의 농도를 발광 분광 분석법에 의해 측정했다. S 농도는 낮기 때문에, 발광 분광 분석법에 의한 측정이 곤란했다. 그래서, S 농도의 측정에는 연소-적외선 흡수법을 이용했다.

[0174] <주조 조건>

[0175] ·비수량

[0176] 비수량=(주형 직하로부터 연속 주조기 최종 롤까지의 단위 시간당 전체 2차 냉각수량[l/min.])/(단위 시간당 주조 주편 중량[kg/min.])

[0177] ·주조 속도

[0178] 주편의 인발 속도[m/min.]이고, 주편에 접촉하는 롤(메이저 롤)의 직경(원주)과 회전 속도(단위 시간당 회전수)로부터 산출했다.

[0179] (2) Ca 저하량의 조사

[0180] 슬래브의 전장이 10m가 된 시점에서 턴디쉬 내의 용강을 채취하여, 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}을 조사했다. 주조 후, 슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1} 또는 Ca_{min1}을 조사했다. 표 1-1 및 표 1-2에는, 슬래브의 기준측 영역 R4에서 Ca 농도를 조사했을 때의 조사 위치와 Ca 농도 Ca_{S1}을 나타내고 있다. 표 3-1, 표 3-2 및 표 4에는, 슬래브의 두께 방향으로 상이한 2~10개소(표 3-1, 표 3-2 및 표 4에 나타내는 합계 N수=2~10)에서 Ca 농도를 조사했을 때의 조사 위치와 각 개소에서의 Ca 농도를 나타내고 있다. 표 3-1, 표 3-2 및 표 4 중, 시험 No. 51~57, 69~100은 2개소에서 측정했다. 시험 No. 58~64는 3~8개소, 시험 No. 65~68은 10개소를 조사했다. 그리고 복수의 Ca 농도 중 최소 Ca 농도 Ca_{min1}을 나타내고 있다. 상기 2~10개소는 각각 두께 방향으로 10mm를 초과해서 이간된 위치이다.

[0181] [표 1-1]

시험 No.	턴디쉬 내 용강의 성분							주조 조건		제품 그레이드	슬래브의 Ca 농도의 조사 위치		슬래브의 Ca 농도
	C (질량%)	Mn (질량%)	Nb (질량%)	S (질량 ppm)	P (질량 ppm)	Ca_{TD1} (질량 ppm)	비수량 [L/kg-steel]	주조 속도 Vc [m/min.]		두께 중심으로부터의 거리 *		Ca_{s1} [ppm]
										D 환산 (두께 D)	[mm]	
1	0.06	1.32	0.036	6	58	33	0.4	1.0	X70	-0.49D	-69	32
2	0.05	1.28	0.037	6	60	27	0.4	1.1		-0.47D	-66	22
3	0.05	1.30	0.037	6	41	30	0.4	1.3		-0.21D	-29	28
4	0.06	1.27	0.037	5	68	28	0.6	1.0		-0.03D	-4	23
5	0.06	1.32	0.038	4	47	30	0.6	1.1		-0.48D	-67	28
6	0.06	1.33	0.036	5	57	31	0.6	1.2		-0.16D	-22	23
7	0.05	1.31	0.036	4	54	31	0.8	1.0		-0.32D	-45	25
8	0.06	1.33	0.037	7	65	33	0.8	1.1		-0.37D	-52	30
9	0.05	1.28	0.040	3	70	34	0.8	1.3		-0.20D	-28	28
10	0.05	1.33	0.038	4	65	34	1.0	1.0		-0.36D	-50	32
11	0.06	1.31	0.035	3	52	33	1.0	1.1		-0.26D	-36	25
12	0.06	1.31	0.036	7	42	32	1.0	1.3		-0.13D	-18	31
13	0.06	1.29	0.037	6	63	28	1.2	1.2		-0.00D	0	26
14	0.06	1.30	0.039	7	61	30	1.2	1.1		-0.21D	-29	28
15	0.06	1.27	0.037	3	57	30	1.2	1.3		-0.32D	-45	24
16	0.05	1.29	0.036	6	48	31	1.4	1.0		-0.31D	-43	28
17	0.05	1.30	0.038	5	46	26	1.4	1.1		-0.22D	-31	18
18	0.05	1.32	0.037	7	49	26	1.4	1.2		-0.03D	-4	20
19	0.05	1.31	0.037	7	42	34	1.4	1.3		-0.21D	-29	27
20	0.06	1.34	0.038	3	59	28	1.4	1.0		-0.29D	-41	25
21	0.05	1.27	0.036	6	66	32	1.4	1.1		-0.19D	-27	26
22	0.06	1.29	0.036	5	44	34	1.4	1.2		-0.47D	-66	29
23	0.05	1.27	0.035	3	67	31	1.4	1.3		-0.30D	-42	30
24	0.05	1.29	0.037	3	63	31	1.4	1.0		-0.46D	-64	28
25	0.05	1.28	0.035	5	46	29	1.4	1.1		-0.37D	-52	28

*: 두께 중심으로부터 반기준측 표면을 향하여 양(+), 기준측 표면을 향하여 음(-)으로 한다

[0182]

[0183] [표 1-2]

