



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0075959
(43) 공개일자 2020년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

- C22C 38/34 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
- C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/04 (2006.01)
- C22C 38/06 (2006.01) C22C 38/22 (2006.01)
- C22C 38/24 (2006.01) C22C 38/26 (2006.01)
- C22C 38/28 (2006.01) C22C 38/32 (2006.01)

(52) CPC특허분류

- C22C 38/34 (2013.01)
- C21D 8/0226 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0163898

(22) 출원일자 2018년12월18일

심사청구일자 2018년12월18일

(71) 출원인

주식회사 포스코

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자

나현택

전라남도 광양시 폭포사랑길 20-26 광양제철소

김성일

전라남도 광양시 폭포사랑길 20-26 광양제철소

배규열

인천광역시 연수구 송도과학로 100

(74) 대리인

특허법인씨엔에스

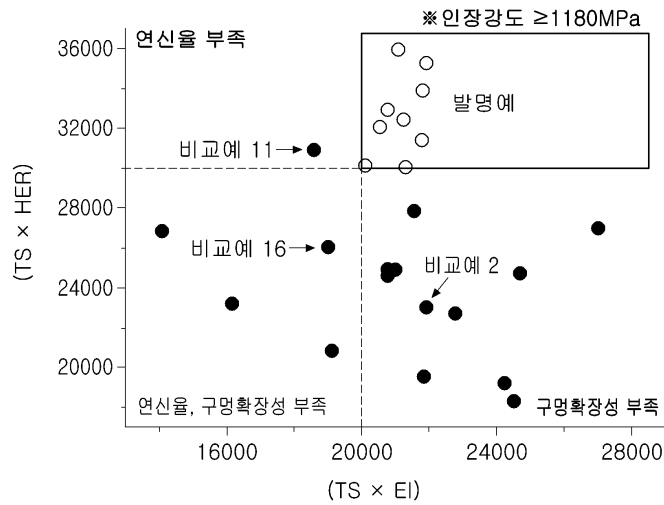
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **성형성이 우수한 고강도 열연강판 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 자동차의 샤시(chassis) 부품의 암(Arm)류, 프레임, 빔(beam), 브라켓, 보강재 등에 사용될 수 있는 강재에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 성형성이 우수한 고강도 열연강판과 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C21D 8/0263 (2013.01)

C22C 38/001 (2013.01)

C22C 38/04 (2013.01)

C22C 38/06 (2013.01)

C22C 38/22 (2013.01)

C22C 38/24 (2013.01)

C22C 38/26 (2013.01)

C22C 38/28 (2013.01)

C22C 38/32 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, C: 0.1~0.15%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.8~1.5%, P: 0.001~0.05%, S: 0.001~0.01%, Al: 0.01~0.1%, Cr: 0.7~1.7%, Mo: 0.0001~0.2%, Ti: 0.02~0.1%, Nb: 0.01~0.03%, B: 0.001~0.005%, V: 0.1~0.3%, N: 0.001~0.01%, 나머지는 Fe와 불가피한 불순물을 포함하고,

하기 [관계식 1] 및 [관계식 2]를 만족하며,

인장강도(TS)가 1180MPa 이상, 인장강도와 연신율이 곱(TS×E1)이 20,000MPa% 이상, 인장강도와 구멍확장성의 곱(TS×HER)이 30,000MPa% 이상인 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

[관계식 1]

$$20 \leq H \gamma \leq 50$$

$$H \gamma = 194.5 - (428[C] + 11[Si] + 45[Mn] + 35[Cr] - 10[Mo] - 107[Ti] - 56[Nb] - 70[V])$$

(단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

[관계식 2]

$$0.7 \leq a_p \leq 3.5$$

$$a_p = ([Mo] + [Ti] + [Nb] + [V]) \times [C]^{-1}$$

(단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 열연강판의 미세조직은 베이나이트 기지조직에, 면적분율로, 5~15%의 페라이트, 5~20%의 잔류 오스테나이트, 10% 이하의 불가피한 조직을 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 페라이트는 평균 경도값이 200Hv 이상인 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 불가피한 조직은 마르텐사이트, 도상 마르텐사이트(Martensite Austenite Constituent, MA) 및 오스테나이트 중 하나 이상인 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 열연강판은 미세조직 중 잔류 오스테나이트 입계에서 100 μ m 이내에 위치하는 페라이트 내 직경 5nm 이상의 석출물의 수가 5×10^n 개/mm² ($1 \leq n \leq 3$) 인 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 석출물은 Mo, Ti, Nb 및 V 중 1종 이상을 포함하는 탄화물 또는 질화물인 성형성이 우수한 고강도 열연강판.

청구항 7

중량%로, C: 0.1~0.15%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.8~1.5%, P: 0.001~0.05%, S: 0.001~0.01%, Al: 0.01~0.1%, Cr: 0.7~1.7%, Mo: 0.0001~0.2%, Ti: 0.02~0.1%, Nb: 0.01~0.03%, B: 0.001~0.005%, V: 0.1~0.3%, N: 0.001~0.01%, 나머지는 Fe와 불가피한 불순물을 포함하고, 상기 [관계식 1] 및 [관계식 2]를 만족하는 강 슬라브를 1180~1300 $^{\circ}$ C로 가열하는 단계;

상기 가열된 슬라브를 Ar3 이상에서 열간 압연을 시작해서, 하기 [관계식 3]을 만족하는 조건에서 마무리 열간 압연하는 단계;

상기 열간 압연 후 500~600 $^{\circ}$ C의 온도범위까지 20~400 $^{\circ}$ C/s의 냉각속도로 냉각(1차 냉각)하는 단계;

상기 1차 냉각 후 350~500 $^{\circ}$ C의 온도범위까지 냉각(2차 냉각)하는 단계; 및

상기 350~500 $^{\circ}$ C의 온도에서 권취하는 단계

를 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판의 제조방법.

