



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년01월11일

(11) 등록번호 10-1584235

(24) 등록일자 2016년01월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/00 (2006.01) *C21D 8/02* (2006.01)

C22C 38/60 (2006.01) *G01N 3/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-7020860

(22) 출원일자(국제) 2012년02월07일

심사청구일자 2013년08월07일

(85) 번역문제출일자 2013년08월07일

(65) 공개번호 10-2013-0114239

(43) 공개일자 2013년10월16일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2012/053201

(87) 국제공개번호 WO 2012/108543

국제공개일자 2012년08월16일

(30) 우선권주장

JP-P-2011-024495 2011년02월08일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP2008156750 A*

JP2007327137 A

JP2010242211 A

JP2008214652 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

제이에프이 스틸 가부시키키가이샤

일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방
3고

(72) 발명자

한다 츠네히사

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2
반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자
이삼부 나이

이기 사토시

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2
반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자
이샤부 나이

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이철

전체 청구항 수 : 총 9 항

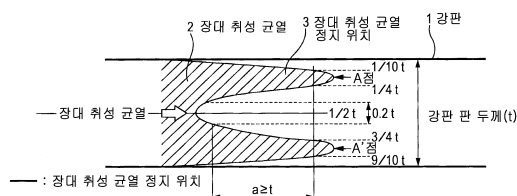
심사관 : 윤여분

(54) 발명의 명칭 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께 50mm 이상의 후강판 및 그의 제조 방법 그
리고 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법 및 시험 장치

(57) 요약

장대 취성 균열 정지부의 선단(先端) 형상으로, 판 두께 중앙부의 판 두께의 20%의 영역이, 강판 표면으로부터 판 두께의 1/4~1/10이 되는 영역에 대하여, 적어도 판 두께분의 길이만큼 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여 요함부(凹陷部)를 형성하고, 판 두께 중앙부에서 적어도 판 두께의 20%의 영역의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상, 판 두께의 1/4~1/10의 영역 또는 판 두께의 3/4~9/10의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상인 후강판, 특정 성분의 강을 900~1350℃로 가열 후, 강판 표면 온도 1000~850℃, 누적 압하율 10% 이상으로 압연 후, 특정의 표면 온도와 내부 온도의 상태에서, 1패스 압하율 7% 이상, 누적 압하율 50% 이상으로 압연 종료시의 강판 표면 온도 800~550℃에서 열간 압연하는 후강판의 제조 방법 및, 장대 취성 균열에 대한 전과 정지 성능의 평가 방법 그리고 평가 장치를 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

니시무라 키미히로

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산
부 나이

시오미 히로시

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산
부 나이

사다수에 테루키

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산
부 나이

엔도 시게루

일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반
3고 제이에프이 스틸 가부시키키가이샤 치테키자이산
부 나이

명세서

청구범위

청구항 1

강(鋼) 조성이, 질량%로, C: 0% 초과 0.15% 이하, Si: 0% 초과 0.60% 이하, Mn: 0.80~1.80%, S: 0.001~0.05%, Ti: 0.005~0.050%, Nb: 0.001~0.1%, Ni: 0% 초과 2.0% 이하를 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지며, 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판으로서, 상기 판 두께 중앙부에서 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역에 있어서의 부위의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상, 상기 판 두께(t)의 1/4~1/10이 되는 영역 또는 상기 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상이고, 장대 ESSO 시험을 행한 경우의 파면의 판 두께 방향 단면(斷面)에 있어서의 장대 취성 균열 전과 정지부의 선단(先端) 형상이, 판 두께 중앙부의 판 두께(t)의 20%의 폭의 영역에 있어서의 정지 균열 길이가, 강판 표면으로부터 판 두께(t)의 1/4~1/10 또는 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 최대 균열 길이에 대하여, 적어도 판 두께(t)의 길이만큼 상기 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여 짧고, 오목한 요함부(concave portion)부를 형성하고 있는 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 판 두께 중앙부에서 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역에 있어서의 부위의 압연면에서의 (211)면 X선 강도비 $X_{(211)}$ 와 (100)면 X선 강도비 $X_{(100)}$ 및 동일 부위의 2mm V노치 샤르피 충격 시험에 의해 얻어지는 파면 전이 온도 $vTrs(^{\circ}C)$ 가 식: $vTrs - 12X_{(100)} - 22X_{(211)} \leq (T - 75)/0.64$ [T는 강판의 공용 온도($^{\circ}C$)]를 만족하고, 상기 판 두께(t)의 1/4~1/10이 되는 영역 또는 상기 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상인 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.

청구항 4

제1항에 있어서,

강(鋼) 조성이, 질량%로, 추가로, Cu: 2.0% 이하, V: 0.2% 이하, Cr: 0.6% 이하, Mo: 0.6% 이하, W: 0.5% 이하, B: 0.0050% 이하, Zr: 0.5% 이하 중에서 선택한 적어도 1종을 함유하는 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.

청구항 5

제1항 또는 제4항에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재를, 900~1350 $^{\circ}C$ 의 온도로 가열하고, 이어서 강판 표면 온도 1000~850 $^{\circ}C$ 의 온도역에 있어서 누적 압하율 10% 이상 압연한 후, 강판 표면 온도 900~600 $^{\circ}C$ 그리고 강판 내부 온도가 강판 표면 온도보다 50~150 $^{\circ}C$ 고온이 되는 상태로 하고, 그 후, 1패스 압하율 8% 이상, 누적 압하율 50% 이상으로, 압연 종료시의 강판 표면 온도 800~550 $^{\circ}C$ 에서 열간 압연하는 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판의 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

추가로, 열간 압연을 종료한 후, 5 $^{\circ}C/s$ 이상의 냉각 속도로 400 $^{\circ}C$ 까지 냉각하는 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판의 제조 방법.

청구항 7

시험편 폭 2m 이상의 대형 시험편을 이용하여, 균열 전파 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전파 정지 성능을 평가·확인하는 시험에 있어서, 시험편 길이 또는 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판(tap plate) 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상인 강재 또는 구조물의 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

추가로, 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상인 강재 또는 구조물의 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가 방법.

청구항 9

시험편 폭 2m 이상의 대형 시험편을 이용하여, 균열 전파 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전파 정지 성능을 평가·확인하는 시험 장치에 있어서, 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상인 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 시험 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

추가로, 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상인 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 시험 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 대형 컨테이너선(Mega-container carrier)이나 벌크 캐리어(bulk carrier) 등에 이용하기에 적합한 취성 균열 전파 정지 특성(brittle crack arrestability)이 우수한 판 두께 50mm 이상의 후강판(thick steel plate) 및 그의 제조 방법에 관한 것이다. 또한, 실선(actual ship) 상당의 장대(long) 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법 그리고 시험 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 컨테이너선이나 벌크 캐리어는, 적재 능력(carrying capacity)의 향상이나 하역 효율(cargo handling efficiency)의 향상 등을 위해, 상부 개구부(upper aperture)를 크게 취한 구조로 되어 있다. 이 때문에, 선체의 강성(rigidity) 및 종강도(longitudinal strength)를 확보하기 위해, 이들의 배(ship)에서는 특히 선체 외판(outer plate of vessel's body)을 후육화(thickening)할 필요가 있다.

[0003] 최근, 컨테이너선은 대형화되고, 6,000~20,000TEU(twenty-foot equivalent unit)의 대형선에서는 선체 외판의 판 두께는 50mm 이상이 되어, 판 두께 효과(Thickness effect)에 의해 파괴 인성(fracture toughness)이 저하되는 것에 더하여, 용접 입열(welding heat input)도 보다 커지기 때문에, 용접부(welded part)의 파괴 인성이 한층 저하되는 경향에 있다. 또한, TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)는, 길이 20피트의 컨테이너로 환산한 개수를 나타내며, 컨테이너선의 적재 능력의 지표를 나타내고 있다.