시험 No.	턴디쉬 내 용강의 성분						주조 조건		제품 그레이드	슬래브 Ca 농도의 조사 위치		슬래브의 Ca 농도
	C (질량%)	Mn (질량%)	Nb (질량%)	S (질량 ppm)	P (질량 ppm)	Ca Ca_{TD1} (질량 ppm)	비수량 [L/kg-steel]	주조 속도 Vc [m/min.]		두께 중심으로부터의 거리*		Ca_{s1} [ppm]
										D 환산 (두께 D)	[mm]	
26	0.06	1.28	0.033	5	52	29	0.4	1.0	X65	-0.37D	52	23
27	0.06	1.25	0.033	4	61	26	0.4	1.1		-0.35D	49	23
28	0.06	1.27	0.034	7	45	31	0.4	1.3		-0.23D	32	27
29	0.06	1.23	0.035	7	51	31	0.6	1.0		-0.01D	1	25
30	0.06	1.27	0.031	7	66	29	0.6	1.1		-0.40D	56	25
31	0.05	1.26	0.031	4	56	27	0.6	1.2		-0.49D	69	24
32	0.05	1.24	0.035	5	43	30	0.8	1.0		-0.17D	24	24
33	0.06	1.25	0.030	4	70	29	0.8	1.1		-0.15D	21	26
34	0.06	1.26	0.034	6	64	33	0.8	1.3		-0.36D	50	31
35	0.05	1.27	0.035	6	48	33	1.0	1.0		-0.37D	52	29
36	0.06	1.20	0.034	5	50	31	1.0	1.1		-0.40D	56	28
37	0.06	1.27	0.032	3	63	32	1.0	1.3		-0.10D	14	28
38	0.05	1.22	0.035	7	44	33	1.2	1.2		-0.24D	34	28
39	0.06	1.25	0.034	3	50	27	1.2	1.1		-0.37D	52	23
40	0.05	1.26	0.031	4	42	25	1.2	1.3		-0.26D	36	22
41	0.05	1.25	0.034	7	50	33	1.4	1.0		-0.39D	55	30
42	0.06	1.23	0.034	4	68	29	1.4	1.1		-0.41D	57	21
43	0.06	1.23	0.033	4	50	33	1.4	1.2		-0.25D	35	29
44	0.05	1.20	0.034	6	58	34	1.4	1.3		-0.25D	35	32
45	0.06	1.23	0.033	5	43	29	1.4	1.0		-0.13D	18	27
46	0.06	1.28	0.034	3	64	33	1.4	1.1		-0.49D	69	26
47	0.05	1.26	0.034	7	46	26	1.4	1.2		-0.49D	69	20
48	0.06	1.28	0.032	5	54	29	1.4	1.3		-0.17D	24	26
49	0.06	1.23	0.034	5	52	30	1.4	1.0		-0.10D	14	28
50	0.05	1.28	0.035	5	44	26	1.4	1.1		-0.27D	38	19

*: 두께 중심으로부터 반기준측 표면을 향하여 양(+), 기준측 표면을 향하여 음(-)으로 한다

[0184]

[0185] [표 2-1]

시험 No.	턴디쉬 내 용강의 성분							주조 조건		제품 그레이드
	C (질량%)	Mn (질량%)	Nb (질량%)	S (질량 ppm)	P (질량 ppm)	Ca Ca_{TD1} (질량 ppm)		비수량 [L/kg-steel]	주조 속도 Vc [m/min.]	
51	0.06	1.32	0.036	6	58	33		0.4	1.0	X70
52	0.05	1.28	0.037	6	60	27		0.4	1.1	
53	0.05	1.30	0.037	6	41	30		0.4	1.3	
54	0.06	1.27	0.037	5	68	28		0.6	1.0	
55	0.06	1.32	0.038	4	47	30		0.6	1.1	
56	0.06	1.33	0.036	5	57	31		0.6	1.2	
57	0.05	1.31	0.036	4	54	31		0.8	1.0	
58	0.06	1.33	0.037	7	65	33		0.8	1.1	
59	0.05	1.28	0.040	3	70	34		0.8	1.3	
60	0.05	1.33	0.038	4	65	34		1.0	1.0	
61	0.06	1.31	0.035	3	52	33		1.0	1.1	
62	0.06	1.31	0.036	7	42	32		1.0	1.3	
63	0.06	1.29	0.037	6	63	28		1.2	1.2	
64	0.06	1.30	0.039	7	61	30		1.2	1.1	
65	0.06	1.27	0.037	3	57	30		1.2	1.3	
66	0.05	1.29	0.036	6	48	31		1.4	1.0	
67	0.05	1.30	0.038	5	46	26		1.4	1.1	
68	0.05	1.32	0.037	7	49	26		1.4	1.2	
69	0.05	1.31	0.037	7	42	34		1.4	1.3	
70	0.06	1.34	0.038	3	59	28		1.4	1.0	
71	0.05	1.27	0.036	6	66	32		1.4	1.1	
72	0.06	1.29	0.036	5	44	34		1.4	1.2	
73	0.05	1.27	0.035	3	67	31		1.4	1.3	
74	0.05	1.29	0.037	3	63	31		1.4	1.0	
75	0.05	1.28	0.035	5	46	29		1.4	1.1	

[0186]

[0187] [표 2-2]

시험 No.	턴디쉬 내 용강의 성분						주조 조건		제품 그레이드
	C (질량%)	Mn (질량%)	Nb (질량%)	S (질량 ppm)	P (질량 ppm)	Ca Ca_{TD1} (질량 ppm)	비수량 [L/kg-steel]	주조 속도 Vc [m/min.]	
76	0.06	1.28	0.033	5	52	29	0.4	1.0	X65
77	0.06	1.25	0.033	4	61	26	0.4	1.1	
78	0.06	1.27	0.034	7	45	31	0.4	1.3	
79	0.06	1.23	0.035	7	51	31	0.6	1.0	
80	0.06	1.27	0.031	7	66	29	0.6	1.1	
81	0.05	1.26	0.031	4	56	27	0.6	1.2	
82	0.05	1.24	0.035	5	43	30	0.8	1.0	
83	0.06	1.25	0.030	4	70	29	0.8	1.1	
84	0.06	1.26	0.034	6	64	33	0.8	1.3	
85	0.05	1.27	0.035	6	48	33	1.0	1.0	
86	0.06	1.20	0.034	5	50	31	1.0	1.1	
87	0.06	1.27	0.032	3	63	32	1.0	1.3	
88	0.05	1.22	0.035	7	44	33	1.2	1.2	
89	0.06	1.25	0.034	3	50	27	1.2	1.1	
90	0.05	1.26	0.031	4	42	25	1.2	1.3	
91	0.05	1.25	0.034	7	50	33	1.4	1.0	
92	0.06	1.23	0.034	4	68	29	1.4	1.1	
93	0.06	1.23	0.033	4	50	33	1.4	1.2	
94	0.05	1.20	0.034	6	58	34	1.4	1.3	
95	0.06	1.23	0.033	5	43	29	1.4	1.0	
96	0.06	1.28	0.034	3	64	33	1.4	1.1	
97	0.05	1.26	0.034	7	46	26	1.4	1.2	
98	0.06	1.28	0.032	5	54	29	1.4	1.3	
99	0.06	1.23	0.034	5	52	30	1.4	1.0	
100	0.05	1.28	0.035	5	44	26	1.4	1.1	