[관계식 1]

$$20 \leq H\gamma \leq 50$$

$$H\gamma = 194.5 - (428[C] + 11[Si] + 45[Mn] + 35[Cr] - 10[Mo] - 107[Ti] - 56[Nb] - 70[V])$$

(단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

[관계식 2]

$$0.7 \leq a_p \leq 3.5$$

$$a_p = ([Mo] + [Ti] + [Nb] + [V]) \times [C]^{-1}$$

(단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

[관계식 3]

$$900 \leq T^* \leq 960$$

$$T^* = T + 225[C]^{0.5} + 17[Mn] - 34[Si] - 20[Mo] - 41[V]$$

(단, T는 열간 마무리 압연온도(FDT)이고, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 2차 냉각 속도는 0.5~70 $^{\circ}$ C/s로 행하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판의 제조방법.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 1차 냉각 후, 12초 이하의 시간동안 0.05~4.0℃/s의 냉각속도로 극서냉하는 단계를 더 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판의 제조방법.

청구항 10

청구항 7에 있어서,

상기 권취 후 상온~200℃의 온도범위로 자연 냉각한 후, 정정, 교정 및 산세하는 공정을 더 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판의 제조방법.

청구항 11

청구항 7에 있어서,

상기 열연강판에 대해 600℃ 이하의 온도로 가열하고 도금을 행하는 단계를 더 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강판의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자동차의 샤시(chassis) 부품의 암(Arm)류, 프레임, 빔(beam), 브라켓, 보강재 등에 사용될 수 있는 강재에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 성형성이 우수한 고강도 열연강판과 이를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 내연기관 자동차 연비절감 및 전기 자동차내 배터리 무게에 의한 수송기관의 경량화 요구는 지속적으로 증가하고 있다. 이중 자동차 샤시 부품 또한 고강도화에 따른 박물화가 진행되고 있다. 상기 박물화에 의한 탑승자의 안정성 확보를 위해 현행까지 개발된 강판은 인장강도 기준으로 750MPa, 980MPa급 수준을 상회하여 1180MPa급의 고강도 강판에 대한 개발이 요구되고 있다. 그러나, 지금까지 개발된 기술을 기반으로 단순히 강도를 증가시키는 경우에는 연신율, 구멍확장성 등 성형성이 열위해지는 문제가 발생한다.

[0005] 고강도 강판에 대한 성형성 확보를 목표로 조직내 잔류 오스테나이트를 형성시켜 변태유기소성(Transformation Induced Plasticity, TRIP) 현상에 의해 우수한 연신율을 확보하는 기술이 개발되었다(특허문헌 1 내지 3). 이들 기술은 미세조직 내 일정분율의 폴리고날 페라이트와 고경각 입계에 상대적으로 조대하면서 등축정 형상의 잔류 오스테나이트를 형성시켜 연신율을 확보하는 것이 주요 내용이다.

[0006] 그러나 잔류 오스테나이트는 부품 가공시 앞서 언급한 변태유기소성 현상에 의하여 마르텐사이트로 변태가 용이하여 폴리고날 페라이트와의 큰 경도 차이로 인해 샤시 부품 가공시 실제 성형성 모드에 가까운 버링성을 대변하는 구멍확장성이 현저히 저하되는 단점이 있다.

[0008] 이를 극복하기 위해, 강판 내 저온 페라이트 및 베이나이트 분율을 증가시켜 잔류 오스테나이트와의 상간 경도차를 저감하여 연신율과 구멍확장성을 동시에 확보하는 기술이 개발되었다(특허문헌 4).

[0010] 그러나 상기 기술은 폴리고날 페라이트 변태를 억제하기 위해서, 압연 후 급속 냉각하는 방법을 포함하여, 추가 냉각설비 장치가 불가피하여 생산성에 제약이 있으며, 압연 직후 급냉으로 인해 코일내 강도, 구멍확장성 등 여러 물성을 균일하게 확보하는 것이 용이하지 않은 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0012] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 제1994-145894호
 (특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 제2008-285748호
 (특허문헌 0003) 한국 공개특허공보 제10-2012-0049993호
 (특허문헌 0004) 일본 공개특허공보 제2012-251201호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명의 일측면은 높은 강도를 가지면서, 동시에 연신율 및 구멍확장성의 성형성이 우수한 열연강판과 이를 제조하는 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0015] 본 발명의 과제는 상술한 사항에 한정되지 않는다. 본 발명의 추가적인 과제는 명세서 전반적인 내용에 기술되어 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 명세서에 기재된 내용으로부터 본 발명의 추가적인 과제를 이해하는데 아무런 어려움이 없을 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명의 일태양은 중량%로, C: 0.1~0.15%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.8~1.5%, P: 0.001~0.05%, S: 0.001~0.01%, Al: 0.01~0.1%, Cr: 0.7~1.7%, Mo: 0.0001~0.2%, Ti: 0.02~0.1%, Nb: 0.01~0.03%, B: 0.001~0.005%, V: 0.1~0.3%, N: 0.001~0.01%, 나머지는 Fe와 불가피한 불순물을 포함하고,

[0018] 하기 [관계식 1] 및 [관계식 2]를 만족하며,

[0019] 인장강도(TS)가 1180MPa 이상, 인장강도와 연신율이 곱(TSXE1)이 20,000MPa% 이상, 인장강도와 구멍확장성의 곱(TSXHER)이 30,000MPa% 이상인 성형성이 우수한 고강도 열연강판에 관한 것이다.