[0004] 선박(ships)이나 라인 파이프(linepipe)에 사용되는 강관의 판 두께가 50mm 미만의 비교적 얇은 강재에 대해서

는, TMCP법(Thermomechanical controlled processing)에 의해 세립화(細粒化)를 도모하고, 저온 인성(low-temperature toughness)을 향상시켜, 우수한 취성 균열 전파 정지 특성을 부여할 수 있다.

[0005] 합금 비용(alloy cost)을 상승시키는 일 없이, 강재의 표층부(surface part)의 조직을 초미세화하는 기술이, 취성 균열 전파 정지 특성을 향상시키는 수단으로서 제안되고 있다. 예를 들면, 특허문헌 1에서는, 취성 균열이 전파될 때에, 강재 표층부에 발생하는 시어립(shear-lips)(소성 변형 영역(plastic deformation area))이 취성 균열 전파 정지 특성의 향상에 효과가 있는 것에 착안하여, 시어립 부분의 결정립을 미세화시켜, 전파되는 취성 균열이 갖는 전파 에너지(propagation energy)를 흡수시키는 방법이 개시되어 있다.

[0006] 강판을 열간 압연 후, 제어 냉각(controlled cooling)에 의해 표층 부분을 Ar_3 변태점 이하로 냉각하고, 그 후 제어 냉각을 정지하여 표층 부분을 변태점 이상으로 복열(復熱)시키는 공정을 1회 이상 반복하여 행하고, 그 사이에 강재에 압하를 가함으로써, 반복 변태시키거나 또는 가공 재결정(recrystallization due to deformation)시켜, 표층 부분에 초미세한 페라이트 조직(ferrite structure) 또는 베이나이트 조직(bainite structure)을 생성시키는 것이다.

[0007] 특허문헌 2에는, 페라이트-펄라이트(pearlite)를 주체의 마이크로 조직(microstructure)으로 하는 강재에 있어서 양(兩) 표면부를 원(circle) 상당 평균 입경: $5\mu m$ 이하, 애스펙트비(aspect ratio): 2 이상의 페라이트립(粒)을 갖는 페라이트 조직을 50% 이상 갖는 층으로 구성하고, 추가로 마무리 압연 중의 1패스당의 최대 압하율(maximum rolling reduction)을 12% 이하로 함으로써 국소적인 재결정 현상(recrystallization phenomenon)을 억제하고, 페라이트 입경의 불균일을 억제하면 우수한 취성 균열 전파 정지 특성 향상이 얻어지는 것이 개시되어 있다.

[0008] 특허문헌 3에는, 소성 변형(plastic deformation)을 받은 후의 내(耐)취성 균열 전파 특성이 우수한 강재로서, 이하의 (a)~(d)에 서술하는 방법에 의해 제조되는 결정립 내에 서브그레인(sub-grain)을 형성시킨 미세 페라이트를 주(主)조직으로 하는 강재가 개시되어 있다.

[0009] (a) 미세한 페라이트 결정립을 확보하는 압연 조건, (b) 강재 판 두께의 5%이상의 부분에 미세 페라이트 조직을 생성시키는 압연 조건, (c) 미세 페라이트에 집합 조직을 발달시킴과 함께 가공(압연)에 의해 도입한 전위(dislocation)를 열적 에너지(thermal energy)에 의해 재배치하고 서브그레인을 형성시키는 압연 조건, (d) 형성한 미세한 페라이트 결정립과 미세한 서브그레인립의 조대화(粗大化)를 억제하는 냉각 조건에 의해, 강판 표층의 냉각 및 복열 등이 복잡한 온도 제어(temperature control)를 필요로 하지 않고, 소성 변형을 받은 후의 취성 균열 전파 정지 특성을 향상시킨다.

[0010] 또한, 특허문헌 1~3과 상이한 기술 사상(technological thought)으로서 특허문헌 4에는, 집합 조직(texture)을 발달시킴으로써, 강재의 파괴면 상에 세퍼레이션(separation)을 판 두께 방향과 평행한 방향으로 발생시켜, 취성 균열 선단(brittle crack tip)의 응력을 완하시킴으로써, 내취성 균열 전파 특성을 높이는 방법에 있어서, 제어 압연에 의해 (110)면 X선 강도비(X-ray intensity ratio)를 2 이상으로 하고, 그리고 원 상당 직경 $20\mu m$ 이상의 조대립(large grain)을 10% 이하로 하는 것이 기재되어 있다.

[0011] 특허문헌 5에서는 용접 이음부(welded joint)의 취성 균열 전파 정지 성능이 우수한 용접 구조용 강으로서, 판 두께 내부에 있어서의 압연면에서의 (100)면의 X선 면 강도비가 1.5 이상을 갖는 것을 특징으로 하는 강판이 개시되고, 집합 조직 발달에 의해, 응력 부하 방향(stress loading direction)에 수직인 방향에 대하여, 균열 전파 방향(crack propagation direction)을 변화시켜, 취성 균열을 용접 이음부로부터 모재측으로 유도하고, 이음(joint)으로서의 취성 균열 전파 정지 성능을 향상시키는 것이 기재되어 있다.

[0012] 또한, 특허문헌 6에는, 판 두께 중앙부에 있어서의 압연면에서의 (211)면의 X선 강도비가 1.3 이상, 그리고 판 두께 1/4부에 있어서의 압연면에서의 (100)면 X선 강도비가 1.5 이상, 판 표층부에 있어서의 압연면에서의 (100)면 X선 강도비가 1.5 이상을 갖는 것을 특징으로 하는 강판이 개시되고, 집합 조직 발달에 의해, T이음 등을 통하여 강판 표면으로부터 돌입하는 취성 균열 선단 근방에 크랙(crack)이 발생하고, 그 크랙이 균열 전파 저항으로서 작용하여 판 두께 방향으로 전파되는 취성 균열에 대한 취성 균열 전파 정지 성능이 향상되는 것이 기재되어 있다.

[0013] 한편, 선체 구조(hull structure)에 있어서는, 만일 용접부로부터 취성 파괴(brittle failure)가 발생한 경우에도, 취성 균열의 전파를 정지시켜 선체 분리를 방지하는 것이 필요하다고 생각되고 있다. 판 두께 50mm 미만의 조선용 강판 용접부의 취성 균열 전파 거동에 대해서는, 일본 조선 연구 협회(The Shipbuilding Research

Association of Japan) 제147위원회에 있어서, 실험적으로 검토가 이루어지고 있다.

[0014] 제147위원회에서는, 용접부에서 강제적으로 발생시킨 취성 균열의 전파 경로, 전파 거동을 실험적으로 조사한 결과, 용접부의 파괴 인성(fracture toughness)이 어느 정도 확보되어 있으면, 용접 잔류 응력(welding residual stress)의 영향에 의해 취성 균열은 용접부로부터 모재측으로 벗어나 버리는 경우가 많지만, 용접부를 따라 취성 균열이 전파된 예도 복수 확인되었다. 이것은, 취성 파괴가 용접부를 따라 직진 전파될 가능성이 없다고는 단언할 수 없다는 것을 시사하고 있다.

[0015] 그러나, 제147 위원회에서 적용한 용접과 동등한 용접을 판 두께 50mm 미만의 강판에 적용하여 건조(建造)된 선박이, 하등 문제없이 취항(actual service)하고 있다는 많은 실적이 있는 것에 더하여, 인성이 양호한 강판 모재(조선 E급 강 등)는 취성 균열을 정지하는 능력이 충분히 있다는 인식으로부터, 조선용 강재 용접부의 취성 균열 전파 정지 특성은 선급 규칙(Rules and Guidance for the survey and construction of steel ships) 등에는 요구되어 오지 않았다.