[0188]

[0189] [표 3-1]

시험 No.	합계 N수	최소 Ca 농도 Ca_{min1} [ppm]	슬래브 조사 내용									
			Ca 농도의 조사 위치 및 Ca 농도									
			N=1		N=2		N=3		N=4		N=5	
			두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]
51	2	30	10	30	20	37	---	---	---	---	---	---
52	2	25	10	25	40	30	---	---	---	---	---	---
53	2	27	-10	27	60	31	---	---	---	---	---	---
54	2	26	-10	26	80	33	---	---	---	---	---	---
55	2	25	130	25	100	26	---	---	---	---	---	---
56	2	30	-130	30	-120	30	---	---	---	---	---	---
57	2	26	-130	26	-110	27	---	---	---	---	---	---
58	3	31	10	31	30	31	50	30	---	---	---	---
59	4	32	-10	32	-30	31	-50	32	-70	33	---	---
60	5	30	-50	30	-10	30	10	30	50	30	90	31
61	6	30	-100	30	-80	30	-40	31	-20	31	20	29
62	7	28	10	28	30	28	50	28	70	28	90	27
63	7	25	10	25	20	25	30	26	40	25	50	25
64	8	28	10	28	20	28	30	27	40	28	50	33
65	10	29	10	29	20	29	30	29	40	35	50	29
66	10	30	10	30	-130	29	-110	30	-70	30	-50	30
67	10	25	10	25	20	25	30	25	40	24	50	26
68	10	23	10	23	20	23	-130	23	-120	23	-80	23
69	2	31	20	31	50	31	---	---	---	---	---	---
70	2	20	40	20	80	21	---	---	---	---	---	---
71	2	29	60	29	100	29	---	---	---	---	---	---
72	2	32	80	32	120	33	---	---	---	---	---	---
73	2	30	-20	30	-50	30	---	---	---	---	---	---
74	2	27	-40	27	-80	28	---	---	---	---	---	---
75	2	27	-60	27	-130	28	---	---	---	---	---	---

*: 두께 중심으로부터 반기준측 표면을 향하여 양(+), 기준측 표면을 향하여 음(-)으로 한다

[0190]

[0191] [표 3-2]

시험 No.	합계 N수	최소 Ca 농도 Ca_{min1} [ppm]	슬래브 조사 내용											
			Ca 농도의 조사 위치 및 Ca 농도											
			N=6		N=7		N=8		N=9		N=10			
			두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]		
51	2	30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
52	2	25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
53	2	27	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
54	2	26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
55	2	25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
56	2	30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
57	2	26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
58	3	31	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
59	4	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
60	5	30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
61	6	30	50	30	---	---	---	---	---	---	---	---		
62	7	28	110	28	130	28	---	---	---	---	---	---		
63	7	25	60	31	70	25	---	---	---	---	---	---		
64	8	28	60	28	70	27	80	28	---	---	---	---		
65	10	29	60	30	70	30	80	29	90	29	110	28		
66	10	30	0	30	40	38	60	31	90	31	110	30		
67	10	25	60	25	70	32	80	25	90	26	110	26		
68	10	23	-50	22	-20	29	0	24	10	23	30	23		
69	2	31	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
70	2	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
71	2	29	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
72	2	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
73	2	30	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
74	2	27	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
75	2	27	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		

*: 두께 중심으로부터 반기준측 표면을 향하여 양(+), 기준측 표면을 향하여 음(-)으로 한다

[0192]

[0193] [표 4]

시험 No.	합계 N수	슬래브 조사 내용				
		최소 Ca 농도 Ca_{min1} [ppm]	Ca 농도의 조사 위치 및 Ca 농도			
			N=1		N=2	
			두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]	두께 중심으로부터의 거리* [mm]	Ca 농도 [ppm]
76	2	26	10	26	20	37
77	2	22	10	22	40	30
78	2	25	10	25	60	29
79	2	30	10	30	80	38
80	2	27	10	27	100	28
81	2	25	10	25	120	25
82	2	26	10	26	140	27
83	2	28	20	28	50	29
84	2	30	40	38	80	30
85	2	29	60	34	100	29
86	2	29	80	29	120	29
87	2	30	20	30	50	37
88	2	30	40	30	50	38
89	2	24	50	24	60	30
90	2	20	-70	20	-80	20
91	2	32	-90	32	-100	33
92	2	27	-110	27	-120	27
93	2	28	-130	28	-140	28
94	2	32	-20	32	-30	32
95	2	26	-10	26	-20	26
96	2	30	-10	30	-40	31
97	2	22	-10	22	-60	23
98	2	25	-10	25	-80	26
99	2	29	-10	29	-100	29
100	2	24	-10	24	-120	24

*:두께 중심으로부터 반기준측 표면을 향하여 양(+), 기준측 표면을 향하여 음(-)으로 한다

[0194]

[0195] (3) 압연

[0196] 그 후, 상기 슬래브를 1050~1250℃가 되도록 가열한 후, 강판의 표면 온도로 900℃ 이상, 계산에 의해 구해지는 강판 평균 온도가 1000℃ 이상의 누적 압하율이 40% 이상이고 또한 1패스당 압하율이 10% 이상인 패스가 2패스 이상이 되도록 열간 압연을 행하고, 그 후 추가로 700℃ 이상 900℃ 미만의 누적 압하율이 20% 이상이 되도록 열간 압연을 행하여, 압연 종료 표면 온도가 850℃가 되도록 했다. 그 후, 냉각 개시 표면 온도: 950℃로부터 평균 냉각 속도: 10℃/s로 냉각을 개시하여, 350~600℃의 온도에서 정지하고, 추가로 그 후, 실온까지 공냉하여, 여러 가지의 성분 조성이고 사이즈가 9~50mm 판 두께×2000~3500mm 폭×12000~35000mm 길이인 강판을 얻었다.

[0197] (4) HIC 시험

[0198] 역치 tΘ 결정을 위해서, 본 실시예에서는 압연 후에 HIC 시험을 행했다.

[0199] (a) 압연 후의 각 강판으로부터 샘플을 잘라내어, HIC 시험을 행했다. HIC 시험은 NACE standard TM0284-2003에 규정된 방법에 따라 실시했다.

