



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년04월19일
(11) 등록번호 10-1728362
(24) 등록일자 2017년04월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/00 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
G01N 3/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7026847
(22) 출원일자(국제) 2013년08월02일
심사청구일자 2014년09월25일
(85) 번역문제출일자 2014년09월25일
(65) 공개번호 10-2014-0127363
(43) 공개일자 2014년11월03일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/004682
(87) 국제공개번호 WO 2014/024445
국제공개일자 2014년02월13일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-173940 2012년08월06일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
Tadashi, Ultra high crack arresting steel
plate(HIAREST) with super refined grains in
surface layers, Nippon Steel Technical
Report, No. 78 (1997. 11.)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
제이에프이 스틸 가부시카이가이사
일본 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2방
3고
(72) 발명자
한다 츠네히사
일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2
방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자
이산부 나이
이기 사토시
일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2
방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자
이산부 나이
오이 켄지
일본국 도쿄도 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2
방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자
이산부 나이
(74) 대리인
이철

전체 청구항 수 : 총 3 항

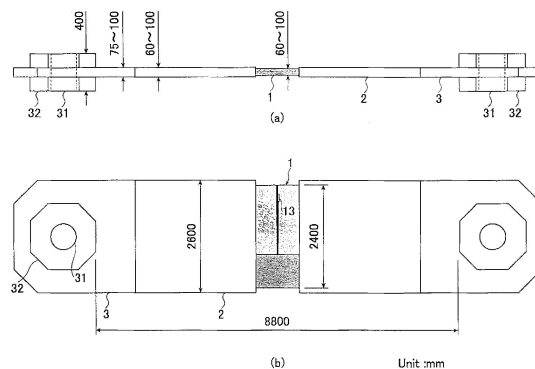
심사관 : 조현정

(54) 발명의 명칭 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법 및 후강판

(57) 요약

대형 컨테이너선이나 벌크 캐리어 등에 이용하기에 적합한 취성 균열 전파 전파 정지 성능이 우수한 후(厚)강판(주로 판두께 50mm 이상의 후강판)의 실선(實船) 상당의 장대(長大) 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법 그리고 시험 장치를 제공한다. 1.5m 이상의 폭을 갖는 대형 시험편의 폭 직각 방향으로 인장 시험기로 인장 하중을 부하하여, 균열 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가할 때, 대형 시험편에 인장 시험기로부터의 인장 하중을 전달하는 전달부가, 대형 시험편의 두께의 2.5배 이상이 되는 두께 증가부를 대형 시험편의 폭의 2.8배 이상, 보다 바람직하게는 4.1배 이상이 되는 간격으로, 대형 시험편의 폭 중심을 사이에 두고 가지며, 인장 시험기로부터의 인장 하중이, 두께 증가부에서 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 둔 위치에 부하된다. 전달부를 갖는 시험 장치.

대표도 - 도7



명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

강 조성이, 질량%로, C: 0.15% 이하, Si: 0.6% 이하, Mn: 0.8~2.4%, S: 0.001~0.05%를 포함하고, Ti: 0.005~0.050% 또는 Nb: 0.001~0.1% 중으로부터 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 중으로부터 선택한 적어도 1종을 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 강 소재를, 900~1350℃의 온도로 가열하고, 이어서 강판 표면 온도 1000~850℃의 온도영역에 있어서 누적 압하율 10% 이상 압연한 후, 강판 표면 온도 900~600℃의 온도영역에 있어서 누적 압하율 50% 이상이며, 압연 종료시의 강판 표면 온도 800~550℃에서 열간 압연하는 제조 방법으로서,

추가로, 1.5m 이상의 폭(W)을 갖는 대형 시험편의 폭 직각 방향으로 인장 하중을 부하하여, 상기 대형 시험편에 있어서의 균열 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전파 정지 성능을 평가하기 위해, 상기 대형 시험편에 인장 시험기로부터의 인장 하중을 전달하고, 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 두고 배치된, 전달부의 두께증가부간의 간격(Aeff), 상기 두께증가부의 두께, 및 상기 대형 시험편의 폭(W)과, 동적 응력 확대 계수와의 상관관계를 고려하므로써, 실선 상당 조건의 평가를 가능하게 하는 평가 공정을 포함하며,

상기 두께증가부는 상기 대형 시험편의 두께(t)의 2.5배 이상이 되는 두께를 가지며, 상기 두께증가부간의 간격(Aeff)은, 하중 저하가 발생하지 않는 시험 조건으로부터의 동적 응력 확대 계수의 허용가능한 감소율에 따라, 상기 대형 시험편의 폭(W)의 2.8배 이상의 범위로부터 조정하고,

상기 평가공정은, 균열 전파 속도가 500~800m/s의 범위에서 행해지며,

상기 인장 시험기로부터의 인장 하중이, 상기 두께 증가부에서 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 둔 위치에 부하되는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

추가로, 열간 압연을 종료한 후, 5℃/s 이상의 냉각 속도로 400℃까지 냉각하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 기재된 제조 방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능이

우수한 후강판.

청구항 9

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 대형 컨테이너선(Mega-container carrier)이나 벌크 캐리어(bulk carrier) 등의 제조에 바람직하게 사용되는 후(厚)강판(steel plate)(주로 판두께 50mm 이상의 후강판)에 대해서, 실선(實船) 상당의 장대(長大) 취성 균열의 균열 전파 정지 성능(long brittle crack arrestability)을 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, 이들 배에서는 특히 선체 외판(outer plate of vessel's body)을 후속화할 필요가 있다.

[0003] 최근, 컨테이너선이 대형화되어, 6,000~20,000TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)의 대형선에서는 선체 외판의 판두께가 50mm 이상이 된다. 판두께가 50mm 이상이 되면, 판두께 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 경향이 있다. 또한, TEU는, 길이 20피트의 컨테이너로 환산한 개수를 나타내고, 컨테이너선의 적재 능력의 지표로 나타내고 있다.

[0004] 선박(ships)이나 라인파이프(linepipe)에 사용되는 강판(주로 판두께가 50mm 미만인 비교적 얇은 강재)에 대해서는, TMCP(Thermo-Mechanical-Control-Process)법에 의해 세립화를 도모하고, 저온 인성(low-temperature toughness)을 향상시켜, 우수한 취성 균열 전파 정지 성능(brittle crack arrestability)을 부여할 수 있다.

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

[0006] 특허문헌 1에서는, 강판을 열간 압연 후, 제어 냉각(controlled cooling)에 의해 표층 부분을 Ar₃ 변태점 이하로 냉각하고, 그 후 제어 냉각을 정지하여 표층 부분을 변태점 이상으로 복열시키는 공정을 1회 이상 반복하여 행하고, 이 동안에 강재에 압하를 가한다. 특허문헌 1에서는, 이러한 방법을 채용함으로써, 반복 변태시키거나 또는 가공 재결정(recrystallization due to deformation)시켜, 표층 부분에 초미세한 페라이트 조직(ferrite structure) 또는 베이나이트 조직(bainite structure)을 생성시킨다.