선행기술문헌

특허문헌

[0016] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평4-141517호
(특허문헌 0002) 일본공개특허공보 2002-256375호
(특허문헌 0003) 일본특허공보 제3467767호 공보
(특허문헌 0004) 일본특허공보 제3548349호 공보
(특허문헌 0005) 일본공개특허공보 평6-207241호
(특허문헌 0006) 일본공개특허공보 2008-214652호

비특허문헌

[0017] (비특허문헌 0001) 야마구치 등: 「초대형 컨테이너선(Mega-container carrier)의 개발-새로운 고강도 극후강판(new high strength heavy gauge steel plate)의 실용-」, 일본 선박 해양 공학회지, 3, (2005), P 70.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 그러나, 최근의 6,000TEU를 초과하는 대형 컨테이너선에서는 강판의 판 두께는 50mm를 초과하고, 판 두께 효과에 의해 파괴 인성이 저하되는 것에 더하여, 용접 입열도 보다 커지기 때문에, 용접부의 파괴 인성이 한층 저하되는 경향에 있다.

[0019] 최근, 이러한 후속 대입열 용접 이음(large heat input welded joint of heavy gauge steel plate)에서는, 용접부로부터 발생한 취성 균열은 모재측으로 벗어나지 않고 직진하여 장대화(long and large)되고, 골재(혹은, 보강재라고도 함; stiffeners) 등의 강판 모재부에서도 정지하지 않는 것이 실험적으로 나타나(비특허문헌 1), 50mm 이상의 판 두께의 강판을 적용한 선체 구조의 안전 확보상에서 큰 문제가 되고 있다. 또한, 이러한 선체의 안전성 확보를 평가하는 시험으로서, 장대 ESSO 시험이 있지만, 평가 방법의 상위(相違)나 시험 장치의 제약 등에 따라 시험 결과가 변화하여, 실선에 상당하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 반드시 평가되고 있지는 않다는 문제가 있었다.

[0020] 전술한 특허문헌 1~6 기재의 강판은 장대화된 취성 균열 전파 정지 특성에 대해서 기재가 없어, 비특허문헌 1에서 분명해진 과제를 해결할 수 없다. 또한, 실선 상당의 장대 취성 균열 전파 정지 특성을 평가하는 방법이나 시험 장치에 대해서는, 특허문헌 1~6 기재의 기술에는 기재가 없어, 실선 상당의 안전성 평가라는 과제를 해결할 수 없다.

[0021] 그래서, 본 발명은, 50mm 이상의 판 두께의 강판 및 그의 용접부에 있어서, 취성 파괴가 발생한 경우라도, 대규

모 파괴(catastrophic fracture)에 이르기 전에 장대화된 취성 균열을 정지시키는 후강판 및 그의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 게다가, 실선 상당의 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법 그리고 시험 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한, 여기에서 말하는 장대 취성 균열이란, 인접하는 다른 강판으로부터 돌입하는 길이 1m 이상의 취성 균열을 말한다.

과제의 해결 수단

- [0022] 본 발명자들은, 화학 조성 및 압연 조건을 변화시킨 많은 강판에 대해서 집합 조직 형태와 취성 균열 전파 정지 특성(어레스트 성능(arrestability)이라고 하는 경우가 있음)의 관계를 조사함과 함께, 장대 취성 균열 전파 정지 현상에 미치는 어레스트 성능(인성이나 집합 조직에 영향을 받음)의 판 두께 방향의 분포의 영향을 조사했다. 또한, 탭판 선단 간 거리(distance between tips of tab plates) 또는 하중 부하점 간 거리(distance between loading points)를 변화시킨 동적 FEM 해석에 의해, 실선 상당의 장대 취성 균열 전파 특성을 모의할 수 있는 장대 ESSO 시험의 평가 방법, 시험 장치에 대해서 검토했다.
- [0023] 그 결과, 화학 조성 및 압연 조건을 제어하여, 어레스트 성능에 영향을 주는 인성 및 집합 조직의 판 두께 방향의 분포를 규정한 경우, 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 비약적으로 향상되어, 지금까지 정지가 곤란하다고 생각되어 온 후물 강판(thick steel plate) 또는 그의 용접부를 전파해 온 장대 취성 균열을 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하에 있어서, 강판에서 정지시킬 수 있는 것을 인식했다. 또한, 동적 FEM 해석의 결과, 탭판 선단 간 거리 및 하중 부하점 간 거리를 소정의 값으로 함으로써, 응력 반사가 없는 실선에 상당하는 장대 ESSO 시험의 평가 방법, 시험 장치에 대해서 인식했다. 또한, 두께 50mm 미만의 후강판은, 현행 강판(예를 들면 조선용 E급 강 등)으로 장대 취성 균열을 정지시킬 수 있기 때문에, 본 발명은 두께 50mm 이상의 후강판을 대상으로 했다.
- [0024] 본 발명은 상기 인식을 기초로 추가로 검토를 더하여 이루어진 것으로, 즉 본 발명은, (1) 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판으로서, 판 두께 방향 단면(斷面)에 있어서의 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상에 있어서, 판 두께 중앙부의 판 두께(t)의 20%의 폭의 영역에 있어서의 정지 균열 길이가, 강판 표면으로부터 판 두께(t)의 1/4~1/10 또는 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 최대 균열 길이에 대하여, 적어도 판 두께(t)의 길이만큼 상기 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여 짧고, 오목한 요함부(凹陷部;concave portion)를 형성하고 있는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.
- [0025] (2) 상기 판 두께 중앙부에서 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역에 있어서의 부위의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상, 상기 판 두께(t)의 1/4~1/10이 되는 영역 또는 상기 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상인 것을 특징으로 하는, (1)에 기재된 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.
- [0026] (3) 상기 판 두께 중앙부에서 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역에 있어서의 부위의 압연면에서의 (211)면 X선 강도비 $X_{(211)}$ 와 (100)면 X선 강도비 $X_{(100)}$ 및 동일 부위의 2mm V노치 샤르피 충격 시험에 의해 얻어지는 파면 전이 온도 $vTrs(^{\circ}C)$ 가 식: $vTrs - 12X_{(100)} - 22X_{(211)} \leq (T - 75)/0.64$ [T는 강판의 공용 온도($^{\circ}C$)]를 만족하고, 그리고 상기 판 두께(t)의 1/4~1/10이 되는 영역 또는 상기 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상인 것을 특징으로 하는, (1) 또는 (2)에 기재된 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.
- [0027] (4) 강 조성이, 질량%로, C: 0.15% 이하, Si: 0.60% 이하, Mn: 0.80~1.80%, S: 0.001~0.05%를 포함하고, Ti: 0.005~0.050% 또는 Nb: 0.001~0.1% 중에서 선택한 적어도 1종을 포함하고, 추가로, Cu: 2.0% 이하, V: 0.2% 이하, Ni: 2.0% 이하, Cr: 0.6% 이하, Mo: 0.6% 이하, W: 0.5% 이하, B: 0.0050% 이하, Zr: 0.5% 이하 중에서 선택한 적어도 1종을 함유하며, 잔부 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 것을 특징으로 하는 (1) 내지 (3) 중 어느 하나에 기재된 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판.
- [0028] (5) (4)에 기재된 성분 조성을 갖는 강 소재를, 900~1350 $^{\circ}C$ 의 온도로 가열하고, 이어서 강판 표면 온도 1000~850 $^{\circ}C$ 의 온도역에 있어서 누적 압하율 10%이상 압연한 후, 강판 표면 온도 900~600 $^{\circ}C$ 그리고 강판 내부 온도가 강판 표면 온도보다 50~150 $^{\circ}C$ 고온이 되는 상태로 하고, 그 후, 1페스 압하율 8% 이상, 누적 압하율 50% 이상으로, 압연 종료시의 강판 표면 온도 800~550 $^{\circ}C$ 에서 열간 압연하는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판의 제조 방법.

- [0029] (6) 추가로, 열간 압연을 종료한 후, 5℃/s 이상의 냉각 속도로 400℃까지 냉각하는 것을 특징으로 하는 (5)에 기재된 장대 취성 균열 전파 정지 특성이 우수한 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판의 제조 방법.
- [0030] (7) 시험편 폭 2m 이상의 대형 시험편을 이용하여, 균열 전파 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전파 정지 성능을 평가·확인하는 시험에 있어서, 시험편 길이 또는 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상인 것을 특징으로 하는, 강재 또는 구조물의 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가 방법.
- [0031] (8) (7)에 기재된 평가 방법에 있어서, 추가로, 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상인 것을 특징으로 하는 강재 또는 구조물의 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가 방법.
- [0032] (9) 시험편 폭 2m 이상의 대형 시험편을 이용하여, 균열 전파 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전파 정지 성능을 평가·확인하는 시험 장치에 있어서, 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상인 것을 특징으로 하는, 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 시험 장치.
- [0033] (10) (9)에 기재된 시험 장치에 있어서, 추가로, 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상인 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 시험 장치.