[0200] (b) HIC 시험 후, 샘플을 3개소에서 절단하고, 각 단면(3단면)을 현미경으로 관찰하여, HIC의 유무를 확인했다. 관찰 영역은, 도 3(b)에 나타낸 「반기준측 영역에 대응하는 제품 영역 R40」에 있어서의, 제품의 두께 중심으로부터 판 두께±5.3% 이내의 범위를 제외한 영역 R41로 했다.

[0201] (5) Ca 저하량의 역치의 결정

[0202] 도 6은 제 1 실시형태의 역치 결정 결과를 나타내고 있고, 상기 (2)에서 조사한 「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}」 및 표 1-1 및 표 1-2의 「슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1}」과, HIC 시험 결과의 관계를 나타낸다. 또한, 도 7은 제 2 실시형태의 역치 결정 결과를 나타내고 있고, 상기 (2)에서 조사한 「턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}」,

및 표 3-1, 표 3-2 및 표 4의 슬래브의 최소 Ca 농도 Ca_{min1}과, HIC 시험 결과의 관계를 나타낸다.

[0203] 상기 도 6으로부터, 제 1 실시형태의 판정 방법에서는 Ca 저하량이 4ppm 이하일 때, HIC가 발생하지 않았다. 한편, Ca 저하량이 4ppm을 초과했을 때, HIC가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우가 혼재했다. 이 결과로부터, HIC의 발생을 확실히 억제할 수 있는 것은 Ca 저하량≤4ppm일 때인 것을 알 수 있었다. 그래서, 제 1 실시형태의 실시예에서는, Ca 저하량의 역치를 4ppm, 즉 $Ca_{drop\Theta}$=4ppm으로 했다.

[0204] 또한, 도 7로부터, 제 2 실시형태의 판정 방법에서도, Ca 저하량이 4ppm 이하일 때, HIC가 발생하지 않았다. 한편, Ca 저하량이 4ppm을 초과했을 때, HIC가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우가 혼재했다. 이 결과로부터, HIC의 발생을 확실히 억제할 수 있는 것은 Ca 저하량≤4ppm일 때인 것을 알 수 있었다. 그래서, 제 2 실시형태의 실시예에서도, Ca 저하량의 역치를 4ppm, 즉 $Ca_{drop\Theta}$=4ppm으로 했다.

[0205] 한편, 「Ca 저하량의 역치」는 강도 그레이드에 관계없이 모든 제품으로부터 결정되고 있다. 조대한 CaO에 의한 HIC의 발생의 용이성은 제품의 강도 그레이드에 관계하지 않기 때문이다.

[0206] (6) 판정 대상 슬래브의 평가

[0207] 상기 역치를 이용하여, 표 5에 나타내는 성분 조성의 판정 대상 슬래브의 내HIC성을 평가했다.

[0208] 표 5에 나타내는 성분 조성의 강을 용제하여, 연속 주조에 의해, 슬래브 두께 D가 280mm이고 슬래브 폭 W가 2100mm인 슬래브를 얻었다.

[0209] 판정 대상 차지의 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD11}을 조사함과 더불어, 판정 대상인 슬래브의 최소의 Ca 농도(Ca_{min11})를 구하여, 판정 대상인 슬래브의 Ca 저하량 Ca_{drop}을 전술한 대로 산출했다. 그리고, 상기 (5)의 제 1, 2 실시형태로부터 구한 역치 $Ca_{drop\Theta}$=4ppm을 이용하여, 판정 대상인 슬래브의 Ca 저하량 Ca_{drop}이 4ppm 이하일 때 CaO 기인의 HIC가 발생하지 않음, 즉 내HIC성 평가가 OK라고 판단하고, Ca 저하량 Ca_{drop}이 4ppm 초과일 때 CaO 기인의 HIC가 발생함, 즉 내HIC성 평가가 NG라고 판단했다. 이 결과를 표 6에 나타낸다.

[0210] 그 후, 상기 슬래브를 1050～1250℃가 되도록 가열한 후, 표 6의 「열간 압연·냉각 방법」의 란에 「TMCP」 또는 「QT」로 나타내는 대로, 2패턴의 열간 압연·냉각 방법에 의해, 성분 조성이 여러 가지인 강판(9～90mm 판두께×2000～3500mm 폭×12000～35000mm 길이)을 얻었다. 상기 「TMCP」는, 강판의 표면 온도로 900℃ 이상, 계산에 의해 구해지는 강판 평균 온도가 1000℃ 이상의 누적 압하율이 40% 이상이고 또한 1패스당 압하율이 10% 이상인 패스가 2패스 이상이 되도록 열간 압연을 행하고, 그 후 추가로 700℃ 이상 900℃ 미만의 누적 압하율이 20% 이상이 되도록 열간 압연을 행하여, 압연 종료 표면 온도가 850℃가 되도록 한 후, 냉각 개시 표면 온도: 950℃로부터 평균 냉각 속도: 10℃/s로 냉각을 개시하여, 350～600℃의 온도에서 정지하고, 추가로 그 후, 실온까지 공냉하는 방법이다. 상기 「QT」는, 열간 압연한 후 실온까지 공냉하고, 850℃ 이상 950℃ 이하의 온도로 재가열해서 담금질한 후, 600～700℃에서 템퍼링 처리를 행하는 방법이다.

[0211] 상기 강판을 이용하여 NACE standard TM0284-2003에 규정된 방법에 따라 HIC 시험을 실시하고, 내HIC성 시험에서의 균열의 유무를 확인했다. 그 결과를 표 6에 나타낸다.