[0007] 특허문헌 2에서는, 페라이트-펄라이트(pearlite)를 주체로 하는 마이크로 조직(microstructure)으로 하는 강재에 있어서, 양 표면부는, 원상당 평균 입경(average of equivalent circle diameter)이 5 μ m 이하, 애스펙트비(aspect ratio)가 2 이상인 페라이트립을 갖는 페라이트 조직을 50% 이상 함유하는 층으로 구성되어 있다. 또한, 특허문헌 2에는, 마무리 압연 중의 1패스당의 최대 압하율(maximum rolling reduction)을 12% 이하로 함으로써 국소적인 재결정 현상(recrystallization phenomenon)을 억제하고, 페라이트 입경의 불균일(variation)을 억제하면, 취성 균열 전파 정지 성능의 향상이라는 우수한 효과가 얻어지는 것이 개시되어 있다.

[0008] 특허문헌 3에는, 소성 변형(plastic deformation)을 받은 후의 내(耐)취성 균열 전파 성능이 우수한 강재로서, 이하의 (a)~(d)에 서술하는 조건을 채용함으로써 제조되는, 결정립 내에 서브그레인(sub-grain)을 형성시킨 미세 페라이트를 주조직으로 하는 강재가 개시되어 있다. 특허문헌 3에서는, 강판 표층의 냉각 및 복열 등의 복잡한 온도 제어(temperature control)를 필요로 하지 않고, 소성 변형을 받은 후의 취성 균열 전파 정지 성능을

향상시킨다.

- [0009] (a) 미세한 페라이트 결정립을 확보하는 압연 조건, (b) 표면으로부터의 깊이가 강재 판두께의 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) 형성된 미세한 페라이트 결정립과 미세한 서브그레인립의 조대화를 억제하는 냉각 조건.
- [0010] 또한, 특허문헌 1~3과 상이한 기술 사상(technological thought)으로서 특허문헌 4에는, 집합 조직(texture)을 발달시킴으로써, 강재의 파괴면 상에 세퍼레이션을 판두께 방향과 평행한 방향으로 발생시키고, 취성 균열 선단의 응력을 완화시킴으로써, 내취성 균열 전파 성능을 높이는 방법이 개시되어 있다. 그리고, 제어 압연에 의해 (110)면 X선 강도비(X-ray intensity ratio)를 2 이상으로 하고, 또한 원상당 지름(equivalent circle diameter) 20 μ m 이상의 조대립을 10% 이하로 하는 것이 특허문헌 4에 기재되어 있다.
- [0011] 특허문헌 5에는, 용접 구조용 강이 개시되어 있고, 이 용접 구조용 강을 이용하면, 용접 조인트부(welded joint)에 있어서의 취성 균열 전파 정지 성능을 높일 수 있다. 구체적으로, 특허문헌 5에는, 상기 용접 구조용 강으로서, 판두께 내부에 있어서의 압연면에서의 (100)면의 X선 강도비가 1.5 이상을 갖는 것을 특징으로 하는 강판이 개시되어 있다. 그리고, 이 강판이면, 집합 조직 발달에 의해, 응력 부하 방향(stress loading direction)으로 수직인 방향에 대하여, 균열 전파 방향(crack propagation direction)을 변화시켜, 취성 균열을 용접 조인트부로부터 모재측으로 유도하고, 조인트로서의 취성 균열 전파 정지 성능을 향상시키는 것이 특허문헌 5에 기재되어 있다.
- [0012] 또한, 특허문헌 6에는, 판두께 중앙부에 있어서의 압연면에서의 (211)면의 X선 강도비가 1.3 이상, 또한 판두께 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 개시되어 있다. 그리고, 이 강판이면, 집합 조직 발달에 의해, T조인트(T-joint) 등을 통하여 강판 표면으로부터 돌입하는 취성 균열 선단 근방에 크랙(crack)이 발생하고, 그 크랙이 균열 전파 저항으로서 작용하여, 판두께 방향으로 전파되는 취성 균열에 대한 취성 균열 전파 정지 성능이 향상되는 것이 특허문헌 6에 기재되어 있다.
- [0013] 한편, 선체 구조(hull structure)에 있어서는, 만일 용접부로부터 취성 파괴(brittle fracture)가 발생한 경우에도, 취성 균열의 전파를 정지시켜 선체 분리를 방지하는 것이 필요하다고 생각되고 있다. 판두께 50mm 미만의 조선용 강판 용접부의 취성 균열 전파 거동에 대해서는, 일본 조선 연구 협회(The Shipbuilding Research Association of Japan) 제147 위원회에 있어서, 실험적으로 검토가 이루어지고 있다.
- [0014] 제147 위원회에서는, 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 이탈하기 쉬운 것이 확인되었다. 또한, 제147 위원회에서는, 용접부를 따라 취성 균열이 전파된 예도 복수 확인되었다.
- [0015] 이는, 취성 파괴가 용접부를 따라 직진 전파될 가능성이 없다고는 단정할 수 없는 것을 시사하고 있다. 그러나, 제147 위원회에서 적용한 용접과 동등한 용접을 판두께 50mm 미만의 강판에 적용하여 건조(建造)된 선박이 아무런 문제없이 취항(actual service)하고 있다는 많은 실적이 있다. 이 많은 실적에 더하여, 인성이 양호한 강판 모재(조선 E급 강 등)는, 취성 균열을 정지하는 능력이 충분히 있다는 인식으로부터, 조선용 강재 용접부의 취성 균열 전파 정지 성능은 선급 규칙(Rules and Guidance for the survey and construction of steel ships) 등에는 요구되어 오지 않았다.
- [0016] 그러나, 최근의 6,000TEU를 초과하는 대형 컨테이너선에서는 강판의 판두께는 50mm를 초과한다. 판두께가 50mm를 초과하면, 판두께 효과에 의해 파괴 인성이 저하되는 것에 더하여, 용접 입열도 보다 커지기 때문에, 용접부의 파괴 인성이 한층 저하되는 경향이 있다.
- [0017] 최근, 이러한 후속 대입열 용접 조인트(large heat input welded joint of heavy gauge steel plate)에서는, 용접부로부터 발생한 취성 균열은, 모재측으로 이탈하지 않고 직진하여 장대화(long)하고, 골재(stiffeners)(혹은, 보강재라고도 함) 등의 강판 모재부에서도 정지하지 않는 것이 실험적으로 나타나 있다(비특허문헌 1). 이는, 50mm 이상의 판두께의 강판을 적용한 선체 구조의 안전 확보 면에서 큰 문제가 되고 있다.
- [0018] 이러한 선체의 안전성 확보를 평가하는 시험으로서, 장대 ESSO(large-scale duplex ESSO) 시험이 있다. 이 장대 ESSO 시험에는, 평가 방법의 상이나 시험 장치의 제약 등에 의해 시험 결과가 변화하여, 반드시 실선에 상당

하는 장대 취성 균열 전파 정지 성능이 평가되고 있지는 않다는 문제가 있다.