[0020] [관계식 1]

[0021] $20 \leq H \gamma \leq 50$

[0022] $H \gamma = 194.5 - (428[C] + 11[Si] + 45[Mn] + 35[Cr] - 10[Mo] - 107[Ti] - 56[Nb] - 70[V])$

[0023] (단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

[0024] [관계식 2]

[0025] $0.7 \leq a_p \leq 3.5$

[0026] $a_p = ([Mo] + [Ti] + [Nb] + [V]) \times [C]^{-1}$

[0027] (단, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

- [0029] 본 발명의 또다른 일태양은 상기 합금조성 및 관계식 1 및 2를 만족하는 만족하는 강 슬라브를 1180~1300℃로 가열하는 단계;
- [0030] 상기 가열된 슬라브를 Ar3 이상에서 열간 압연을 시작해서, 하기 [관계식 3]을 만족하는 조건에서 마무리 열간 압연하는 단계;
- [0031] 상기 열간 압연 후 500~600℃의 온도범위까지 20~400℃/s의 냉각속도로 냉각(1차 냉각)하는 단계;
- [0032] 상기 1차 냉각 후 350~500℃의 온도범위까지 냉각(2차 냉각)하는 단계; 및
- [0033] 상기 350~500℃의 온도에서 권취하는 단계
- [0034] 를 포함하는 성형성이 우수한 고강도 열연강관의 제조방법에 관한 것이다.
- [0035] [관계식 3]
- [0036] $900 \leq T^* \leq 960$
- [0037] $T^* = T + 225[C]^{0.5} + 17[Mn] - 34[Si] - 20[Mo] - 41[V]$
- [0038] (단, T는 열간 마무리 압연온도(FDT)이고, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)

발명의 효과

- [0040] 본 발명의 열연강관은 우수한 강도를 가지면서, 동시에 성형성이 우수하다는 장점이 있다. 따라서, 본 발명의 열연강관을 이용하여, 자동차 샤시 부품에 대한 고강도 박물화를 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0042] 도 1은 본 발명의 실시예에서 발명예와 비교예의 인장강도와 연신율이 곱(TSXE1)과 인장강도와 구멍확장성의 곱(TSXHER)의 분포를 나타낸 그래프이다.
- 도 2의 (a) 및 (b)는 각각 실시예 중 발명예 7과 비교예 2의 미세조직을 관찰한 사진이다.
- 도 3의 (a), (b) 및 (c)는 각각 실시예 중 비교예 14, 발명예 7 및 비교예 15의 잔류 오스테나이트와 근접조직 내 석출물의 관계를 모식적으로 나타낸 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 일반적인 변태유기소성(TRIP)강은 부품 성형시 높은 연성을 요구하는 자동차 자체 부품에 적용되고 있으며, 부품 특성상 2.5mmt 수준 이하의 박물을 요구한다. 이 때문에 열간압연 후 냉간압연을 실시하고, 이후 비교적 안정적으로 온도 및 통관속도 제어가 가능한 소둔 공정에서 열처리 과정을 통해 조직을 구현한다. 그러나 본 발명과 같은 샤시 부품 등에 사용되는 경우에는 통상 두께가 1.5~5mmt 범위이고, 경우에 따라서는 이보다 더 두꺼울 수 있어 냉간압연으로 제조하는 것이 적합하지 않은 경우가 있다. 또한, 샤시 부품 등은 강판 제조시 단순히 연성 확보뿐만 아니라, 우수한 구멍확장성도 확보되어야 하므로, 야금학적으로 잔류 오스테나이트가 적절히 형성되고, 기지조직과의 상간 경도차의 저감도 필요하다. 본 발명은 상기 기술적 어려움을 극복하고, 열연강관에 대해 TRIP 특성을 구현하고, 우수한 구멍확장성을 확보하기 위해 고안된 것이다.
- [0045] 이하, 본 발명에 대해 상세히 설명한다.
- [0047] 먼저, 본 발명 열연강관의 합금조성에 대해서 상세히 설명한다. 본 발명의 열연강관은 중량%로, C: 0.1~0.15%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.8~1.5%, P: 0.001~0.05%, S: 0.001~0.01%, Al: 0.01~0.1%, Cr: 0.7~1.7%, Mo: 0.0001~0.2%, Ti: 0.02~0.1%, Nb: 0.01~0.03%, B: 0.001~0.005%, V: 0.1~0.3%, N: 0.001~0.01%, 나머지는 Fe와 불가피한 불순물을 포함한다.