[0212] [표 5]

강종	성분 조성(질량%) 잔부는 철 및 불가피 불순물																				Ca/S	(Ca-1.25S)/O
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca	N	O	REM	Zr	B	V	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	Ti	Mg		
1	0.03	0.15	1.42	0.005	0.0002	0.033	0.0015	0.0042	0.0013	0.0015	0.0012	0	0	0.33	0	0	0	0	0.011	0	7.5	0.96
2	0.11	0.45	0.81	0.011	0.0005	0.015	0.0022	0.0046	0.0018	0.0018	0.0009	0	0	0	0.29	0	0	0.027	0.015	0	4.4	0.88
3	0.06	0.35	1.05	0.005	0.0002	0.033	0.0015	0.0042	0.0013	0.0015	0.0012	0	0	0.15	0.15	0.20	0	0.032	0.011	0	7.5	0.96
4	0.06	0.35	1.15	0.004	0.0005	0.025	0.0022	0.0046	0.0018	0.0018	0.0009	0	0	0.12	0.21	0.24	0.09	0.027	0.015	0	4.4	0.88
5	0.11	0.25	1.19	0.003	0.0003	0.025	0.0017	0.0038	0.0013	0.0011	0.0012	0	0	0	0.22	0	0	0.021	0.014	0	5.7	1.02
6	0.08	0.42	0.97	0.008	0.0009	0.057	0.0024	0.0037	0.0016	0	0.0065	0	0	0	0	0	0	0.048	0.007	0	2.7	0.86
7	0.10	0.26	1.01	0.004	0.0007	0.027	0.0027	0.0048	0.0025	0.0071	0	0	0	0	0.11	0.42	0	0.007	0	0	3.9	0.73
8	0.05	0.19	1.22	0.009	0.0009	0.036	0.0017	0.0051	0.0022	0	0	0	0	0	0	0	0	0.041	0	0	1.9	0.26
9	0.09	0.33	0.92	0.011	0.0005	0.029	0.0027	0.0037	0.0011	0	0	0	0	0	0.17	0	0	0.017	0.018	0	5.4	1.89
10	0.06	0.31	1.28	0.005	0.0005	0.031	0.0029	0.0039	0.0014	0.0014	0.0012	0	0	0.16	0.23	0.21	0	0.033	0.014	0	5.8	1.63
11	0.06	0.28	1.25	0.006	0.0004	0.036	0.0026	0.0031	0.0019	0.0018	0.0009	0	0	0.16	0.24	0.20	0	0.033	0.015	0	6.5	1.11
12	0.06	0.32	1.32	0.006	0.0006	0.032	0.0033	0.0043	0.0017	0.0016	0.0007	0	0	0.17	0.24	0.22	0.12	0.036	0.011	0	5.5	1.50
13	0.06	0.32	1.27	0.004	0.0007	0.031	0.0031	0.0040	0.0026	0.0015	0.0011	0	0	0.15	0.23	0.20	0	0.034	0.013	0	4.4	0.86
14	0.06	0.33	1.16	0.005	0.0003	0.031	0.0014	0.0045	0.0016	0.0016	0.0008	0	0	0.15	0.25	0.20	0.09	0	0.013	0	4.7	0.84
15	0.06	0.31	1.45	0.005	0.0003	0.039	0.0018	0.0051	0.0017	0.0018	0.0008	0	0	0.15	0.23	0.23	0.08	0.010	0.013	0	6.0	0.84
16	0.06	0.31	1.13	0.006	0.0003	0.035	0.0014	0.0048	0.0016	0.0019	0.0008	0	0	0.15	0.25	0.26	0.09	0.010	0.012	0	4.7	0.64
17	0.06	0.31	1.14	0.005	0.0009	0.031	0.0015	0.0040	0.0015	0.0016	0.0009	0	0	0.15	0.23	0.20	0.09	0	0.013	0	1.7	0.25
18	0.06	0.31	1.43	0.005	0.0004	0.0036	0.0037	0.0036	0.0015	0.0019	0.0009	0	0	0.14	0.24	0.24	0.09	0.011	0.011	0	9.3	2.13

[0213]

[0214] [표 6]

강종	열간 압연·냉각 방법	턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD11}(질량%)	슬래브 Ca 농도 Ca_{min11}(질량%)	Ca 저하량 (ppm)	슬래브의 내HIC성 평가	내HIC성 시험에서의 균열의 유무
1	TMCP	0.0015	0.0012	3	OK	없음
2	TMCP	0.0022	0.0020	2	OK	없음
3	TMCP	0.0015	0.0012	3	OK	없음
4	TMCP	0.0022	0.0020	2	OK	없음
5	TMCP	0.0017	0.0016	1	OK	없음
6	TMCP	0.0024	0.0022	2	OK	없음
7	TMCP	0.0027	0.0025	2	OK	없음
8	TMCP	0.0017	0.0015	2	OK	있음
9	TMCP	0.0027	0.0022	5	NG	있음
10	TMCP	0.0029	0.0025	4	OK	없음
11	TMCP	0.0026	0.0024	2	OK	없음
12	TMCP	0.0033	0.0030	3	OK	없음
13	TMCP	0.0031	0.0027	4	OK	없음
14	QT	0.0014	0.0011	3	OK	없음
15	QT	0.0018	0.0015	3	OK	없음
16	QT	0.0014	0.0011	3	OK	없음
17	QT	0.0015	0.0013	2	OK	있음
18	QT	0.0037	0.0030	7	NG	있음

[0215]

[0216] 표 5 및 표 6로부터 다음의 것을 알 수 있다. 강종 No. 1~7, 10~16은 규정의 성분 조성을 만족시키고, 또한 슬래브의 Ca 저하량이 역치 이하로 억제되어 있기 때문에, 내HIC성이 우수한 본 발명의 강판이다.

[0217] 이에 비해, 강종 No. 9 및 18은 슬래브의 Ca 저하량이 역치를 초과해 있기 때문에, 슬래브의 내HIC성 평가는 NG였다. 또한, 압연 후에 행하는 HIC 시험에서는 강판에 균열이 생겨, 내HIC성이 뒤떨어지는 것을 확인했다. 또한, 강종 No. 9 및 18은 강판의 화학 성분 조성이 본 발명의 규정을 벗어난 예이다. 즉, 강종 No. 9의 강판은 REM 및 Zr이 0%이고, 또한 (Ca-1.25S)/O의 값이 규정을 벗어났기 때문에, 내HIC성이 뒤떨어졌다. 강종 No. 18은 (Ca-1.25S)/O의 값이 규정을 벗어났기 때문에, 내HIC성이 뒤떨어졌다. 강종 No. 8 및 17은 슬래브의 Ca 저하량이 역치보다도 작게 억제되어 있지만, 강판의 화학 성분 조성이 본 발명의 규정을 벗어난 예이다. 즉, 강종 No. 8은 REM 및 Zr이 0%이고, 또한 (Ca/S)의 값이 규정을 벗어나 있기 때문에, 내HIC성이 뒤떨어졌다. 또한, 강종 No. 17은 (Ca/S)의 값이 규정을 벗어나 있기 때문에, 내HIC성이 뒤떨어졌다.