[0019] 상기 특허문헌 1~6에 기재된 기술에 의한 강판의 취성 균열 전파 정지 성능(취성 균열 전파 정지 인성)을 평가하는 시험법으로서는, 폭 500mm 정도의 시험편을 이용하는 이중 인장 시험 및 ESSO 시험 등의 시험법이 있고, 강판 성능을 올바르게 평가하기 위해 시험 방법의 상세가 정해져 있다(일본 용접 협회(The Japan Welding Engineering Society)의 강종 인정 시험 방법(steel grade qualified method), 일본 해사 협회(Nippon Kaiji Kyokai)의 취성 균열 어레스트 설계 지침(guidelines on brittle crack arrest design)의 Kca 시험 방법(Kca test method)).

[0020] 또한, 이들 강판을 실제로 구조물에 적용하는 경우에는, 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 성능을, 폭 1.5m 이상의 장대 ESSO 시험 등의 초대형 시험(very large test)에 의해 실증하는 것이 요구되는 경우가 있지만, 시험 방법에 대해서는, 상세하게는 정해져 있지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0021] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평4-141517호
(특허문헌 0002) 일본공개특허공보 2002-256375호
(특허문헌 0003) 일본공개특허공보 평11-256228호
(특허문헌 0004) 일본공개특허공보 평10-88280호
(특허문헌 0005) 일본공개특허공보 평6-207241호
(특허문헌 0006) 일본공개특허공보 2008-214652호

비특허문헌

- [0022] (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), P70.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0023] 상기 특허문헌 1~6에 기재된 기술에는, 실선 상당의 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법이나 시험 장치에 대해서는 기재가 없다. 따라서, 특허문헌 1~6에 기재된 기술을 이용하여, 실선 상당의 안전성 평가라는 과제를 해결할 수 없다. 또한, 전술한 특허문헌 1~6에 기재된 강판은, 장대화한 취성 균열 전파 정지 성능에 관한 것은 아니다. 따라서, 특허문헌 1~6에 기재된 기술을 이용해도, 비특허문헌 1에서 분명한 과제를 해결할 수 없다.

- [0024] 그래서, 본 발명은, 실선 상당의 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하는 방법, 시험 장치 및 후강판의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0025] 본 발명자들은, 인장 시험기(tensile testing machine)의 전달부(transfer part)(시험기의 탭판(tab plate) 및 시험기의 핀척(pin-chuck)으로 구성됨)에 있어서의 두께 증가부(more thicker part)의 두께와 그 간격을 변화시킨 동적 FEM 해석(dynamic finite element method analysis)에 의해, 실선 상당(full-scale)의 장대 취성 균열 전파 성능을 모의할 수 있는 장대 ESSO 시험의 평가 방법, 시험 장치에 대해서 검토했다. 그 결과, 두께 증가부의 두께와 그 간격을 소정의 값으로 함으로써, 응력 반사(응력파의 반사)가 없는 실선에 상당하는 상황이 재현 가능한 것을 인식했다.

- [0026] 본 발명에서, 장대 취성 균열은, 인접하는 다른 강판으로부터 돌입하는 길이 1m 이상의 취성 균열로 한다.
- [0027] 또한, 얻어진 장대 ESSO 시험의 평가 방법, 시험 장치를 이용하여, 화학 조성 및 압연 조건을 변화시킨 대부분의 강판에 대해서 제조 조건과 장대 취성 균열의 취성 균열 전과 정지 성능(어레스트 성능(arrestability)이라고 하는 경우가 있음)의 관계를 조사하여, 인식을 얻었다.
- [0028] 본 발명은 상기 인식을 기초로 더욱 검토를 더하여 이루어진 것으로, 즉 본 발명은, 이하와 같다.
- [0029] (1) 1.5m 이상의 폭을 갖는 대형 시험편의 폭 직각 방향으로 인장 시험기로 인장 하중을 부하하여, 상기 대형 시험편에 있어서의 균열 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전과 정지 성능을 구하는 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능의 평가 방법으로서, 상기 대형 시험편에 인장 시험기로부터의 인장 하중을 전달하는 전달 부가, 상기 대형 시험편의 두께의 2.5배 이상이 되는 두께 증가부를, 상기 대형 시험편의 폭의 2.8배 이상이 되는 간격으로, 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 두고 가지며, 상기 인장 시험기로부터의 인장 하중이, 상기 두께 증가부에서 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 둔 위치에 부하 되는 것을 특징으로 하는 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능의 평가 방법.
- [0030] (2) 상기 두께 증가부를 상기 대형 시험편의 폭의 4.1배 이상이 되는 간격으로 갖는 것을 특징으로 하는 (1)에 기재된 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능의 평가 방법.
- [0031] (3) 1.5m 이상의 폭을 갖는 대형 시험편의 폭 직각 방향으로 인장 하중을 부하하여, 상기 대형 시험편에 있어서의 균열 길이 1m 이상의 장대 취성 균열에 대한 전과 정지 성능을 구하는 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가하는 장치로서, 상기 대형 시험편에 인장 하중을 전달하는 전달부가, 상기 대형 시험편의 두께의 2.5배 이상이 되는 두께 증가부를, 상기 대형 시험편의 폭의 2.8배 이상이 되는 간격으로, 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 두고 가지며, 상기 인장 하중을, 상기 두께 증가부에서 상기 대형 시험편의 폭 직각 방향의 중심을 사이에 둔 위치에 부하하여, 하중 용량(load capacity)이 50MN(mega newton) 이상인 것을 특징으로 하는 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가하는 장치.
- [0032] (4) 상기 두께 증가부를 상기 대형 시험편의 폭의 4.1배 이상이 되는 간격으로 갖는 것을 특징으로 하는 (3)에 기재된 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가하는 장치.
- [0033] (5) (3) 또는 (4)에 기재된 장치에 있어서, 상기 하중 용량이 80MN 이상인 것을 특징으로 하는 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가하는 장치.
- [0034] (6) (3)~(5) 중 어느 하나에 기재된 장치를 이용하여, 후강판의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가하는 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전과 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법.
- [0035] (7) (6)에 기재된 후강판의 제조 방법에 있어서, 강 조성이, 질량%로, C: 0.15% 이하, Si: 0.6% 이하, Mn: 0.8~2.4%, S: 0.001~0.05%를 포함하고, Ti: 0.005~0.05% 또는 Nb: 0.001~0.1% 중으로부터 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 중으로부터 선택한 적어도 1종을 함유하고, 잔부 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 강 소재를, 900~1350℃의 온도로 가열하고, 이어서 강판 표면 온도 1000~850℃의 온도영역에 있어서 누적 압하율(cumulative rolling reduction) 10% 이상 압연한 후, 강판 표면 온도 900~600℃의 온도영역에 있어서 누적 압하율 50% 이상이며, 압연 종료시의 강판 표면 온도 800~550℃에서 열간 압연하여 제조하는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전과 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법.
- [0036] (8) 추가로, 열간 압연을 종료한 후, 5℃/s 이상의 냉각 속도(cooling rate)로 400℃까지 냉각하는 (7)에 기재된 장대 취성 균열 전과 정지 성능이 우수한 후강판의 제조 방법.
- [0037] (9) (6)~(8) 중 어느 하나에 기재된 제조 방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 장대 취성 균열 전과 정지 성능이 우수한 후강판.