발명의 효과

- [0034] 본 발명에 의하면, 판 두께(t)가 50mm 이상의 후강판에 있어서 우수한 취성 균열 전파 정지 성능을 부여하는 것이 가능하여, 지금까지 곤란했던 판 두께 50mm 이상의 후물재(厚物材)에 있어서의 장대 취성 균열을 응력 반사(stress reflection)가 없는 실선 상당 조건하에 있어서 정지시킬 수 있어 산업상 매우 유용하다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1은 본 발명에 따른 판 두께(t)가 50mm 이상인 강판의 판 두께 방향 단면에 있어서의 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- 도 2는 장대 ESSO(large-scale duplex ESSO) 시험편의 치수 형상을 나타내는 도면이다.
- 도 3a는 장대 취성 균열 전파 정지 특성의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 파라메트릭 모델(parametric model)인 경우의 동적 FEM 해석 모델(dynamic finite element method analysis model)을 나타낸다.
- 도 3b는 장대 취성 균열 전파 정지 특성의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 하중 부하점 간 거리가 10m인 경우의 동적 FEM 해석 모델을 나타낸다.
- 도 3c는 장대 취성 균열 전파 정지 특성의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 하중 부하점 간 거리가 5m인 경우의 동적 FEM 해석 모델을 나타낸다.
- 도 4는 도 3의 동적 해석 모델에 의한 해석 결과로서, 동적 응력 확대 계수(dynamic stress intensity factor)에 미치는 시험 조건(시험편 단부(端部)로부터의 거리)의 영향을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0037] 본 발명에서는, 판 두께 방향 단면에 있어서의 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상을 규정한다. 이하에 본 발명의 한정 이유에 대해서 설명한다.
- [0038] 도 1에 본 발명에 따른 판 두께(t)가 50mm 이상인 강판(1)의 판 두께 방향 단면에 있어서의 장대 취성 균열(2)의 전파 정지부의 선단 형상(장대 취성 균열 정지 위치(3))을 개략적으로 나타낸다.
- [0039] 본 발명에서는, 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상을, 판 두께 중앙부의 판 두께(t)의 20%의 폭의 영역에 있어서의 장대 취성 균열 정지 위치와, 강판 표면으로부터 판 두께(t)의 1/4~1/10 및 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 폭 영역의 장대 취성 균열 정지 위치의 위치간 중, 가장 짧은 간격(이하, 깊이 a)이 적어도 판 두께(t)의 길이인 깊이 t만큼 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여 짧고, 오목한 대략 U자 형상의 요함부를 갖는 형상으로 한다.
- [0040] 강판 전체의 어레스트 성능을 향상시키기 위해 강판의 판 두께 방향 단면의 판 두께 중앙부에 있어서 판 두께

(t)의 적어도 20%의 폭의 영역, t_a (판 두께(t)의 1/2 위치를 포함한, 그 상하 10% 이상의 폭의 영역)의 어레스트 성능을 향상시킨다. 또한, 어레스트 성능을 향상시키는 영역, t_a 는, 압연 부하(rolling load)의 제약으로부터 50% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0041] 어레스트 성능을 향상시킨 판 두께 중앙 부근의 영역 폭, t_a 가 판 두께의 20% 미만이면, 판 두께(t)의 1/4~1/10부 근방(판 두께(t)의 1/4 위치와 1/10 위치를 포함하고, 1/4 위치와 1/10 위치의 사이의 영역) 및 판 두께(t)의 3/4~9/10부 근방(판 두께(t)의 3/4 위치와 9/10 위치를 포함하고, 3/4 위치와 9/10 위치의 사이의 영역)의 파괴 구동력이 충분히 떨어지지 않아, 판 두께(t)의 1/4~1/10부 근방 및 판 두께(t)의 3/4~9/10부 근방에 있어서, 균열이 정지하지 않고 전파되어 버리기 때문에, 적어도 20%로 한다.

[0042] 판 두께 방향 단면에 있어서 다른 영역보다 어레스트 성능이 우수한 영역은 장대 취성 균열의 정지 길이가 짧고 그 진행 방향에 대하여, 오목한 요함부를 형성하기 때문에, 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상을 판 두께 중앙부의 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역을 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여 오목한 대략 U자 형상의 요함부로 한다.

[0043] 또한, 대략 U자 형상의 요함부의 형상은, 판 두께(t)의 1/4~1/10 근방 및 판 두께(t)의 3/4~9/10 근방의 파괴 구동력의 저하에는, 판 두께 중앙부의 판 두께의 20%의 영역에 있어서의 취성 균열 정지 길이가, 판 두께(t)의 1/4~1/10 및 판 두께(t)의 3/4~9/10의 영역에 있어서의 취성 균열 정지 길이보다, 적어도 판 두께(t)의 길이만큼 짧아지는 것이 필요하기 때문에, 장대 취성 균열의 진행 방향에 대하여, 요함부의 깊이 a가 적어도 판 두께(t)의 길이와 동일한 오목한 형상으로 한다.

[0044] 깊이 a는 도 1 중의 판 두께(t)의 1/4~1/10 및 판 두께(t)의 3/4~9/10가 되는 영역에서의 장대 취성 균열 정지 위치(최대 균열 길이라고도 함)를 나타내는 판 두께 방향에 직각인 선과, 판 두께 중앙부에 있어서 판 두께의 20%의 영역폭을 나타내는 판 두께 방향에 평행한 선과 장대 취성 균열 전파 정지 위치와의 교점을 통과하는 판 두께 방향에 직각인 선과의 간격 중, 가장 짧은 간격의 길이로 규정한다.

[0045] 두께 50mm 이상의 후강판의 취성 파면(brittle failure surface)에서는 판 두께(t)의 1/4~1/10 또는 판 두께(t)의 3/4~9/10의 영역 내에 최장 균열 전파부(도 1의 A점 및 A'점 부근)가 관찰되기 때문에, 판 두께 중앙부 근방과 이들 영역과의 비교에 있어서 장대 취성 균열 전파 정지 위치가 판 두께 방향에 그리는 형상을 본 발명에서는 규정한다. 또한, 판 두께(t)의 1/2 위치에 대하여, 상하 대칭이 되는 강판 표면으로부터 판 두께 방향에 판 두께(t)의 1/4~1/10의 영역과 판 두께(t)의 3/4~9/10의 영역은 어레스트 성능, 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상이 개략 동일하다.

[0046] 전술한 장대 취성 균열 전파 정지부의 선단 형상은, 도 2에 나타내는 장대 ESSO 시험편(4)의 파면(failure surface)에서 확인할 수 있다. 장대 ESSO 시험편(4)은, 시험판(6)과 조주판(Crack-running plate)(5)은 CO₂ 용접부(8)에서 접합되고, 조주판(5)에는 CO₂ 용접부(8)와 직각 방향으로 일렉트로 가스 용접부(electrogas arc weld)(7)를 형성하여, 기계 노치(mechanical notch)(9)로부터 발생한 취성 균열(도시하지 않음)이 일렉트로 가스 용접부(7)를 따라 전파되어, 시험판(6)의 하중 부하 방향(loading direction)과 직각으로 시험판(6)으로 돌입한다. 하중 부하 방향은 도면 중 화살표 R.D.의 압연 방향(rolling direction)으로 한다. 본 발명에 있어서 장대 취성 균열 전파 정지 특성이란, 시험판(6)으로 돌입할 때까지의 취성 균열의 전파 거리(propagation length)가 긴 장대 ESSO 시험편(4)을 이용하여, 실제의 선박과 동일한 응력 반사의 영향이 없는 탭판 선단 간 거리나 하중 부하점 간 거리가 충분히 긴 시험기에 의해 평가되는 것을 가리킨다. 여기에서 말하는 응력 반사란, 취성 균열이 발생·전파됨으로써 발생하는 압축 응력파(compressive stress wave)의 시험기 탭판부(tab plate of testing machine) 등에서의 반사이다. 이 응력 반사가 발생하면, 압축의 응력파가 취성 균열 전파부로 되돌아오기 때문에, 취성 균열은 정지하기 쉬워진다. 실제의 선박 등의 구조물에 있어서는, 구조물의 크기가 취성 균열에 대하여 충분히 크기 때문에 응력 반사는 발생하지 않는다(혹은 하기 어렵다). 이 때문에, 장대 취성 균열의 전파 정지 특성은, 탭판 선단 간 거리나 하중 부하점 간 거리가 충분히 긴 시험기에 의해 평가할 필요가 있다.