- [0049] 탄소(C): 0.1~0.15 중량%(이하, %라 함)
- [0050] 상기 C는 강을 강화시키는데, 가장 경제적이며 효과적인 원소이다. 첨가량이 증가하면 베이나이트 분율을 증대시켜 강도를 증가시키고 잔류 오스테나이트 형성을 용이하게 하여 변태유기소성 효과 기반의 연신을 확보에도 유리하다. 그러나 그 함량이 0.1% 미만에서는 열간압연 후 냉각 중 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 분율을 충분히 확보할 수 없고, 경화능 저하에 따른 폴리고날 페라이트 형성이 조장되며, 0.15%를 초과하면 마르텐사이트 분율 증대에 따른 과도한 강도 상승과 용접성, 성형성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서, 상기 C의 함량은 0.1~0.15%인 것이 바람직하다.
- [0052] 실리콘(Si): 2.0~3.0%
- [0053] 상기 Si은 용강을 탈산시키고 고용강화 효과로 강도 증가에 기여하는 원소이다. 또한, 조직내 탄화물 형성을 억제하고 냉각 중 잔류 오스테나이트 형성을 용이하게 한다. 그러나 그 함량이 2.0% 미만이면 조직내 탄화물 형성 억제 및 잔류 오스테나이트의 안정성 확보 효과가 적어지게 된다. 반면, 3.0%를 초과하면 페라이트 변태가 과도하게 촉진되어 조직 내 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 분율이 오히려 하락하게 되어 충분한 물성 확보가 용이하지 않게 된다. 또한, 강관의 표면에 Si에 의한 붉은색 스케일이 형성되어 강관 표면이 저할될 뿐만 아니라, 용접성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서, 상기 Si의 함량은 2.0~3.0%인 것이 바람직하다.
- [0055] 망간(Mn): 0.8~1.5%
- [0056] 상기 Mn은 Si과 마찬가지로 강을 고용강화 시키는데 효과적인 원소이며, 강의 경화능을 향상시켜 열간압연 후 냉각 중 베이나이트 또는 잔류 오스테나이트의 형성을 용이하게 한다. 그러나 그 함량이 0.8% 미만이면 Mn 첨가에 따른 상기 효과를 얻을 수 없고, 1.5%를 초과하면 마르텐사이트 분율을 증대시킬 뿐만 아니라 연주공정에서 슬라브 주조 시 두께 중심부에서 편석부가 크게 발달되어 성형성이 열위해지는 문제점이 있다. 따라서, 상기 Mn의 함량은 0.8~1.5%인 것이 바람직하다.
- [0058] 인(P): 0.001~0.05%
- [0059] 상기 P은 강 중에 존재하는 불순물로서, 그 함량이 0.05%를 초과하면 마이크로 편석에 의한 연성 저하 및 강의 충격특성을 열위하게 한다. 한편, 0.001% 미만으로 제조하기 위해서는 제강 조업시 시간과 노력이 많이 소요되어 생산성이 크게 저하된다. 따라서, 상기 P의 함량은 0.001~0.05%인 것이 바람직하다.
- [0061] 황(S): 0.001~0.01%
- [0062] 상기 S은 강 중에 존재하는 불순물로서, 그 함량이 0.01%를 초과하면 망간 등과 결합하여 비금속 개재물을 형성하며 이에 따라 강의 인성을 크게 떨어뜨리는 문제점이 있다. 반면, 0.001% 미만으로 관리하기 위해서는 제강 조업시 시간과 노력이 많이 소요되어 생산성이 크게 저하된다. 따라서, 상기 S의 함량은 0.001~0.01%인 것이 바람직하다.
- [0064] 알루미늄(Al): 0.01~0.1%
- [0065] 상기 알루미늄(바람직하게는 Sol.Al)은 주로 탈산을 위하여 첨가하는 성분으로, 충분한 탈산 효과를 기대하기 위해서는 0.01% 이상 포함하는 것이 바람직하다. 다만, 그 함량이 0.1%를 초과하여 과도할 경우에는 질소와 결합하여 AlN이 형성되어 연속 주조시 슬라브 코너 크랙이 발생하기 쉬우며, 개재물 형성에 의한 결함이 발생하기 쉬워 이를 방지하기 위해서는 0.1% 이하인 것이 바람직하다. 따라서, 상기 Al의 함량은 0.01~0.1%인 것이 바람직하다.

- [0067] 크롬(Cr): 0.7~1.7%
- [0068] 상기 Cr은 강을 고용강화 시키며 Mn과 마찬가지로 냉각 시 페라이트 상변태를 지연시켜 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 형성을 돕는 역할을 한다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 0.7% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 그러나 1.7%를 초과하게 되면 필요 이상의 베이나이트와 마르텐사이트 상분을 증가로 연신율이 급격히 감소하는 문제점이 발생한다. 따라서, 상기 Cr의 함량은 0.7~1.7%인 것이 바람직하다.
- [0070] 몰리브덴(Mo): 0.0001~0.2%
- [0071] 상기 Mo은 강의 경화능을 증가시켜 베이나이트 형성을 용이하게 한다. 이를 위해서는 0.0001% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 다만, 그 함량이 0.2%를 초과하여 과다할 경우에는 소입성 증가로 마르텐사이트가 형성되어 성형성이 급격히 열화되며, 경제적 측면과 용접성 측면에서도 불리할 수 있다. 따라서, 상기 Mo의 함량은 0.0001~0.2%인 것이 바람직하다.
- [0073] 타이타늄(Ti): 0.02~0.1%
- [0074] 상기 Ti은 Nb, V와 함께 대표적인 석출강화 원소이며, N와의 강한 친화력으로 강중 조대한 TiN을 형성한다. 상기 TiN은 열간압연을 위한 가열과정에서 결정립이 성장하는 것을 억제하는 역할을 한다. 한편, N와 반응하고 남은 Ti은 강중 고용되어 탄소와 결합함으로써 TiC 석출물을 형성하며, 이러한 TiC 석출물은 강의 강도를 향상시키는 역할을 한다. 본 발명에서 이러한 기술적 효과를 얻기 위해서, 상기 Ti은 0.02% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 그러나 그 함량이 0.1%를 초과하여 과다할 경우에는 TiN 혹은 TiC 석출이 과다해서 강중에 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 형성을 위해 필요한 고용 C 함량이 급격히 하락할 수 있고, 석출물의 조대화로 인해 구멍 확장성이 하락할 수 있다. 따라서, 상기 Ti의 함량은 0.02~0.1%인 것이 바람직하다.
- [0076] 나이오븀(Nb): 0.01~0.03%
- [0077] 상기 Nb은 Ti, V와 함께 대표적인 석출강화 원소로서 열간압연 중 석출하여 재결정 지연을 통해 결정립을 미세화하여 강의 강도 및 충격인성을 개선하는 역할을 한다. 이러한 효과를 위해, 상기 Nb은 0.01% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 그러나 그 함량이 0.03%를 초과하여 과다할 경우에는 열간압연 중 강중 고용 C 함량을 급격히 감소시켜 충분한 베이나이트 및 잔류 오스테나이트를 확보할 수 없게 되고, 지나친 재결정 지연으로 연신된 결정립이 형성되어 성형성을 열위하게 할 수 있다. 따라서, 상기 Nb의 함량은 0.01~0.03%인 것이 바람직하다.
- [0079] 보론(B): 0.001~0.005%
- [0080] 상기 B은 강의 경화능 확보에 아주 효과적일 뿐만 아니라, 고용 상태로 존재할 경우, 결정립계를 안정시켜 저온 역에서의 강의 취성을 개선하는 효과가 있다. 또한 고용 N과 함께 BN을 형성하여 조대한 질화물 형성을 억제하는 역할을 한다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 0.001% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 그러나 0.005%를 초과하여 과다할 경우, 열간압연 중 재결정 거동을 지연시키며 석출강화 효과가 감소된다. 따라서, 상기 B의 함량은 0.001~0.005%인 것이 바람직하다.
- [0082] 바나듐(V): 0.1~0.3%
- [0083] 상기 V은 Ti, Nb와 함께 대표적인 석출강화 원소이며, 권취 이후 석출물을 형성하여 강의 강도를 향상시키는 역할을 한다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 0.1% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 그러나 0.3%를 초과하여 과다할 경우에는 조대한 복합 석출물이 형성되어 성형성이 열위해지고, 경제적으로도 불리하다. 따라서, 상기 V의 함량은 0.1~0.3%인 것이 바람직하다.
- [0085] 질소(N): 0.001~0.01%
- [0086] 상기 N는 탄소와 함께 대표적인 고용강화 원소이며, Ti, Al 등과 함께 조대한 석출물을 형성한다. 일반적으로,