발명의 효과

- [0038] 본 발명에 의하면, 지금까지 정확한 평가가 곤란했던 장대 취성 균열 정지 성능의 평가가, 응력 반사(reflection of stress wave)가 없는 실선 상당 조건하에 있어서 실시 가능해진다. 또한, 지금까지 곤란했던, 주로 판두께(t)가 50mm 이상인 후강판에 있어서 우수한 취성 균열 전과 정지 성능을 부여하는 것이 가능하고, 장대 취성 균열을 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하에 있어서 정지시킬 수 있어, 산업상 매우 유용하다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1은 시험편 폭 2400mm의 장대 ESSO 시험편의 치수 형상을 나타내는 도면이다.
- 도 2는 시험편 폭 1500mm의 장대 ESSO 시험편의 치수 형상을 나타내는 도면이다.
- 도 3은 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 동적 FEM 해석 모델 (모델 1)을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 동적 FEM 해석 모델 (모델 2)을 나타내는 도면이다.
- 도 5는 장대 취성 균열 전파 정지 성능의 평가에 미치는 응력 반사의 영향을 조사하기 위한 동적 FEM 해석 모델 (모델 3)을 나타내는 도면이다.
- 도 6은 도 3~5의 동적 해석 모델에 의한 해석 결과로서, 장대 취성 균열의 시험편 돌입시의(도 3~5의 Point C 의) 동적 응력 확대 계수에 미치는 시험 조건(두께 증가부의 두께와 그 간격)의 영향을 나타내는 도면이다. 여기에서, K_d 는 장대 취성 균열이 시험편에 돌입할 때의 동적 응력 확대 계수(dynamic stress intensity factor)(도 3~5의 Point C에 있어서의 동적 응력 확대 계수), $K_{d_{A_{eff}/W=8.3}}$ 은 $A_{eff}/W=8.3$ 의 조건(A_{eff} 가 시험편 폭 W 의 8.3배의 경우)에 있어서, 장대 취성 균열이 시험편에 돌입할 때의 동적 응력 확대 계수이다. $A_{eff}/W=8.3$ 의 조건은, 장대 취성 균열이 시험편에 돌입할 때까지 하중의 저하(핀(pin)의 반력(reaction force)의 저하)가 발생하지 않는 조건(즉, 장대 취성 균열이 시험편에 돌입할 때까지, 균열 발생(crack initiation) 및 개구(crack opening)에 의한 제하 응력 탄성파(unloading stress elastic wave)가 핀공 위치에 도달하지 않는 조건)이다.
- 도 7은 장대 ESSO 시험의 실시에 적용한 시험편, 시험기의 탭판, 시험기의 핀척의 형상을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] (발명을 실시하기 위한 형태)
- [0041] 본 발명은, 응력 반사가 없는 실선 상당 조건하에서, 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가하기 위한 것이다. 본 발명은, 장대 ESSO 시험편(대형 시험편이라고도 함)에 인장 시험기로부터의 인장 하중을 전달하는 전달부에, 대형 시험편의 판두께 t 의 2.5배 이상이 되는 두께 증가부를, 대형 시험편의 폭 W 의 2.8배 이상이 되는 간격으로, 대형 시험편의 폭 중심을 사이에 두고, 형성하는 것을 특징으로 한다. 또한, 대형 시험편이란, 일본 해사 협회 「취성 균열 어레스트 설계 지침」 부속서 B(2009)에 기재된 대형 시험편을 가리킨다.
- [0042] 이하, 본 발명을 도 1~7을 이용하여 설명한다. 도 6을 제외한 이들 도면은 대형 인장 시험 지그(jig)를 나타낸다. 도 6을 제외한 이들 도면에 있어서, 1은 장대 ESSO 시험편, 11은 장대 ESSO 시험편(1)의 시험편, 12는 장대 ESSO 시험편(1)의 조주판(crack-running plate), 13은 기계 가공 노치(machined notch), 14는 일렉트로가스 아크 용접부(welded part of electrogas arc welding), 15는 CO_2 아크 용접부(welded part of CO_2 arc welding), 2는 시험기의 탭판, 3은 시험기의 핀척, 31은 시험기의 핀공, 32는 너트 형상부(핀공 주위를 보강하는 두께 증가부), W 는 장대 ESSO 시험편의 폭을 가리킨다. 본 발명은 1.5m 이상의 폭 W 를 갖는 대형 시험편을 대상으로 한다. 또한, 통상, 대형 시험편의 폭 W 는 3m 이하이다.
- [0043] 우선, 동적 FEM 해석에 의해 응력 반사의 영향을 평가하고, 응력 반사의 영향을 무시할 수 있는 시험 조건을 구했다.
- [0044] 도 1, 2에서, 해석에 이용한 장대 ESSO 시험편(1)의 형상과 각 부의 치수를 나타낸다. 도 1에 나타낸 장대 ESSO 시험편(1)은, 시험편(11)과 조주판(12)이, 시험편(11)의 압연 방향(rolling direction)(R.D.)에 따라 CO_2 아크 용접된 용접부(15)(이하, CO_2 아크 용접부(15)라고 함)로 접합되어 있다.
- [0045] 취성 균열을 발생시키기 위해, 조주판(12)의 일렉트로가스 아크 용접부(14)의 용접부 도중의 본드부(bond)를 따라 기계 가공 노치(13)가 가공되어 있다. 도 2에 나타내는 장대 ESSO 시험편(1)에서는 조주판(12)의 일렉트로가스 아크 용접부(14)의 단부의 본드부에 기계 가공 노치(13)가 가공되어 있지만, 그 외에는 도 1과 동일하게 구성되어 있다.