[0047] 본 발명에 따른 강판은 이하에 서술하는 집합 조직을 구비하는 것이 바람직하다.

[0048] 판 두께 중앙부의 판 두께의 적어도 20%의 영역에 있어서의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상, 판 두께 1/4t~1/10t부 또는 판 두께 3/4t~9/10t부의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 이상.

- [0049] 판 두께 중앙 부근에 있어서의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상이 되면, 미세한 서브 크랙(subcrack)이 발생하고, 취성 균열 전파면(brittle crack propagating surface)의 요철이 커져, 균열 전파 저항(crack propagation resistance)이 증가하여, 취성 균열 전파 정지 인성이 크게 향상된다. X선 강도비가 1.5 미만에서는 이 효과는 인정받지 못한다. 이상으로부터, 판 두께 중앙부의 판 두께의 20% 이상의 영역에 있어서의 압연면에서의 (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비를 1.5 이상으로 한정했다.
- [0050] 한편, 판 두께 1/4t~1/10t부의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비가 1.3 미만이 되면, 판 두께 중앙부의 판 두께의 20% 이상의 영역에 있어서의 취성 균열 정지 길이가, 판 두께 1/4t~1/10t의 영역에 있어서의 취성 균열 정지 길이보다, 판 두께분 이상 짧아지지 않아, 판 두께 1/4t~1/10t부 근방(도 1의 A점 및 A'점 부근의 최장 균열 전파부)의 파괴 구동력의 저하가 일어나지 않게 된다. 따라서, 판 두께 1/4t~1/10t부의 압연면에서의 (110)면의 X선 강도비를 1.3 이상으로 한정했다. 상기 규정은 판 두께 3/4t~9/10t부도 동일하게 한다.
- [0051] 또한, 강판의 공용 온도(service temperature)에 있어서의 취성 균열 전파 정지 인성을 향상시키기 위해, 아래 식을 만족하는 것이 바람직하다:
- [0052]
$$vTrs - 12X_{(100)} - 22X_{(211)} \leq (T - 75)/0.64$$
- [0053] (단, 식에 있어서 $X_{(211)}$ 는 판 두께 중앙부에서 판 두께(t)의 적어도 20%의 영역에 있어서의 부위의 압연면에서의 (211)면 X선 강도비, $X_{(100)}$ 는 동일 부위의 (100)면 X선 강도비, $vTrs(^{\circ}C)$ 는 동일 부위의 2mm V노치 샤르피 충격 시험(Charpy impact test)에 의해 얻어지는 파면 전이 온도, T는 강판의 공용 온도($^{\circ}C$)를 나타냄).
- [0054] 본 파라미터 식은, 집합 조직에 있어서의 대상 부위의 취성 균열 전파 정지 인성을 공용 온도에서 확보하기 위해, 강판의 인성을 집합 조직에 따라서 $vTrs$ 로 규정하는 것으로, 공용 온도보다 당해 대상 부위의 샤르피 파면 전이 온도 $vTrs$ 를 저온으로 하기 위해, $vTrs$ 를, 위 식을 만족하도록 규정한다. 또한, 전술한 바와 같이 취성 균열 전파 정지 인성 향상을 위해서는, (211)면 또는 (100)면의 X선 강도비 1.5 이상을 필요로 하지만, 양자 중, (211)면 집합 조직이 취성 균열 전파 정지 인성 향상에 기여가 크기 때문에, 식에 있어서 $X_{(100)}$ 에 대하여 $X_{(211)}$ 의 계수를 크게 하고 있다.
- [0055] 전술한 특성을 갖는 강판의 바람직한 성분 조성과 제조 조건은 이하와 같다. 설명에 있어서 %는 질량%로 한다.
- [0056] [성분 조성]
- [0057] C: 0.15% 이하
- [0058] C는 강도를 확보하기 위해 필요하다. 강도 확보의 관점에서 바람직하게는 하한을 0.02%로 한다. 그러나, C량이, 0.15%를 초과하면 용접 열영향부(HAZ) 인성이 저하되기 때문에, 0.15% 이하로 한정했다. 또한, (211)면 및 (100)면의 집합 조직을 보다 한 층 발달시키기 위해 바람직한 범위는 0.03% 이하이다.
- [0059] Si: 0.60% 이하
- [0060] Si는 강도 상승에 유효한 원소이다. 그 효과를 얻으려면, 0.01% 이상 함유하는 것이 바람직하다. Si량이, 0.60%를 초과하면 용접 열영향부(HAZ) 인성을 현저하게 열화시키기 때문에, 0.60% 이하로 한정했다.
- [0061] Mn: 0.80~1.80%
- [0062] Mn은 고강도화에 유효한 원소로서, 강도 확보의 관점에서 하한을 0.80%로 했다. 그러나, Mn량이 1.80%를 초과하면, 모재 인성의 열화가 염려된다. 이 때문에, Mn은 0.80~1.80%의 범위로 했다. 또한, 바람직한 범위는 1.00~1.70%이다.
- [0063] S: 0.001~0.05% 이하
- [0064] 본 발명에 있어서는, 취성 균열 전연(前緣)(leading edge of brittle crack)에 크랙(강판 표면에 평행한 균열)을 발생시킬 필요가 있기 때문에, S의 0.001%이상의 함유가 필요하다. 그러나, S는 비금속 개재물을 형성하여 연성·인성을 열화시키기 때문에, 0.05% 이하로 제한했다.
- [0065] Ti: 0.005~0.050%, Nb: 0.001~0.1%의 1종 또는 2종
- [0066] Ti는, 탄화물(carbide)이나 질화물(nitride)의 석출물(precipitate)을 형성함으로써, 강판 제조시의 가열 단계

에서의 오스테나이트립(austenite grain)의 성장을 억제하여 세립화에 기여함과 함께, 용접 열영향부(welded heat-affected zone)(HAZ)의 결정립 조대화도 억제하여 HAZ 인성을 향상하는 효과가 있다. 이들의 효과를 얻으려면, 0.005% 이상의 함유가 필요하다. 한편, 과도한 함유는, 인성을 열화하기 때문에, 0.050%를 상한으로 한다.