질소의 고용강화 효과는 탄소보다 우수하지만, 강중 질소량이 증가될수록 인성이 크게 떨어지는 문제가 있으므로, 0.01% 이하로 포함되는 것이 바람직하다. 한편, 그 함량을 0.001% 미만으로 제조하기 위해서는 제강조업 시간이 많이 소요되어 생산성이 저하될 수 있다. 따라서, 상기 N의 함량은 0.001~0.01%인 것이 바람직하다.

- [0088] 나머지는 Fe와 불가피하게 포함되는 불순물을 포함한다. 본 발명의 기술적 효과를 해치지 않는 범위에서, 상술한 합금성분 이외에 추가적으로 포함될 수 있는 합금성분을 배제하지 않는다.
- [0090] 본 발명 열연강관에 상기 합금조성은 하기 [관계식 1] 및 [관계식 2]를 만족하는 것이 바람직하다.
- [0091] [관계식 1]
- [0092] $20 \leq H_{\gamma} \leq 50$
- [0093] $H_{\gamma} = 194.5 - (428[C] + 11[Si] + 45[Mn] + 35[Cr] - 10[Mo] - 107[Ti] - 56[Nb] - 70[V])$
- [0094] 상기 관계식 1에서 [원소기호]는 각 합금성분의 함량(중량%)를 의미한다.
- [0095] 상기 관계식 1에서 H_{γ} 는 경화능 강화 원소인 C, Si, Mn, Cr, Mo, Nb, V 첨가에 의한 잔류 오스테나이트 안정성 확보 효과와 Mo, Ti, Nb, V 첨가에 의한 잔류 오스테나이트 근접 조직 입내의 석출물 형성에 의한 상간 경도차 저감효과를 성분내에 대한 관계식으로 표현한 것이다.
- [0096] 상기 관계식 1에서 H_{γ} 가 20 미만이면, 경화능 효과가 높아 잔류 오스테나이트의 안정성이 확보되나, 잔류 오스테나이트 입내에 과도한 합금성분의 농화 현상으로 잔류 오스테나이트가 급격히 경화된다. 이 때문에, 페라이트 또는 베이나이트 조직과의 상간 경도차가 증가하여 강관의 구멍확장성이 열위해질 수 있다. 반면에, H_{γ} 가 50을 초과하게 되면, 잔류 오스테나이트의 근접 조직에서의 과도한 석출물 형성으로 잔류 오스테나이트 내 탄소함량이 부족하여 잔류 오스테나이트의 안정성이 열위해져 연신율이 열위해지는 문제가 발생할 수 있다.
- [0098] 한편, 상기 [관계식 1]이외에, 잔류 오스테나이트 근접 조직 내 적정 분율의 석출물을 형성하기 위해서, 상기 [관계식 2]를 만족하는 것이 바람직하다.
- [0099] [관계식 2]
- [0100] $0.7 \leq a_p \leq 3.5$
- [0101] $a_p = ([Mo] + [Ti] + [Nb] + [V]) \times [C]^{-1}$
- [0102] 상기 관계식 2에서 [원소기호]는 각 합금성분의 함량(중량%)를 의미한다.
- [0103] 상기 a_p 의 값이 0.7 미만이면, 충분한 석출물이 잔류 오스테나이트 근접 조직에 형성될 수 없고, 3.5를 초과하게 되면, 과도한 석출로 앞서 언급한 잔류 오스테나이트의 안정성이 열위해지게 된다.
- [0105] 본 발명 열연강관의 미세조직은 베이나이트를 기지조직으로 하고, 면적 분율로, 페라이트 5~15%, 잔류 오스테나이트 5~20%를 포함하고, 기타 불가피한 조직 10% 이하로 포함될 수 있다. 상기 불가피한 조직은 마르텐사이트, 도상 마르텐사이트(MA) 등이 포함될 수 있고, 이들의 합이 10%를 넘지 않는 것이 바람직하다. 10%를 초과할 경우에는 잔류 오스테나이트의 분율 저하로 연신율이 열위해질 뿐만 아니라, 페라이트 및 베이나이트 조직과의 상간 경도차에 의해 구멍확장성도 열위해질 수 있다.
- [0106] 상기 페라이트 분율이 5% 미만인 경우에는 강관의 연신율 대부분을 잔류 오스테나이트에 의존하게 되어 본 발명이 목표로 하는 수준의 연신율을 확보하기 어렵고, 15%를 초과하는 경우에는 충분한 강도를 확보하기 어렵다. 한편, 상기 잔류 오스테나이트가 5% 미만일 경우에는 미세조직 내 마르텐사이트와 같은 과도한 저온 변태상 분율이 증가하여 강도 확보는 용이하나 연신율 측면에서 열위하게 된다. 이에 비해, 잔류 오스테나이트 분율이 20%를 초과하는 경우에는 각각의 잔류 오스테나이트 내 탄소 함유량 감소에 의한 안정성 열위로, 변형 초기에 거의 모두 마르텐사이트로 가공유기변태되어 연성이 저하되는 문제가 있다.