- [0046] 도 3~5에 동적 FEM 해석 모델을 나타낸다. 도 3, 5는 도 1의 장대 ESSO 시험편을 이용한 해석 모델(analysis model), 도 4는 도 2의 장대 ESSO 시험편을 이용한 해석 모델로 했다. 도시한 동적 FEM 해석 모델은, 응력 반사가 없는 조건을 확인하기 위한 파라메트릭 모델(parametrical model)로, 전달부의 형상과 치수의 영향을 해석하기 위한 모델이다.
- [0047] 전달부는, 인장 시험기로부터의 인장 하중을 대형 시험편(1)에 전달하는 부분이다. 구체적으로는, 전달부란, 대형 시험편(1)으로 인장 하중이 부하되는 단부에, 대형 시험편(1)의 폭 직각 방향의 중심(기계 가공 노치(13)의 노치 선단부의 위치)에 대하여 좌우 대칭으로, 시험기의 탭판(2)과 시험기의 핀척(3)으로 구성된 부분을 가리킨다. 전달부에 있어서 시험편 판두께 t 방향의 두께가 시험편 두께 t (판두께)의 2.5배 이상이 되어 있는 부분을 두께 증가부로 한다. 또한, 폭방향이란, 시험편을 판두께 방향으로부터 보았을 때에, 압연 방향(R.D.)에 대하여 수직인 방향이고, 폭 직각 방향이란, 압연 방향(R.D.)이다.
- [0048] 전달부의 두께 증가부는, 도 3의 해석 모델의 경우, 시험편 두께 t (판두께)의 3배가 되는 시험기의 핀척(3)이고, 도 4의 해석 모델의 경우, 시험편 두께 t (판두께)의 2.5배 이상이 되는 시험기의 탭판(2)과 시험기의 핀척(3)이고, 도 5의 해석 모델의 경우, 시험기의 핀척(3)의 너트 형상부(핀공 주위를 보장하는 두께 증가부)(32)이다. 또한, 두께 증가부의 두께의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 통상, 두께 증가부의 두께는, 시험편 두께 t (판두께)의 20배 이하이다.
- [0049] 인장 시험기(도시하지 않음)로부터의 인장 하중은, 두께 증가부의 핀공(31)에 장입되는 인장 시험기의 핀(도시하지 않음)에 의해, 대형 시험편(1)의 폭 직각 방향으로 좌우 대칭으로 부하된다.
- [0050] 본 발명에서 두께 증가부의 간격(A_{eff} 라고 하는 경우가 있음)은, 두께 증가부의 간격 중, 최단이 되는 간격이다. 두께 증가부의 간격은, 도 3의 해석 모델의 경우, 좌우의 시험편 두께 t (판두께)의 3배가 되는 시험기의 핀척(3) 간의 간격(도면 중 A_{eff})이고, 도 4의 해석 모델의 경우, 좌우의, 시험편 두께 t (판두께)의 2.5배가 되는 시험기의 탭판(2) 간의 간격(도면 중 A_{eff})이고, 도 5의 해석 모델의 경우, 좌우의 시험기의 핀척(3)의 너트 형상부(32)에서의 대향하는 면의 간격(도면 중 A_{eff})이다.
- [0051] 도 6에서, 해석 결과로서, 장대 균열의 시험편(11)으로의 돌입시(도 3~5의 Point C)의 동적 응력 확대 계수에 미치는 시험 조건(두께 증가부의 두께와 그 간격(A_{eff}))의 영향을 나타낸다.
- [0052] 도 6에 나타내는 바와 같이, A_{eff} 가 짧아지면, 동적 응력 확대 계수는 시험기의 핀공(31) 주위의 두께 증가부의 형상(시험기의 탭판(2), 시험기의 핀척(3), 또는 너트 형상부(32)의 형상)에 관계없이 저해된다. 그리고, A_{eff} 가 시험편 폭 W 의 2.8배보다 짧아지면(A_{eff}/W 가 2.8 미만이면) 저하가 보다 한층 현저해진다.
- [0053] 도 6에 나타내는 바와 같이, 균열 전파 속도(crack propagation speed)가 500~800m/s의 범위(용접부를 직진 전파하는 일반적인 균열 속도)에서는, A_{eff} 가 시험편 폭 W 의 2.8배 이상이면, 하중 저하가 발생하지 않는 $A_{eff}/W=8.3$ 의 시험 조건과 거의 동등한(하중 저하가 발생하지 않는 시험 조건의 95% 이상의) 동적 응력 확대 계수가 얻어지고 있다. 즉, 장대 ESSO 시험에 있어서, 전달부에 있어서의 두께 증가부의 간격 A_{eff} 를, 시험편 폭 W 의 2.8 이상으로 하면, 제하 응력파(wave of unloading characteristics)의 반사의 영향이 작은 실선 상당의 시험 조건이 실현 가능하다.
- [0054] 또한, A_{eff}/W 를 4.1배 이상으로 하면 하중 저하가 발생하지 않는 시험 조건의 97% 이상이 되고, 보다 이상적인 시험(more perfect test)이 가능해진다. A_{eff}/W 를 6배 이상으로 하면 하중 저하가 발생하지 않는 시험 조건과 완전하게 동(同)조건이 되어, 보다 이상적인 시험이 가능해진다.
- [0055] 이상으로부터, A_{eff} 를 시험편 폭 W 의 2.8배 이상으로 하면, 실선 상당 조건의 평가가 가능하다. 예를 들면 도 7에 나타내는, 두께 증가부인 너트 형상부(screw nut like part)(32)(대형 시험편(1)의 판두께 60~100mm에 대하여, 두께가 400mm) 간의 간격(A_{eff})이 8800mm인 전달부를 이용하여, 장대 취성 균열 전파 정지 성능을 평가한 경우, 충분히 실선 상당 조건의 평가가 가능해진다.
- [0056] 이상의 FEM 해석에 의해, 하중을 부하/전달하는 두께 증가부(시험기의 탭판 또는 시험기의 핀척 등)의 간격 A_{eff} 를 시험편 폭의 2.8배 이상, 보다 바람직하게는, 4.1배 이상으로 했다. 또한 보다 이상적으로는 6배 이상으로

하는 것이 좋다.

- [0057] 상기 조건으로 시험편 폭 1.5m 이상의 시험편을 이용하여, 선박의 최대 허용 응력(maximum allowable stress)의 레벨(242~300N/mm² 정도)로, 시험편 파단시에 시험기에 과도한 부하를 주는 일 없이, 장대 취성 균열 정지 성능을 평가하려면, 시험기의 하중 용량을 50MN 이상으로 하는 것이 필요하다.
- [0058] 따라서, 응력 반사가 없는, 실선 상당 조건하의 장대 취성 균열 전과 정지 성능을 평가할 수 있는 시험 장치는, 하중을 부하/전달하는 두께 증가부(시험기의 탭판 혹은 시험기의 핀척 등)의 두께가 시험편 두께에 대하여 2.5배 이상, 또한 시험편 양단에 위치하는 당해 두께 증가부의 간격(최단 거리(shortest distance))가 시험편 폭의 2.8배 이상이고, 하중 용량이 50MN 이상인 장치이다.
- [0059] 일본 해사 협회의 취성 균열 어레스트의 설계 지침(Guidelines on Brittle Crack Arrest Design) 등에 기재된 시험편 폭 2m 이상에서의 평가를 행하는 경우, 시험기의 하중 용량을 80MN 이상으로 하는 것이 필요해진다. 이 때문에, 보다 바람직하게는 하중 용량이 80MN 이상인 시험 장치이다. 하중 용량의 상한값은 특별히 한정되지 않지만, 통상, 시험 장치의 하중 용량은 100MN 이하이다.
- [0060] 진술한 실선 상당 조건의 장대 취성 균열 전과 정지 성능의 평가 방법에 의해, 강판 및 그 용접부에 있어서 취성 파괴가 발생한 경우라도, 대규모 파괴(havoc)에 이르기 전에 장대화한 취성 균열을 정지시키는 것이 가능한, 주로 50mm 이상의 판두께의 후강판을 골라낼 수 있다. 이 후강판의 바람직한 성분 조성, 바람직한 제조 조건은 이하와 같다. 또한, 설명에 있어서 %는 질량%로 한다. 참고로, 두께 50mm 미만의 후강판은, 현행 강판(예를 들면 조선용 E급 강(E class shipbuilding steel) 등)으로 장대 취성 균열을 정지시킬 수 있다.
- [0061] [성분 조성]
- [0062] C: 0.15% 이하
- [0063] C는 강도를 확보하기 위해 필요하다. 강도 확보의 관점에서 C량의 하한을 0.02%로 하는 것이 바람직하다. 그러나, C량이, 0.15%를 초과하면 용접 열영향부(welded heat-affected zone)(HAZ) 인성이 저하되기 때문에, C량의 상한을 0.15% 이하로 한정했다. 또한, (211)면 및 (100)면의 집합 조직을 보다 한층 발달시키기 위해, C량은 0.03% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0064] Si: 0.6% 이하
- [0065] Si는 강도 상승에 유효한 원소이다. 그 효과를 얻으려면, Si의 함유량을 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Si량이, 0.6%를 초과하면 용접 열영향부(HAZ) 인성을 현저하게 열화시킨다. 이 때문에, Si량은 0.6% 이하로 한정했다.
- [0066] Mn: 0.8~2.4%
- [0067] Mn은 고강도화에 유효한 원소이다. 강도 확보의 관점에서 Mn량은 0.8% 이상으로 했다. 그러나, Mn량이 2.4%를 초과하면, 모재 인성(toughness of base material)의 열화가 우려된다. 따라서, Mn량은 0.8~2.4%의 범위로 했다. 또한, Mn량의 바람직한 범위는 1.0~1.7%이다.
- [0068] S: 0.001~0.05% 이하
- [0069] 취성 균열 전 테두리에 크랙(강판 표면에 평행한 균열)을 발생시킬 필요가 있기 때문에, S량은 0.001% 이상으로 한다. 그러나, S는 비금속 개재물(non-metal inclusion)을 형성하여 연성(ductility) 및 인성을 열화시킨다. 이 때문에 S량은 0.05% 이하로 했다.
- [0070] Ti: 0.005~0.050%, Nb: 0.001~0.1%의 1종 또는 2종
- [0071] Ti는, 탄화물(carbide)이나 질화물(nitride)의 석출물(precipitate)을 형성함으로써, 강판 제조시의 가열 단계에서의 오스테나이트립(austenite grain)의 성장을 억제하여 세립화에 기여함과 함께, 용접 열영향부(HAZ)의 결정립 조대화도 억제하여 HAZ 인성을 향상하는 효과가 있다. 이들 효과를 얻으려면, Ti량은 0.005% 이상으로 한다. 한편, Ti량이 지나치게 많으면, 인성이 열화한다. 이 때문에, Ti량은 0.050% 이하로 한다.
- [0072] Nb는 석출 강화(precipitation strengthening) 및 인성의 향상에도 유효하다. 또한, Nb는 오스테나이트의 재결정(recrystallization)을 억제하여, 후술하는 압연 조건에 의한 효과를 촉진한다. 이들 효과를 얻기 위해서는, Nb량은 0.001% 이상으로 한다. Nb량이 0.1%를 초과하면, 퀴칭 조직(hardened microstructure)이 침형상화(needle-like)하여 인성이 열화하는 경향이 있다. 이 때문에, Nb량은 0.1% 이하로 한다.