[0218] 슬래브에서의 내HIC성 평가가 OK였던 예에서는, 주조 개시로부터 제품인 강판, 즉 내사워 강판의 출하까지의 기간(주조→압연→출하)이 19일이었다. 이에 비해, 압연 후에 얻어진 강판을 이용해 HIC 시험을 행하여, 내HIC성을 평가한 경우에는, 주조 개시로부터 출하까지의 기간(주조→압연→HIC 시험→출하)이 28일로 장기간을 필요로 했다. 본 실시예에서는, 상기 압연 후의 HIC 시험을 생략할 수 있었기 때문에, 주조 개시로부터 출하까지의 기

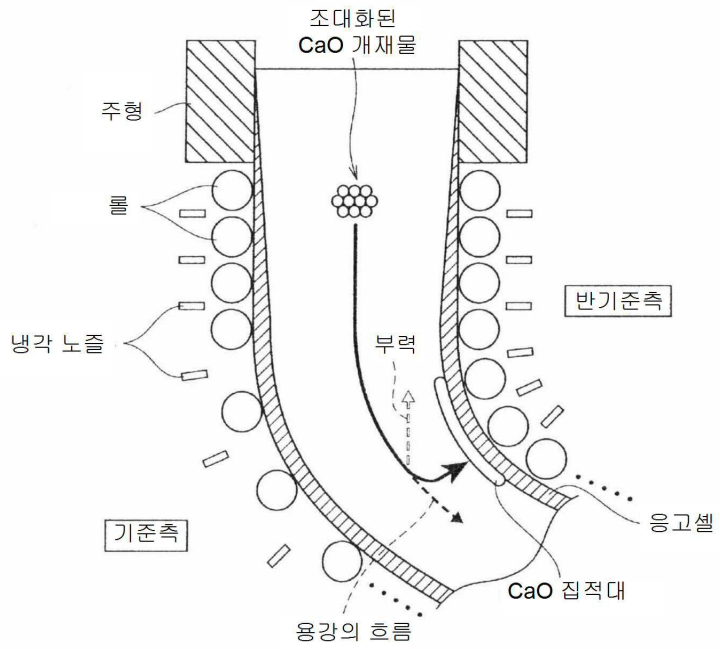
간을 28일→19일로 대폭으로 단축할 수 있었다.

[0219] 또한, 슬래브에서의 내HIC성 평가가 NG였던 예에서는, 슬래브의 단계에서 재용제를 개시한 바, 주조 개시로부터 제품인 강판, 즉 내사워 강판의 출하까지의 기간(주조→재용제→압연→출하)은 54일이었다. 이에 비해, 압연 후에 얻어진 강판을 이용해 HIC 시험을 행하여, 제품의 내HIC성을 평가한 결과, 평가가 NG였던 경우에는, 상기 HIC 시험을 행한 후에 재용제를 개시했기 때문에, 주조 개시로부터 제품인 강판의 출하까지의 기간(주조→압연→HIC 시험→재용제→압연→HIC 시험→출하)이 72일로 장기간을 필요로 했다. 본 실시예에서는, 상기 압연 후의 HIC 시험을 생략할 수 있었기 때문에, 재용제가 필요한 경우여도, 주조 개시로부터 출하까지의 기간을 72일→54일로 대폭으로 단축할 수 있었다.

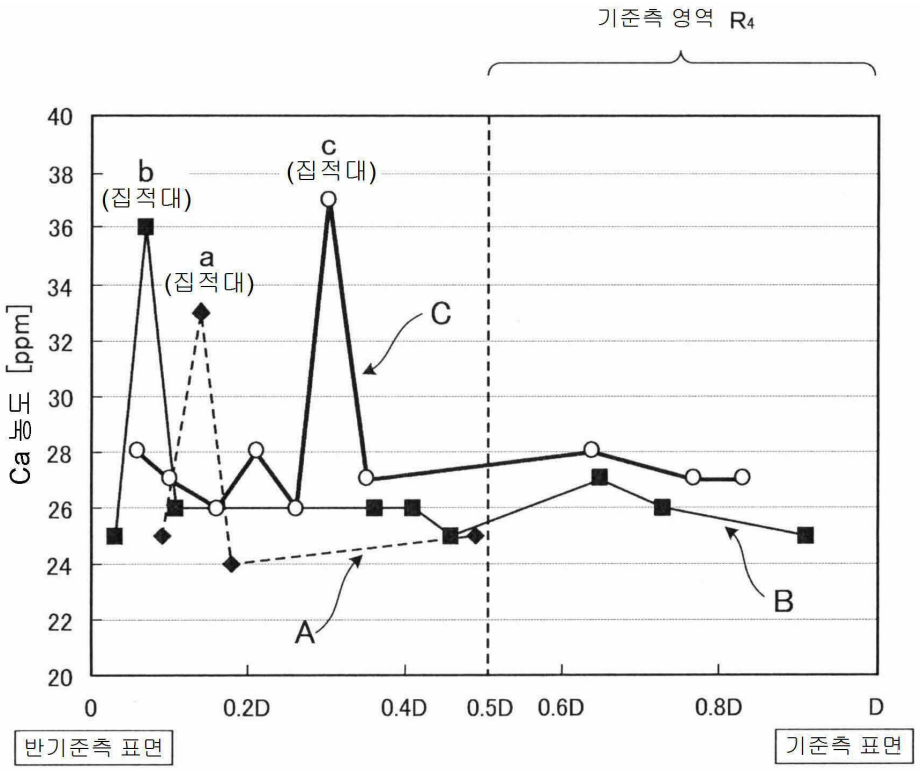
[0220] 이상과 같이, 본 발명에 의하면, 압연 후의 HIC 시험을 행하는 일 없이, 주편인 슬래브의 단계에서 내HIC성을 평가할 수 있었기 때문에, 제조 리드 타임을 대폭으로 단축할 수 있었다. 한편, 본 실시예에서는, 슬래브의 내HIC성 평가용 역치 결정을 위한 HIC 시험과 확인용의 HIC 시험이 동일했기 때문에, 본 발명의 판정 방법은 정밀도가 높다고 말할 수 있다.