- [0108] 상기 페라이트의 평균 경도값은 200Hv 이상인 것이 바람직하다. 상기 경도값이 200Hv 미만인 경우에는 베이나이트 및 잔류 오스테나이트와의 높은 상간 경도차에 의해 구멍확장성이 열위해될 수 있다. 상기 페라이트의 평균 경도값을 확보하기 위해서는 페라이트 내 저경각 입계 분율, 전위밀도, 석출물 확보가 중요하고, 이를 위해서는 강판 제조 시, 강판 성분 설계뿐만 아니라 최적화된 공정이 필요하다.
- [0110] 본 발명 열연강판의 미세조직은 상기 잔류 오스테나이트 입계에서 100 μ m 이내에 위치하는 페라이트 내 직경 5nm 이상의 석출물의 수가 5×10^{10} 개/ mm^2 ($1 \leq n \leq 3$) 인 것이 바람직하다. 상기 석출물 수가 유효범위에 미만일 경우에는 잔류 오스테나이트와 인접한 조직 간의 상간 경도차 저감 효과가 충분하지 않아 구멍확장성 확보가 어려우며, 유효범위를 초과하는 경우에는 과도한 석출에 의해 잔류 오스테나이트 및 베이나이트 분율 저하로 강도 및 연성이 열위해지는 문제가 있다.
- [0111] 상기 석출물의 종류는 특별히 한정하는 것은 아니나, Mo, Ti, Nb, V 을 포함하는 탄화물, 질화물 등이 될 수 있다.
- [0113] 본 발명의 열연강판은 인장강도(TS) 1180MPa 이상에 인장강도와 연신율의 곱(TSXE1)이 20,000MPa% 이상이고, 인장강도와 구멍확장성의 곱(TSXHER)이 30,000MPa% 이상인 것이 바람직하다.
- [0115] 다음으로, 본 발명 열연강판을 제조하는 일예에 대해서 상세히 설명한다. 본 발명의 열연강판은 전술한 합금조성을 충족하는 강 슬라브를 가열-열간압연-냉각-권취하는 공정을 통해 제조할 수 있다. 이하에서는 상기 각 공정에 대해서 상세히 설명한다.
- [0117] 앞서 설명한 합금조성을 갖는 강 슬라브를 준비하고, 이를 1180~1300 $^{\circ}$ C의 온도로 가열하는 것이 바람직하다. 상기 가열 온도가 1180 $^{\circ}$ C 미만에서는 강 슬라브의 숙열이 부족하여 열간압연 시 온도 확보가 어려워지고, 연주 시 발생된 편석을 확산을 통해 해소하기 어렵고, 한편으로는 연주 시 석출된 석출물이 충분히 재고용되지 않아 열간압연 이후의 공정에서 석출강화 효과를 보기 어려울 수 있다. 반면, 1300 $^{\circ}$ C를 초과하게 되면, 오스테나이트 결정립의 조대한 성장에 의하여 강도가 저하 및 조직 불균일이 조장되므로, 상기 슬라브 가열온도는 1180~1300 $^{\circ}$ C인 것이 바람직하다.
- [0119] 상기 가열된 강 슬라브를 열간압연한다. 상기 가열된 강 슬라브를 페라이트 상변태 개시온도(Ar3) 이상의 온도역에서 압연을 시작하여, 하기 [관계식 3]을 만족하는 온도범위로 열간 마무리 압연 온도를 관리하는 것이 바람직하다.
- [0120] [관계식 3]
- [0121] $900 \leq T^* \leq 960$
- [0122] $T^* = T + 225[C]^{0.5} + 17[Mn] - 34[Si] - 20[Mo] - 41[V]$
- [0123] (단, T는 열간 마무리 압연 온도(FDT)이고, [원소기호]는 각 원소의 함량(중량%)를 의미함)
- [0124] 상기 압연 후 마무리 온도가 관계식 3의 범위 미만인 경우에는 상대적으로 조대하면서도 연신된 페라이트 분율이 증가하여 목표로 하는 강도 및 성형성을 확보하기 어려우며, 반대로 관계식 3의 범위를 초과할 경우에는 높은 압연 온도로 조대한 조직의 형성에 기인한 강도하락 및 스케일성 표면 결함이 증가하여 또다른 관점에서 성형성이 열위해지는 문제가 있다.
- [0125] 상기 T*는 압연 전 또는 압연 중 발생할 수 있는 이상역에서의 상변태에 의해 조대하게 연신된 페라이트 형성을 억제하기 위한 유효온도 범위이다. C나 Mn 같은 같은 페라이트 변태를 지연시키는 합금원소 첨가시 그 범위가 증가하나, 페라이트 변태를 촉진시키는 Si은 함량 증가시 그 범위를 축소시킨다. 또한, Mo 및 V는 상기 C 및 Mn

과 유사하게 상변태시 경화능을 증가시키는 결과를 하나, C와 결합을 통한 탄화물 형성이 용이한 원소로 이러한 탄화물 형성을 통해 베이나이트 및 잔류 오스테나이트를 형성하기 위해 필요한 C를 소진시켜 본 발명에서 제시하는 물성을 확보할 수 없게 한다. 이에 상기 T*이 900 미만일 경우에는 연신된 조대 페라이트 분율이 높아 베이나이트 분율 및 잔류 오스테나이트의 분포 거동의 균일성을 저하시켜 강도 뿐만아니라 성형성을 열위하게 한다. 반면, 960을 초과하는 경우에는 높은 압연온도 확보를 위해 고온의 가열작업이 불가피하여 스케일링 결함이 다발하여 표면 품질이 열위해질 뿐만 아니라, 조대한 조직 형성으로 강도 및 성형성 확보가 어려워질 수 있다.