- [0073] 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 중으로부터 선택한 적어도 1종
- [0074] Cu: 2.0% 이하
- [0075] Cu는, 주로 석출 강화를 위해 이용할 수 있다. 그 효과를 얻으려면, Cu량은 0.05% 이상으로 하는 것이 바람직하다. Cu량이 2.0%를 초과하면, 석출 강화가 과다가 되어 인성이 열화한다. 이 때문에, Cu량은 2.0%로 하는 것이 바람직하다.
- [0076] V: 0.2% 이하
- [0077] V는 고용 강화(solute strengthening)와 석출 강화를 이용할 수 있는 성분이다. 그 효과를 얻으려면, V량은 0.001% 이상으로 하는 것이 바람직하다. V량이 0.2%를 초과하면, 모재의 인성 및 용접성(weldability)을 크게 손상시킨다. 이 때문에, V량은 0.2% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0078] Ni: 2.0% 이하
- [0079] Ni는, 강도 및 인성을 향상시킨다. 또한, Ni는, Cu를 첨가한 경우에 있어서, 압연시의 Cu 균열을 방지하는 데에 유효하다. 그 효과를 얻으려면, Ni량은 0.05% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, Ni는 고가인데다가, Ni를 과잉하게 첨가해도 그 효과가 포화한다. 이 때문에, Ni량은 2.0% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0080] Cr: 0.6% 이하
- [0081] Cr은, 강도를 상승시키는 효과를 갖는다. 그 효과를 얻으려면, Cr량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, Cr량이 0.6%를 초과하면, 용접부의 인성이 열화한다. 이 때문에, Cr량은 0.6% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0082] Mo: 0.6% 이하
- [0083] Mo는, 상온 및 고온에서의 강도를 상승시키는 효과를 갖는다. 그 효과를 얻으려면, Mo량은 0.01% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, Mo량이 0.6%를 초과하면, 용접성이 열화하기 때문에, Mo량은 0.6% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0084] W: 0.5% 이하
- [0085] W는, 고온 강도를 상승시키는 효과를 갖고 있다. 그 효과를 얻으려면, W량은 0.05% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, W량이 0.5%를 초과하면, 인성을 열화시킬 뿐만 아니라, 고가이다. 이 때문에, W량은 0.5% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0086] B: 0.0050% 이하
- [0087] B는 압연 중에 BN으로서 석출하고, 압연 후의 페라이트립(ferrite grain)을 미세하게 한다. 그 효과를 얻으려면, B량은 0.001% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, B량이 0.005%를 초과하면 인성이 열화한다. 이 때문에, B량은 0.005% 이하로 한정했다.
- [0088] Zr: 0.5% 이하
- [0089] Zr은, 강도를 상승시키는 것 외에, 아연 도금재(galvanized material)의 내도금 균열성(plating cracking resistance)을 향상시키는 원소이다. 그 효과를 얻으려면, Zr량은 0.03% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, Zr량이 0.5%를 초과하면, 용접부의 인성이 열화한다. 이 때문에, Zr량은 0.5% 이하로 하는 것이 바람직하다.
- [0090] 본 발명에 따른 강은 상기 성분 조성 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.
- [0091] 제조 조건에서는, 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 판두께 방향(thickness direction)의 평균값으로 한다.
- [0092] [가열 온도]