- [0067] Nb는 석출 강화(precipitation strengthening) 및 인성의 향상에도 유효하다. 또한, 오스테나이트의 재결정(recrystallization)을 억제하여, 후술하는 압연 조건에 의한 효과를 촉진한다. 이들의 효과를 얻기 위해서는, 0.001% 이상의 첨가가 필요하지만, 0.1%를 초과하여 첨가하면, 퀴칭 조직(hardenend structure)이 침상화(針狀化)되어 인성이 열화하는 경향에 있기 때문에, 0.1%를 상한으로 한다.
- [0068] Cu: 2.0% 이하, V: 0.2% 이하, Ni: 2.0% 이하, Cr: 0.6% 이하, Mo: 0.6% 이하, W: 0.5% 이하, B: 0.0050% 이하, Zr: 0.5% 이하 중에서 선택한 적어도 1종
- [0069] Cu: 2.0% 이하
- [0070] Cu는, 주로 석출 강화를 위해 이용할 수 있다. 그 효과를 얻으려면, 0.05%이상 함유하는 것이 바람직하다. Cu량이, 2.0%를 초과하여 첨가하면, 석출 강화가 과다해져 인성이 열화하기 때문에, 2.0% 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0071] V: 0.2% 이하
- [0072] V는 고용 강화(solid solution strengthening)와 석출 강화를 이용할 수 있는 성분이다. 그 효과를 얻으려면, 0.001% 이상 함유하는 것이 바람직하다. V량이, 0.2%를 초과하여 함유하면, 모재 인성 및 용접성을 크게 손상시키기 때문에, 0.2% 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0073] Ni: 2.0% 이하
- [0074] Ni는, 강도 및 인성을 향상하고, 또한 Cu를 첨가한 경우에는 압연시의 Cu 균열을 방지하는 데에 유효하다. 그 효과를 얻으려면, 0.05% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 고가인데다, 과잉하게 첨가해도 그 효과가 포화하기 때문에, 2.0% 이하의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0075] Cr: 0.6% 이하
- [0076] Cr은, 강도를 상승시키는 효과를 갖는다. 그 효과를 얻으려면, 0.01% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 0.6%를 초과하여 함유하면 용접부 인성이 열화하기 때문에, Cr 함유량은 0.6% 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0077] Mo: 0.6% 이하
- [0078] Mo는, 상온 및 고온에서의 강도를 상승시키는 효과를 갖는다. 그 효과를 얻으려면, 0.01% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 0.6%를 초과하여 함유하면, 용접성이 열화하기 때문에, 함유량은 0.6% 이하의 범위로 하는 것이 바람직하다.
- [0079] W: 0.5% 이하
- [0080] W는, 고온 강도를 상승시키는 효과를 갖고 있다. 그 효과를 얻으려면, 0.05% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 0.5%를 초과하면 인성을 열화시킬 뿐만 아니라, 고가이기 때문에, 0.5% 이하의 범위에서 함유하는 것이 바람직하다.
- [0081] B: 0.0050% 이하
- [0082] B는 압연 중에 BN으로서 석출하여, 압연 후의 페라이트립을 미세하게 한다. 그 효과를 얻으려면, 0.0010% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 0.0050%를 초과하면 인성이 열화하기 때문에 0.0050% 이하로 한정했다.
- [0083] Zr: 0.5% 이하
- [0084] Zr은, 강도를 상승시키는 것 외에, 아연 도금재의 내도금 균열성을 향상시키는 원소이다. 그 효과를 얻으려면, 0.03% 이상 함유하는 것이 바람직하다. 그러나, 0.5%를 초과하여 함유하면 용접부 인성이 열화하기 때문에, Zr 함유량은 0.5%를 상한으로 하는 것이 바람직하다.
- [0085] 본 발명에 따른 강은 상기 성분 조성의 외에는 잔부 Fe 및 불가피적 불순물이다. 또한, 불가피적

불순물로서는, P: 0.035% 이하, Al: 0.08% 이하, N: 0.012% 이하, O: 0.05% 이하, Mg: 0.01% 이하, 등을 용인할 수 있다.

[0086] 제조 조건으로는, 가열 온도(heating temperature), 열간 압연 조건(hot rolling condition), 냉각 조건(cooling condition)을 규정하는 것이 바람직하다. 설명에 있어서 규정이 없는 경우, 온도, 냉각 속도는 판 두께 방향의 평균값으로 한다.

[0087] [가열 온도]

[0088] 강 소재는, 900~1350℃의 온도로 가열한다. 가열 온도를 900℃ 이상으로 하는 것은, 재료의 균질화와 후술하는 제어 압연을 행하기 위해 필요한 가열이고, 1350℃ 이하로 하는 것은, 과도하게 고온이 되면 표면 산화(surface oxidation)가 현저해짐과 함께, 결정립의 조대화를 피할 수 없게 되기 때문이다. 또한, 인성의 향상을 위해서는, 상한을 1150℃로 하는 것이 바람직하다.

[0089] [열간 압연 조건]

[0090] 강판 표면 온도 1000~850℃의 온도역에 있어서 누적 압하율(cumulative rolling reduction) 10% 이상 압연

[0091] 당해 온도역에서 압연함으로써, 오스테나이트립(austenite grain)이 부분적으로 재결정되기 때문에, 조직이 미세하고 그리고 균일해진다.

[0092] 또한, 1000℃를 초과하는 온도에서의 압연은, 오스테나이트립의 성장을 조장하기 때문에, 세립화를 위해서는 바람직하지 않다. 한편, 850℃ 미만에서는 완전하게 오스테나이트 미(未)재결정 범위에 들어가기 때문에, 결정립의 균일화를 위해서는 바람직하지 않다.

[0093] 강판 표면 온도 900~600℃에서 그리고 강판 내부 온도가 강판 표면 온도보다 50~150℃ 고온이 되는 상태로 한 후에, 1패스 압하율 8% 이상, 누적 압하율 50% 이상으로, 압연 종료시의 강판 표면 온도 850~550℃의 조건으로 열간 압연한다.

[0094] 강판 표면 온도 900~600℃이고 그리고 강판 내부 온도가 강판 표면 온도보다 50~150℃ 고온이 되는 상태로 함으로써, 표면 근방이 거의 2상역(duplex phase region)이고 그리고 강판 내부가 거의 오스테나이트 미재결정역(non-recrystallization region)이 된다.

[0095] 이 조건에서 1패스 압하율 8% 이상의 압연을 행하면, 상대적으로 강도가 낮아져 있는 강판 내부에 우선적으로 압연 변형(rolling strain)이 도입되고, 판 두께 중앙부의 적어도 판 두께의 20%의 영역에 집합 조직이 도입된다. 이 공정에 의해, 오스테나이트립에 집합 조직이 형성된다.

[0096] 즉, 취성 균열 선단에 있어서의 크랙 생성에 효과적인 변태 집합 조직(transformation texture)의 일종인 (211)면 집합 조직의 기초가 형성된다. 또한, 판 두께 중앙부의 적어도 판 두께의 20%의 영역에 집합 조직을 도입하기 위해, 보다 바람직하게는, 1패스 압하율 10% 이상으로 하는 것이 좋다.

[0097] 그 후, 강판 표면 온도 850~550℃까지 압연함으로써, 강판 내부가 2상역으로 압연되어 (100)면 집합 조직이 형성된다.

[0098] 상기 집합 조직의 집적도를 취성 균열 선단에 있어서의 크랙 생성에 효과적인 레벨(집적도 1.55 이상)로 하려면, 누적 압하율 50% 이상이 필요해진다.

[0099] [냉각 조건]

[0100] 열간 압연을 종료한 후, 5℃/s 이상의 냉각 속도로 400℃까지 냉각한다.

[0101] 400℃까지의 온도역을 5℃/s 이상의 냉각 속도로 냉각하면, (211)면이 우세한 집합 조직인 오스테나이트 집합 조직으로부터의 인수(inheritance)가 촉진되어, 취성 균열 전파 정지 인성이 향상된다.

[0102] 상기 조건으로 냉각하면, (211)면의 X선 면강도가 보다 강해지고, 서브 크랙의 발생이 보다 한 층 촉진되어, 균열이 정지하기 쉬워진다. 또한, 상기 냉각 방법에 있어서, 보다 바람직한 냉각 개시 온도(cooling start temperature)는 700℃ 이상이다.

[0103] 또한, 본 발명에 따른 후강판을, 강판 두께 50mm 미만으로 한 경우, 우수한 취성 균열 전파 특성을 갖는 것은 말할 필요도 없다.