도면

도면1



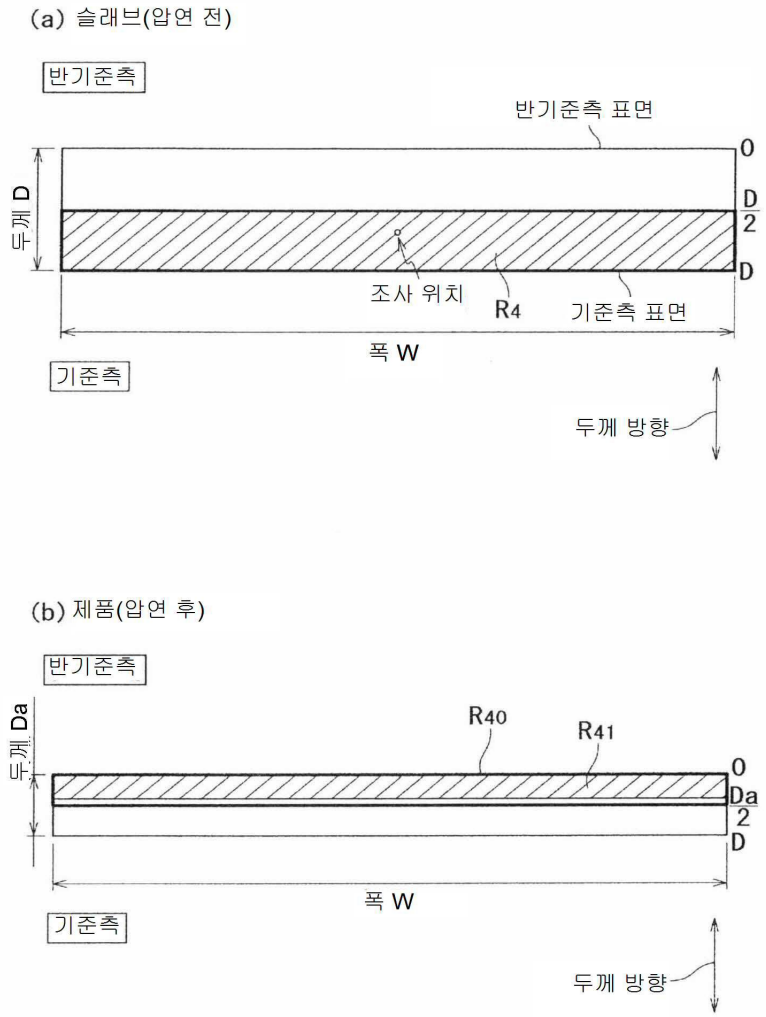
도면2



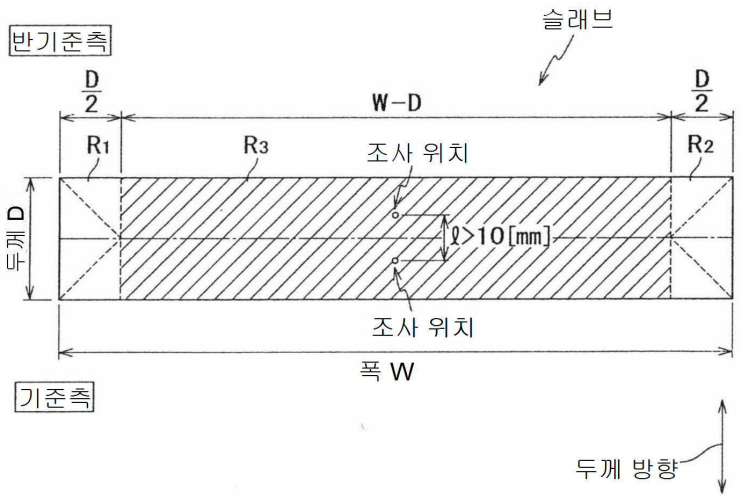
슬래브(두께 D)의 반기준측 표면으로부터의 두께 방향 거리

A : 주조 속도 1.0m/min, 토출 구멍의 각도 하향 30°
B : 주조 속도 0.8m/min, 토출 구멍의 각도 하향 20°
C : 주조 속도 1.2m/min, 토출 구멍의 각도 하향 35°

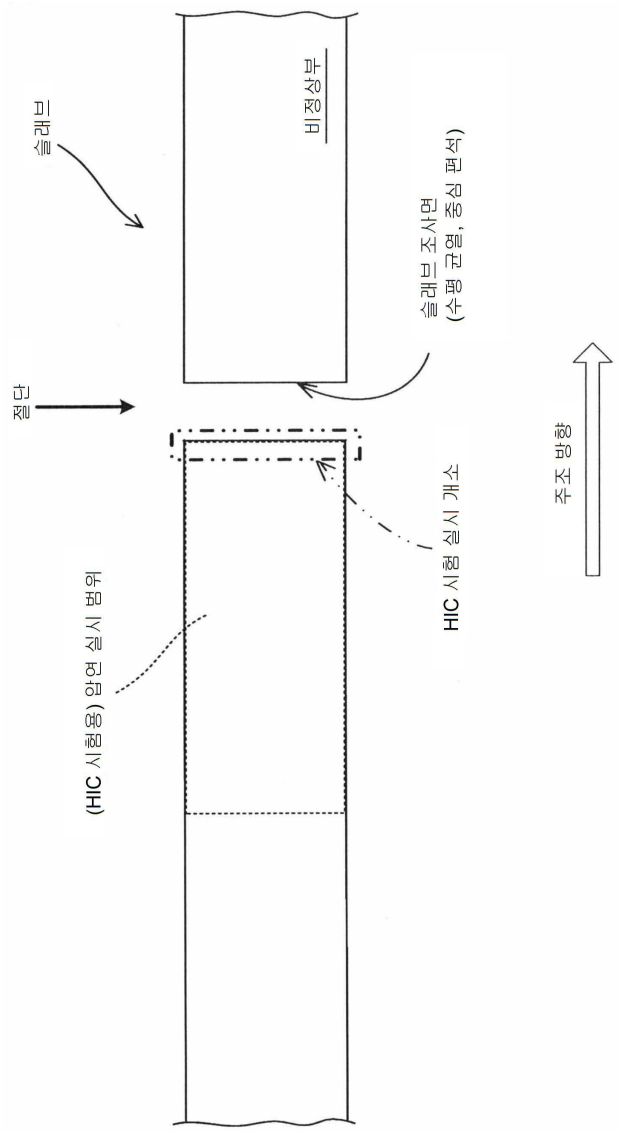
도면3


(a) 슬래브(압연 전)
반기준측
반기준측 표면
0
D/2
D
두께 D
조사 위치
R4
기준측 표면
폭 W
기준측
두께 방향
(b) 제품(압연 후)
반기준측
R40
R41
0
Da/2
D
두께 Da
폭 W
기준측
두께 방향