- [0093] 강 소재는, 900~1350℃의 온도로 가열한다. 가열 온도를 900℃ 이상으로 하는 것은, 재질의 균질화와 후술하는 제어 압연(controlled rolling)을 행하기 위해 필요하다. 또한, 가열 온도를 1350℃ 이하로 하는 것은, 과도하게 고온이 되면 표면 산화(surface oxidization)가 현저해짐과 함께, 결정립(crystal grain)의 조대화(coarsening)를 피할 수 없게 되기 때문이다. 또한, 인성의 향상을 위해서는, 가열 온도의 상한을 1150℃로 하는 것이 바람직하다.
- [0094] [열간 압연 조건]
- [0095] 강판 표면 온도가 1000~850℃의 온도영역에 있어서, 누적 압하율이 10% 이상인 조건으로 압연한다. 이 압연에 의해, 오스테나이트립이 부분적으로 재결정하기 때문에, 조직이 미세하고 또한 균일해진다.
- [0096] 또한, 1000℃를 초과하는 온도에서의 압연은, 오스테나이트립의 성장을 조장 하기 때문에, 세립화를 위해서는 바람직하지 않다. 한편, 850℃ 미만의 온도에서의 압연은, 850℃ 미만에서 완전하게 오스테나이트 미재결정영역(no-recrystallization temperature range in austenite)에 들어가기 때문에, 결정립의 균일화를 위해서는 바람직하지 않다. 또한, 누적 압하율이 10% 미만이면 오스테나이트립이 충분히 미세해지지 않는다는 이유로 바람직하지 않다.
- [0097] 강판 표면 온도가 900~600℃의 온도영역에 있어서, 누적 압하율이 50% 이상, 압연 종료시의 강판 표면 온도가 800~550℃인 조건으로 열간 압연한다. 이 공정에 의해, 변태 후의 결정립을 미세화하기 위한 변형을 도입한다.
- [0098] 900~600℃의 온도영역에서 압연함으로써 결정립을 미세화하고 또한 어레스트성에 유리한 집합 조직이 발달한다는 효과가 있다.
- [0099] 또한, 누적 압하율을 50% 이상으로 함으로써 결정립 미세화와 집합 조직의 발달을 더욱 촉진시킨다는 효과가 있다.
- [0100] 그 후, 강판 표면 온도가 850~550℃인 온도영역에서 압연함으로써, 결정립이 미세화되어, 양호한 어레스트 성능(장대 취성 균열 전파 정지 성능)이 얻어진다.
- [0101] [냉각 조건]
- [0102] 열간 압연을 종료한 후, 5℃/s 이상의 냉각 속도로 400℃까지 냉각하는 것이 바람직하다. 400℃까지의 온도영역을 5℃/s 이상의 냉각 속도로 냉각하면, 베이나이트 래스(bainite lath)가 발달하여, 균열의 전파 저항(crack propagation resistance)이 되어, 양호한 어레스트 성능(장대 취성 균열 전파 정지 성능)이 얻어진다.
- [0103] 실시예
- [0104] 표 1에 나타내는 여러 가지의 화학 조성으로 조정한 강 슬래브(steel slab)를 이용하여, 표 2에 나타내는 조건에 따라 후강판을 제조했다. 이렇게 하여 얻어진 각 후강판에 대해서, 도 1에 나타내는 치수 형상의 장대 ESSO 시험편을 제작하고, 전술한 본 발명법을 이용하여 시험에 제공했다. 시험은, 응력 257N/mm², 시험 온도 -10℃의 조건으로 실시했다. 여기에서, 응력 257N/mm²는, 선체에 다용되고 있는 항복 강도(yield strength) 40kgf/mm²급 강판의 최대 허용 응력이고, 온도 -10℃는 선박의 설계 온도이다. 장대 ESSO 시험은 도 7에 나타내는 대형 인장 시험 지그로 행했다.
- [0105] 장대 ESSO 시험을 실시한 결과를, 표 2에 나타낸다. No 2, 3, 5, 6, 8, 9, 12, 14는, 본 발명의 제조 방법의 발명에이고, 취성 균열이 시험편에서 정지되어 있다. 이 때문에, 이들은, 본 발명의 평가 방법에 의해, 「양호」라고 평가할 수 있다. No. 1, 4, 7, 10, 11, 13, 15, 16은, 본 발명의 제조 방법의 비교예이고, 취성 균열이 정지되지 않았다. 이 때문에, 이들은, 본 발명의 평가 방법에 의해서, 「불량」이라고 평가할 수 있다.

표 1

(질량%)

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	0.003	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	-	0.003	0.27	-	0.22	-	-	-	-	-
5	0.09	0.30	1.45	0.011	0.011	0.001	0.07	0.001	-	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	0.65	-	-	0.0065	-

주: 하선은 바람직한 범위의 범위 외인 것을 나타낸다.

표 2

No.	강 No.	판두께 (mm)	가열 온도 (°C)	1000~ 850°C의 잔압하중 (%)	900~ 600°C의 잔압하중 (%)	연료온도 (°C)	연료속도 (°C/s)	각도온도 (°C)	장대 ESSO 시험결과	비고
1	1	50	1360	15	65	700	0.8	-	관통	비교예
2	1	50	1150	15	65	700	0.8	-	정지	발명예
3	1	50	1150	15	65	700	7.0	355	정지	발명예
4	2	60	1120	50	30	660	0.7	-	관통	비교예
5	2	60	1070	20	60	660	0.7	-	정지	발명예
6	2	60	1070	20	60	660	6.0	382	정지	발명예
7	3	65	1100	10	50	500	0.7	-	관통	비교예
8	3	65	1100	10	50	650	5.0	357	정지	발명예
9	4	80	1150	15	60	700	5.0	278	정지	발명예
10	4	80	1150	15	60	820	5.0	300	관통	비교예
11	5	55	1200	20	60	850	0.8	-	관통	비교예
12	5	55	1200	20	60	650	7.0	362	정지	발명예
13	6	50	1150	5	75	750	0.8	-	관통	비교예
14	6	50	1150	15	65	750	7.0	388	정지	발명예
15	7	70	1100	15	60	700	0.6	-	관통	비교예
16	7	70	1100	15	60	700	6.0	550	관통	비교예

주1: 하선은 바람직한 범위의 범위 외인 것을 나타낸다.

주2: 비교예는, 제조 방법의 발명에, 비교예의 구별을 나타낸다.