[0127] 상기 열간압연 된 강관을 500~600℃의 온도범위까지 20~400℃/s의 냉각속도로 냉각(1차 냉각)한다. 상기 1차 냉각 종료 온도가 500℃ 미만으로 급격히 냉각할 경우, 비등전이 온도역으로 강관이 급격히 냉각될 수 있어 형상 및 재질 균일성이 열위해지는 문제점이 발생할 수 있다. 반면 600℃를 초과할 경우에는 폴리고날 페라이트 분율이 과도하게 증가하여 충분한 강도 및 구멍확장성 확보가 용이하지 않다. 상기 1차 냉각속도가 400℃/s를 초과할 경우에는 설비 운용상 제한이 있으며, 과도한 냉각속도로 인한 페라이트 및 베이나이트 변태 거동의 불균일성으로 형상 및 재질 균일성이 열위해질 수 있다. 반면, 20℃/s 미만의 냉각속도로 냉각할 경우에는 냉각 중에 페라이트와 펄라이트 상변태가 발생하여 원하는 수준의 강도 및 구멍확장성 값을 확보할 수 없다. 한편, 상기 1차 냉각속도는 70~400℃/s인 것이 보다 바람직하다.

[0129] 한편, 상기 1차 냉각 후, 필요에 따라 저온 페라이트 형성 및 석출효과 증대를 위해서, 12초 이하의 시간 동안 0.05~4.0℃/s의 냉각속도로 극서냉하는 공정을 더 포함할 수 있다. 상기 극서냉을 12초 넘게 하게 되면, 실제 ROT(Run Out Table) 구간에서의 제어가 용이하지 않으며, 조직내 과도한 페라이트 분율 증가로 필요한 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 분율 확보가 어렵게 되어 원하는 물성을 확보하기 어렵다.

[0131] 상기 1차 냉각 후 350~500℃의 온도범위까지 0.5~70℃/s의 냉각속도로 냉각(2차 냉각)한다. 경우에 따라, 상기 2차 냉각 과정에서 극서냉 공정이 포함될 수 있다. 상기 2차 냉각 종료 온도가 350℃ 미만이면, 마르텐사이트 및 MA상의 분율이 과도하게 증가하게 되고, 500℃를 초과하게 되면 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 상분율을 확보하지 못해 본 발명에서 제시하는 1180MPa 이상의 인장강도에서 연신율과 구멍확장성을 동시에 확보하지 못하게 된다. 한편, 상기 2차 냉각속도가 0.5℃/s 미만이면 과도한 페라이트 형성으로 베이나이트 및 잔류 오스테나이트를 충분히 확보하지 못하여 강도 확보가 용이하지 않으며 상간 경도차에 의한 구멍확장성이 열위해질 수 있다. 반면, 냉각속도가 70℃/s를 초과하게 되면 베이나이트 분율이 증가하고 페라이트 및 잔류 오스테나이트 분율이 하락하여 연신을 확보가 어렵게 된다. 한편, 상기 2차 냉각 속도는 0.5~50℃/s로 행하는 것이 보다 바람직하다.

[0133] 상기 2차 냉각이 완료된 열연강관을 그 온도에 권취하는 것이 바람직하다. 상기 권취된 열연강관에 대해 상온~200℃의 온도범위로 자연 냉각한 후 정정을 통한 형상 교정 및 산세, 또는 산세와 유사한 공정으로 표층부 스케일을 제거할 수 있다. 상기 강관 온도가 200℃를 초과하게 되면, 정정시 형상 교정은 용이하나 산세 중 과산세로 인하여 표층부 조도가 나빠지는 문제가 있다.

[0134] 또한, 필요에 따라 도금층을 형성할 수 있다. 상기 도금의 종류와 방법은 특별히 국한되지 않는다. 다만, 도금을 위한 가열과 같은 강관의 열처리시 베이나이트, 잔류 오스테나이트 등의 저온변태상의 풀림현상을 억제하기 위해서, 600℃ 미만으로 하는 것이 바람직하다.

[0136] 이하, 본 발명의 실시예에 대해서 상세히 설명한다. 하기 실시예는 본 발명의 이해를 위한 것일 뿐, 본 발명의 권리범위를 한정하기 위한 것이 아니다. 본 발명의 권리범위는 특허청구범위에 기재된 사항과 이로부터 합리적으로 유추되는 사항에 의해 결정되는 것이기 때문이다.

[0138] (실시예)

[0139] 하기 표 1의 합금조성(중량%, 나머지는 Fe와 불가피한 불순물임)을 갖는 강 슬라브를 제조한 후, 1250℃로 가열

하고, 압연 후 마무리 온도를 [관계식 3]이 만족하는 범위에서 2.5~3.5mmt로 열간압연 후, 표 2에 개시된 냉각 조건으로 냉각하여 열연강판을 제조하였다. 이때 2차 냉각시 냉각속도는 0.5~70℃/s 내에서 제어되어, 표 2에 제시된 2차 냉각종료 온도까지 냉각 후 권취를 실시하였다. 이후 상온까지 대기중에서 자연 냉각 후 정정을 통한 형상 교정 및 산세 공정을 거쳐 표층부 스케일을 제거하였다.