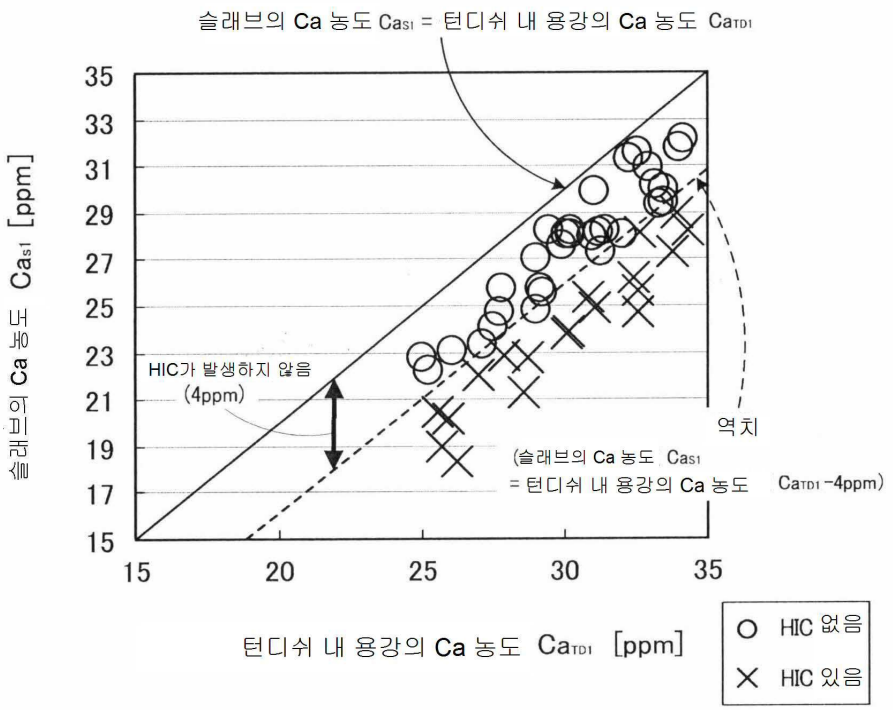
도면4


슬래브
반기준측
D/2
W−D
D/2
R1
R3
조사 위치
R2
두께 D
ℓ>10[mm]
조사 위치
폭 W
기준측
두께 방향

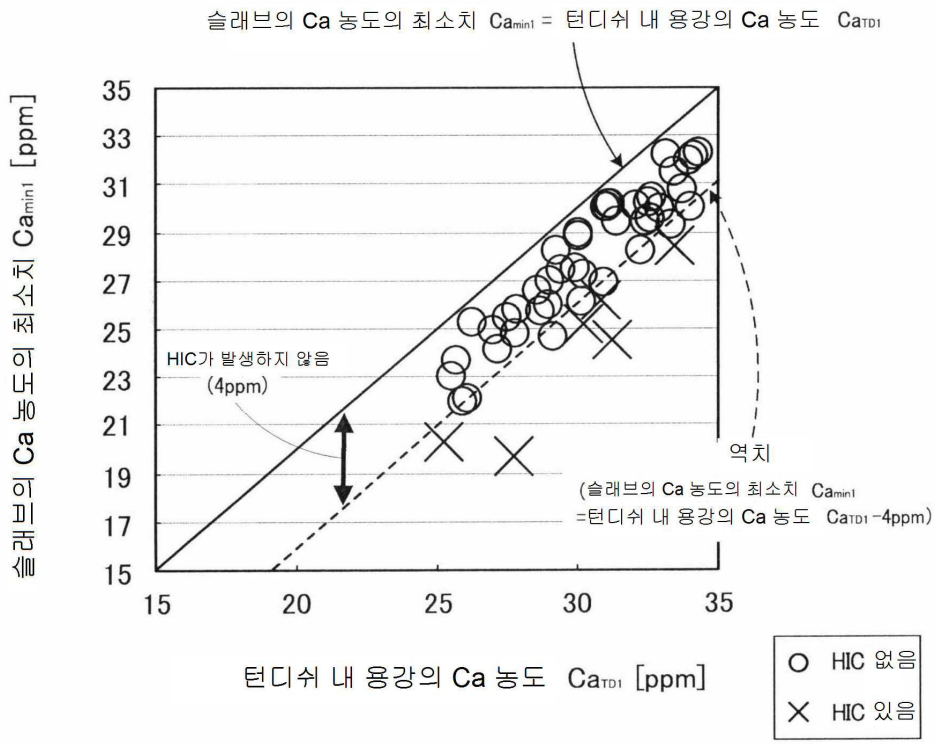
도면5



도면6


슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1} = 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}
슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1} [ppm]
35
33
31
29
27
25
23
21
19
17
15
HIC가 발생하지 않음
(4ppm)
역치
(슬래브의 Ca 농도 Ca_{S1}
= 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1} -4ppm)
15
20
25
30
35
턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1} [ppm]
HIC 없음
HIC 있음

도면7


슬래브의 Ca 농도의 최소치 Ca_{min1} = 턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1}
슬래브의 Ca 농도의 최소치 Ca_{min1} [ppm]
35
33
31
29
27
25
23
21
19
17
15
HIC가 발생하지 않음
(4ppm)
역치
(슬래브의 Ca 농도의 최소치 Ca_{min1}
=턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1} -4ppm)
15
20
25
30
35
턴디쉬 내 용강의 Ca 농도 Ca_{TD1} [ppm]
HIC 없음
HIC 있음