[0104] [평가 방법, 시험 장치]

- [0105] 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하에서, 장대 취성 균열 전파 정지 특성을 평가하기 위해, 동적 FEM 해석에 의해 응력 반사의 영향을 평가하고, 시험기의 탭판 선단 간 거리, 하중 부하점 간 거리를 결정했다. 장대 ESSO 시험편 사이즈는 도 2에 나타낸 것으로 했다.
- [0106] 도 3a, 도 3b, 도 3c에 동적 FEM 해석 모델을, 도 4에 결과를 나타낸다. 도 3a는 응력 반사가 없는 조건을 확인하기 위한 파라메트릭 모델로서, 응력 반사에 영향을 주는 시험기 탭판(11)(두께 200mm) 간의 거리(도 3a의 2A)의 영향을 해석하기 위한 모델이다. 도 3b는 사용하는 시험기의 하중 부하점(10)의 거리를 10m로 설정한 경우의 모델, 도 3c는 사용하는 시험기의 하중 부하점(10)의 거리를 5m로 설정한 경우의 모델이다.
- [0107] 도 4에 FEM 해석 결과를 나타낸다. 도 4는 전파 중의 균열의 동적 응력 확대 계수(취성 균열 전파 중의 파괴 구동력) K_d 의 변화를 파괴 발생으로부터 시험편에 돌입할 때까지의 사이에서 구한 것이다. ×표로 나타낸 결과는, $2A=10000\text{mm}$ 의 경우로서, 취성 균열이 시험편 돌입까지 응력 반사가 일어나지 않는 실선 상당 조건에서의 결과이다. $2A=1800\sim 4300\text{mm}$ 의 조건에서는, 응력 반사가 발생하기 때문에, 시험편 돌입시의 동적 응력 확대 계수 K_d 가, 실선 상당 조건인 $2A=10000\text{mm}$ 의 경우에 비교하여, 낮아져 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은, $2A=1800\sim 4300\text{mm}$ 의 조건에서는, 실선 조건보다도 장대 취성 균열이 정지하기 쉬워지는 것을 의미한다. 한편, $2A=6800\text{mm}$ 의 조건에서는, 약간의 동적 응력 확대 계수 K_d 의 저하가 인정되기는 하지만, 실선 상당 조건과 그다지 다르지 않게 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0108] 따라서, $2A$ 를 6800mm 이상 확보하면, 실선 상당 조건의 평가가 가능하고, 예를 들면 도 3b에 나타내는 하중 부하점 간 거리 10m의 대형 인장 시험 지그 형상이면, 충분히 실선 상당 조건의 평가가 가능해진다. 도 4에는 사용하는 시험기의 하중 부하점 간 거리를 5m와 10m로 설정한 경우의 모델에 의해 얻어진 해석 결과를 나타내고 있지만, 도 3b에 나타내는 하중 부하점 간 거리 10m 모델의 대형 인장 시험 지그 형상으로 장대 ESSO 시험을 실시하면, 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하에서의 평가가 되는 것이 인정된다.
- [0109] 이상의 FEM 해석에 의해, 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하의 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가 방법은, 시험편 길이 또는 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상($\approx 6800\text{mm}/2400\text{mm}$), 또한 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상($\approx 10000\text{mm}/2400\text{mm}$)으로 했다.
- [0110] 마찬가지로, 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하의 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가할 수 있는 시험 장치로서, 시험편을 부착하는 시험 장치의 탭판 선단 간 거리가 시험편 폭의 2.8배 이상($\approx 6800\text{mm}/2400\text{mm}$), 또한 시험 장치의 하중 부하점 간 거리가 시험편 폭의 4.1배 이상($\approx 10000\text{mm}/2400\text{mm}$)으로 했다.
- [0111] [실시예]
- [0112] 표 1에 나타내는 여러 가지의 화학 조성으로 조정한 강 슬래브를 이용하여, 표 2에 나타내는 조건에 따라 후강판을 제조했다. 이렇게 하여 얻어진 각 후강판에 대해서, 판 두께(t)의 중앙부(고(高)어레스트 성능역)의 (211)면과 (100)면의 X선 강도비의 측정을 행함과 함께, 샤르피 파면 전이 온도(Ductile-brittle transition temperature of Charpy impact test) $vTrs$ 를 조사했다. 또한, 판 두께(t)의 1/8부(판 두께(t)의 1/4~1/10의 영역의 대표 부위)의 (110)면의 X선 강도비의 측정을 행했다.
- [0113] 다음으로, 장대 취성 균열 전파 정지 특성을 평가하기 위해, 상기의 후강판(판 두께(t)의 원래 두께인 채)을 이용하여, 도 2에 나타내는 치수 형상의 장대 ESSO 시험편을 제작하여, 시험에 제공했다. 시험은, 응력 $257\text{N}/\text{mm}^2$, 온도 -10°C 의 조건으로 실시했다. 여기에서, 응력 $257\text{N}/\text{mm}^2$ 는, 선체에 다용되고 있는 항복 강도(yield stress) $40\text{kgf}/\text{mm}^2$ 급 강판의 최대 허용 응력이며, 온도 -10°C 는 선박의 설계 온도이다. 장대 ESSO 시험은 도 3b에 나타내는 대형 인장 시험 지그에서, 탭판 선단 간 거리 6800mm, 하중 부하점 간 거리 10000mm의 하에서 행했다.
- [0114] 장대 ESSO 시험을 실시한 결과를, 표 3에 나타낸다. 본 발명예(No.2, 3, 6, 8, 9, 12, 14)에서는 취성 균열이 필릿(fillet) 용접부에서 정지되어 있고, 비교예(No.1, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 15, 16)에서는, 취성 균열이 정지하지 않았다.

표 1

No.	C	Si	Mn	Ti	Nb	S	Cu	V	Ni	Cr	Mo	W	B	Zr
1	0.02	0.27	1.54	0.014	0.043	0.002	0.44	-	0.30	0.55	-	-	0.0021	-
2	0.09	0.29	1.45	0.010	0.010	0.003	0.08	0.001	0.05	0.01	-	-	-	-
3	0.07	0.20	1.56	0.012	0.008	0.002	-	0.006	0.20	0.04	-	-	0.0013	-
4	0.05	0.30	1.50	0.011	0.010	0.003	0.27	-	0.22	-	-	-	-	-
5	0.09	0.30	1.45	0.011	0.011	0.001	0.07	0.001	0.06	0.01	0.01	0.2	-	-
6	0.07	0.30	1.55	0.010	0.005	0.003	-	0.005	0.19	0.05	-	-	0.0014	0.03
7	0.11	0.50	1.75	0.040	0.090	0.004	0.50	0.150	0.10	0.55	-	-	0.0065	-

(단위: %)

하선은 모든 불용 범위 외인 것을 나타낸다.

표 2

No.	강 No.	판 두께 (mm)	가열 온도 (°C)	1000~ 850°C의 누적 압하율 (%)	900~ 600°C의1 패스 압하율 (%)	900~ 600°C의 누적 압하율 (%)	ΔT^1 (°C)	압연 종료 온도 (°C)	압연 종료 속도 (s)	변각 종료 온도 (°C)	비고
1	1	50	1360	15	7	65	100	700	0.8	-	비교예
2	1	50	1150	15	8	65	80	700	0.8	-	본 발명에
3	1	50	1150	15	10	65	80	700	7	355	본 발명에
4	2	60	1120	50	6	30	70	660	0.7	-	비교예
5	2	60	1070	20	6	60	60	660	0.7	-	비교예
6	2	60	1070	20	10	60	60	660	6	382	본 발명에
7	3	65	1100	10	7	50	75	500	0.7	-	비교예
8	3	65	1100	10	8	50	75	650	5	357	본 발명에
9	4	80	1150	15	10	60	110	700	5	278	본 발명에
10	4	80	1150	15	5	60	110	700	0.5	-	비교예
11	5	55	1200	20	5	60	40	750	0.8	-	비교예
12	5	55	1200	20	8	60	70	650	7	362	본 발명에
13	6	50	1150	5	7	75	80	750	0.8	-	비교예
14	6	50	1150	15	8	65	80	750	7	388	본 발명에
15	7	70	1100	15	7	60	90	700	0.6	-	비교예
16	7	70	1100	15	8	60	90	700	6	550	비교예

하선은 본 발명 범위 외인 것을 나타낸다.