부호의 설명

1 : 장대 ESSO 시험편

11 : 시험관

12 : 조주관

13 : 기계 가공 노치

14 : 일렉트로가스 아크 용접부

15 : CO₂ 아크 용접부

2 : 시험기의 탭판

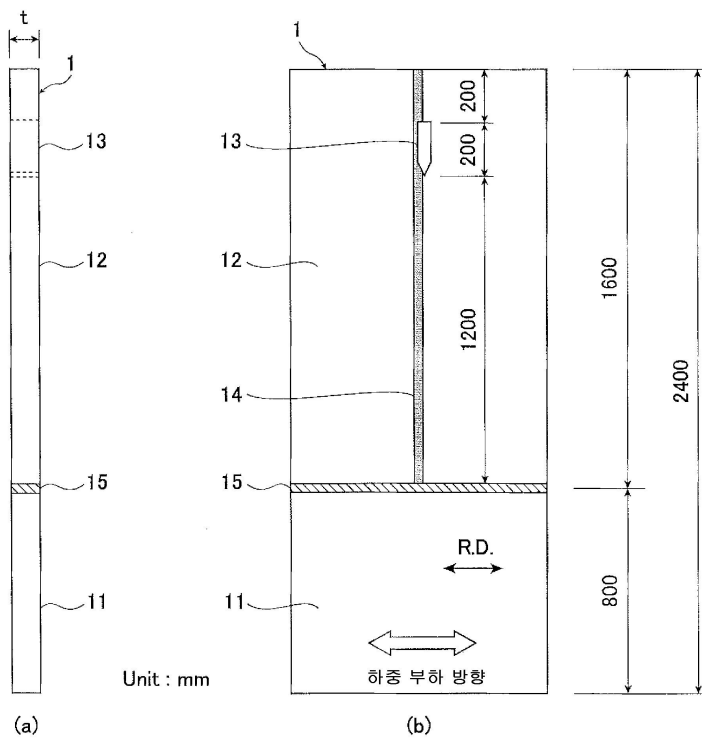
3 : 시험기의 핀척

31 : 시험기의 핀공

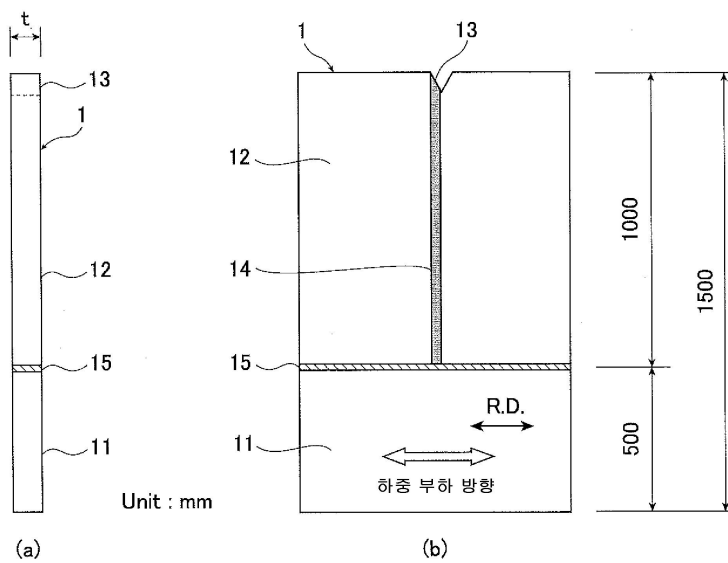
32 : 너트 형상부

도면

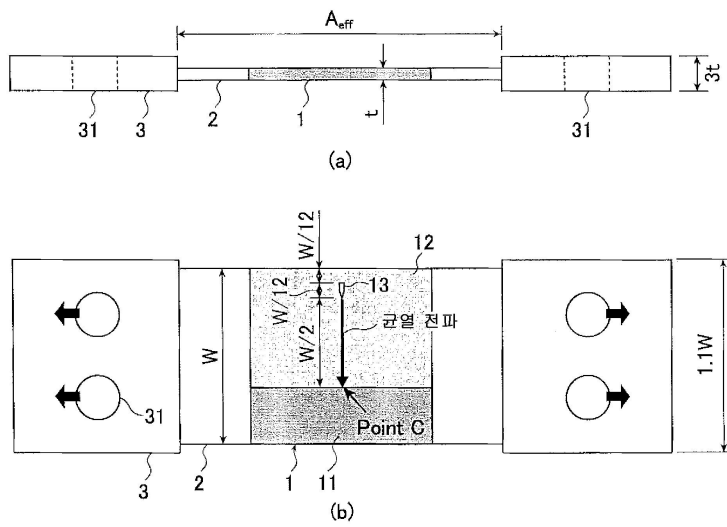
도면1



도면2



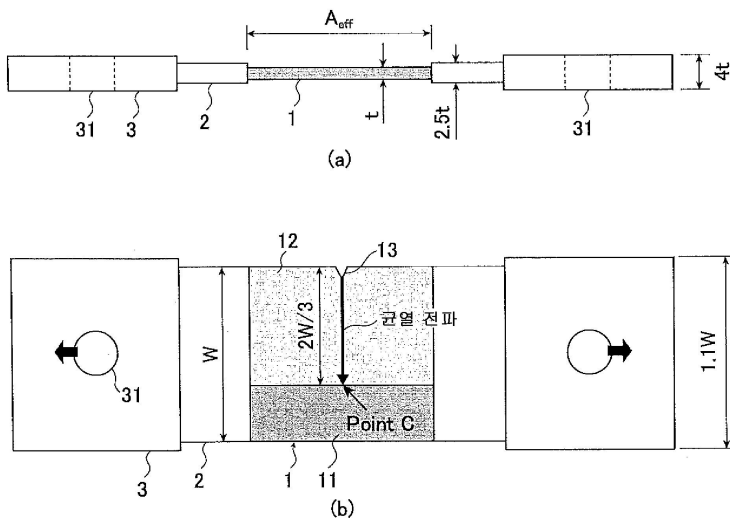
도면3



모델 1

($t=60\text{mm}$, $W=2.4\text{m}$, $A_{\text{eff}}=1.8\sim 20\text{m}$)

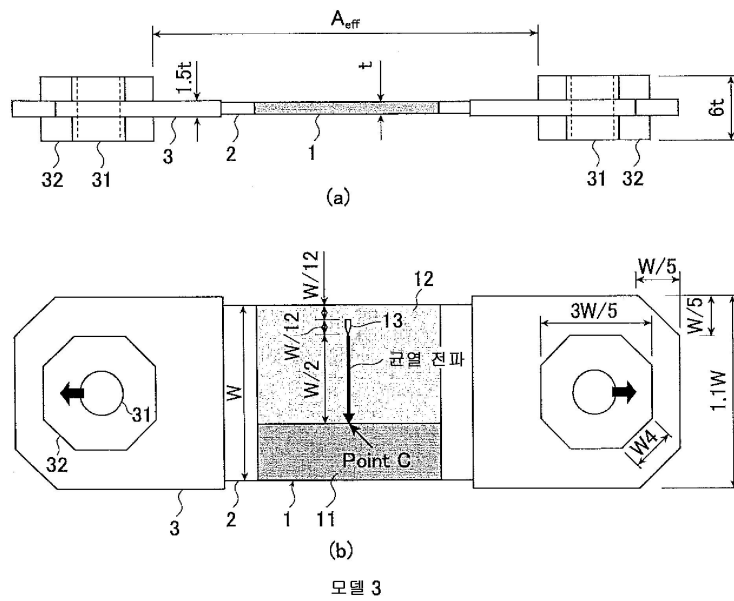
도면4



모델 2

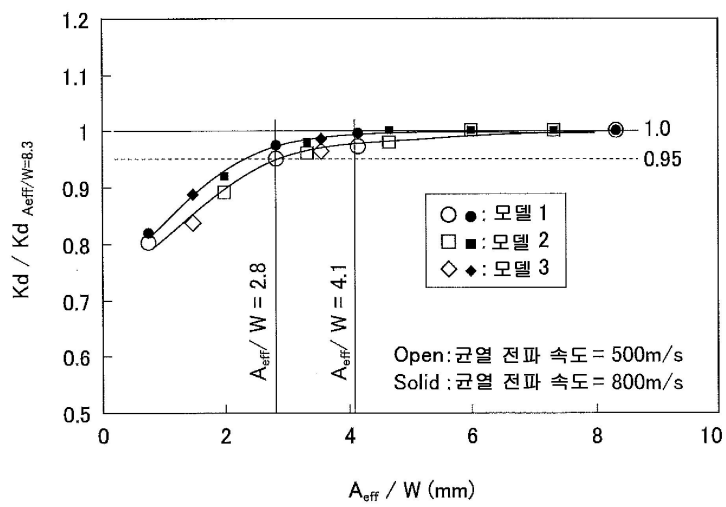
($t=80\text{mm}$, $W=1.5\text{m}$, $A_{\text{eff}}=3\sim 11\text{m}$)

도면5



($t=60\text{mm}$, $W=2.4\text{m}$, $A_{\text{off}}=1.8\sim 8.5\text{m}$)

도면6



도면7