*1: ΔT =강판 내부 온도-강판 표면 온도

표 3

No.	강 No.	판 두께 (mm)	X선 강도비			VTrs ^{*6} (°C)	공통 온도 T ₀ (°C)	Y ²	Y ³	a ^{*7} (mm)	t _g /t ^{*4}	장대 ESSO 시험편 결과	비교
			X ₁₁₀ ^{*5}	X ₁₀₀ ^{*5}	X ₀₁₁ ^{*5}								
1	1	50	1.2	1.4	1.6	-40	-10	-92	>	-133	0.00	관통	비교예
2	1	50	1.4	1.7	2.3	-80	-10	-151	<	-133	0.22	정지	본 발명에
3	1	50	1.3	1.8	2.4	-85	-10	-159	<	-133	0.30	정지	본 발명에
4	2	60	0.9	1.1	1.1	-40	-10	-76	>	-133	0.00	관통	비교예
5	2	60	1.0	3.2	1.9	-65	-10	-144	<	-133	0.22	관통	비교예
6	2	60	1.3	3.3	2.5	-82	-10	-177	<	-133	0.31	정지	본 발명에
7	3	65	1.2	2.0	0.9	-70	-10	-113	>	-133	0.00	관통	비교예
8	3	65	1.4	2.6	1.9	-75	-10	-148	<	-133	0.25	정지	본 발명에
9	4	80	1.3	2.1	2.5	-65	-10	-145	<	-133	0.25	정지	본 발명에
10	4	80	0.8	2.1	1.4	-59	-10	-115	>	-133	0.10	관통	비교예
11	5	55	0.9	2.4	1.0	-44	-10	-95	>	-133	0.00	관통	비교예
12	5	55	1.4	2.5	2.2	-81	-10	-159	<	-133	0.25	정지	본 발명에
13	6	50	1.1	2.0	0.9	-40	-10	-83	>	-133	0.00	관통	비교예
14	6	50	1.4	2.0	2.3	-75	-10	-150	<	-133	0.22	정지	본 발명에
15	7	70	1.2	2.5	1.4	-61	-10	-122	>	-133	0.00	관통	비교예
16	7	70	1.1	2.6	1.5	-59	-10	-123	>	-133	0.00	관통	비교예

하선은 본 발명 범위 외인 것을 나타낸다. *2: $VTrs = 12X_{100} - 22X_{011}$ *3: $y = (T - 75)/0.64$

*4: 고에너지 X선 촬영 영역의 판 두께에서 $[t_g/(a \times \text{판 두께})]$ *5: 판 두께 1/8에 있어서의 값 $[1/4 \sim 1/10]$ 의 영역의 대표값

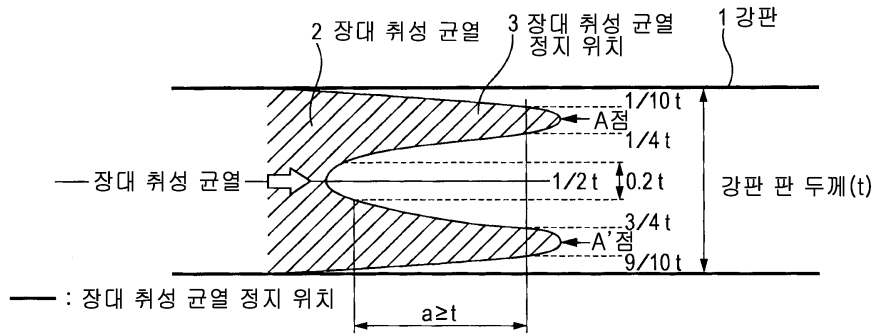
*6: 판 두께 중앙부의 값 *7: 판 두께 중앙부의 판 두께의 폭의 영역에 있어서의 장대 취성 균열 정지 위치와, 장편 표면으로부터 판 두께의 1/4~1/10 및 판 두께의 3/4~9/10에 되는 폭 영역의 장대 취성 균열 정지 위치의 위치간 중 가장 짧은 간격

부호의 설명

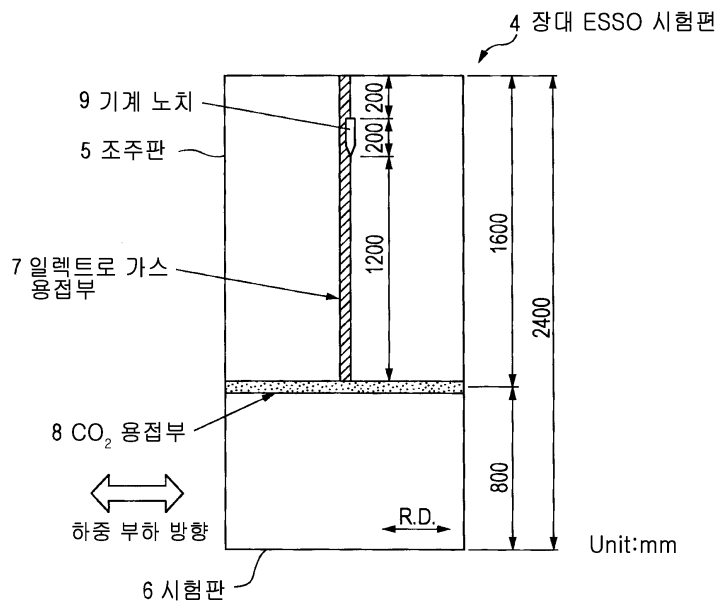
- 1 : 강판
- 2 : 장대 취성 균열
- 3 : 장대 취성 균열 정지 위치
- 4 : 장대 ESSO 시험편
- 5 : 조주판(crack-running plate)
- 6 : 시험판
- 7 : 일렉트로 가스 용접부
- 8 : CO₂ 용접부
- 9 : 기계 노치
- 10 : 하중 부하점
- 11 : 탭관

도면

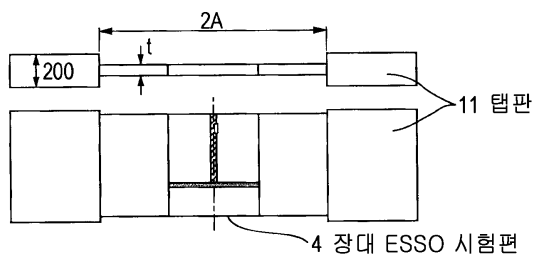
도면1



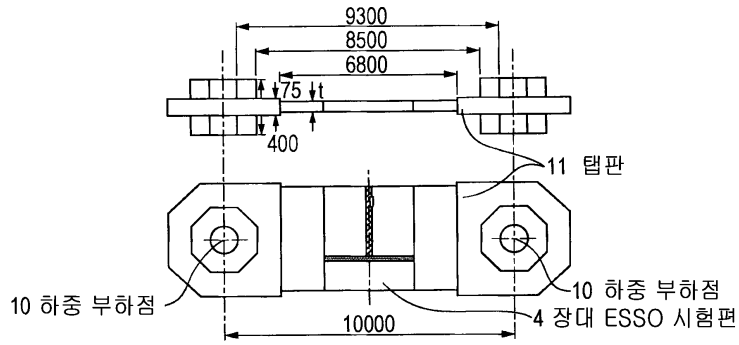
도면2



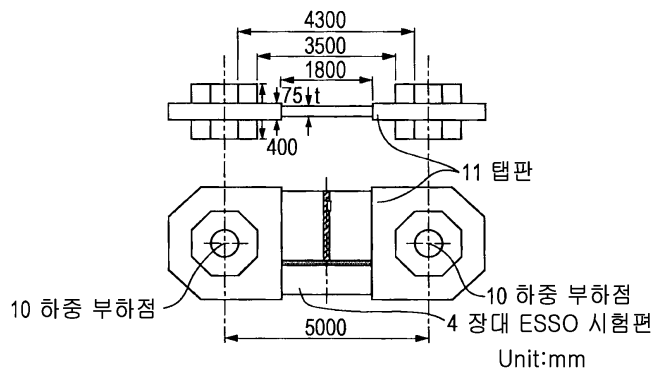
도면3a



도면3b



도면3c



도면4