[0141] 상기에 따라 제조된 열연강판에 대해서, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 미세 조직을 관찰하였고, 이미지 분석기(image analyzer)를 이용하여 면적분율을 산출하여 그 결과를 표 3에 나타내었다. 특히, MA 상의 면적분율은 LePera 에칭법으로 에칭한 후 광학 현미경 및 SEM을 동시에 이용하여 측정하였다.

[0142] 특히, 잔류 오스테나이트(RA) 및 잔류 오스테나이트 근접조직의 탄소함량 및 석출물 분포는 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)을 이용하여 특정하였으며, 석출물의 개수는 발명에 및 비교예 모두 500nm² 면적, 10개 지역에 대해서, 직경 5nm이상인 석출물의 평균값을 산출한 것이다.

[0144] 한편, 제조된 열연강판의 압연방향에 대해서, 90° 및 0° 방향을 기준으로 JIS 5호 규격 시편을 준비하여 10mm/min의 변형속도로 상온에서 인장시험을 실시하여, 항복강도(YS), 인장강도(TS) 및 연신율(E1)을 측정하였다. 이들은 각각 0.2% off-set 항복강도, 인장강도 및 파괴 연신율을 의미한다. 상기 항복강도와 인장강도는 압연방향에 대해서 90° 시편을 평가한 실적이고, 연신율은 압연방향에 대하여 0° 시편을 평가한 실적이다. 상기 인장강도 및 연신율을 하기 표 3에 나타내었다.

[0145] 구멍확장성(HER)은 가로 세로 약 120mm 크기의 정사각형 시편을 준비하고, 펀칭작업을 통하여 시편의 중앙에 직경 10mm의 구멍을 타발한 후에 버(burr)를 위로 하고 콘을 밀어올려 원주 부분에 크랙이 발생하기 직전까지 구멍의 직경을 최소 구멍직경(10mm) 대비 백분율로 계산하여 표 3에 나타내었다.

표 1

[0147]

구분	조성 (wt.%)													관계식 1	관계식 2
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Ti	Nb	B	V	N		
발명예 1	0.14	2.4	1.4	0.01	0.003	0.04	1.1	0.11	0.03	0.021	0.003	0.12	0.003	20.6	2.0
발명예 2	0.12	2.4	1.1	0.01	0.003	0.04	1.4	0.05	0.03	0.015	0.004	0.12	0.004	31.2	1.8
발명예 3	0.11	2.4	0.9	0.01	0.003	0.04	1.4	0.05	0.04	0.015	0.002	0.12	0.003	45.5	2.0
발명예 4	0.13	2.1	1.3	0.01	0.003	0.04	1.1	0.15	0.03	0.015	0.003	0.11	0.004	32.0	2.3
발명예 5	0.14	2.2	1.1	0.01	0.003	0.04	1.4	0.07	0.05	0.021	0.003	0.14	0.003	28.9	2.0
발명예 6	0.14	2.4	1.4	0.01	0.003	0.04	0.8	0.14	0.03	0.021	0.002	0.12	0.003	31.4	2.2
발명예 7	0.11	2.1	1.2	0.01	0.003	0.04	1.1	0	0.03	0.015	0.003	0.13	0.003	45.0	1.6
발명예 8	0.14	2.9	0.9	0.01	0.003	0.04	1.4	0	0.04	0.015	0.003	0.19	0.003	31.6	1.8
발명예 9	0.12	2.3	1.1	0.01	0.003	0.04	1.6	0.07	0.04	0.015	0.002	0.07	0.004	23.1	1.6
비교예 1	0.24	2.1	0.9	0.01	0.003	0.04	1.1	0.15	0.03	0.015	0.003	0.09	0.004	1.5	1.2
비교예 2	0.08	2.2	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.15	0.03	0.015	0.001	0.11	0.003	61.3	3.8
비교예 3	0.13	3.4	1.4	0.01	0.003	0.04	1.1	0.15	0.04	0.015	0.003	0.14	0.003	16.4	2.7
비교예 4	0.13	1.8	0.9	0.01	0.003	0.04	1.1	0.05	0.04	0.015	0.002	0.12	0.004	54.1	1.7
비교예 5	0.13	2.2	1.7	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.04	0.015	0.003	0.11	0.004	13.2	1.8
비교예 6	0.13	2.9	0.6	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.04	0.015	0.003	0.09	0.003	53.6	1.7
비교예 7	0.13	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.8	0.15	0.04	0.015	0.002	0.14	0.004	19.7	2.7
비교예 8	0.13	2.4	1.1	0.01	0.003	0.04	0.5	0.15	0.03	0.015	0.002	0.09	0.004	57.3	2.2
비교예 9	0.14	2.2	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0	0.01	0.005	0.002	0.09	0.003	30.0	0.8
비교예 10	0.14	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.22	0.11	0.035	0.003	0.31	0.003	61.1	4.8
비교예 11	0.13	2.4	1.1	0.01	0.003	0.04	1.4	0.07	0.03	0.015	0.003	0.11	0.003	26.4	1.7
비교예 12	0.14	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.03	0.015	0.003	0.12	0.003	36.6	1.7
비교예 13	0.14	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.03	0.015	0.003	0.12	0.004	36.6	1.7
비교예 14	0.14	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.03	0.015	0.003	0.12	0.004	36.6	1.7
비교예 15	0.14	2.1	1.1	0.01	0.003	0.04	1.1	0.07	0.03	0.015	0.003	0.12	0.003	36.6	1.7

[0148] (상기 관계식 1은 $H_y = 194.5 - (428[C] + 11[Si] + 45[Mn] + 35[Cr] - 10[Mo] - 107[Ti] - 56[Nb] - 70[V])$ 이고, 관계식 2는 $a_p = ([Mo] + [Ti] + [Nb] + [V]) \times [C]^{-1}$ 임)

표 2

[0150]

구분	FDT(T) (°C)	관계식 3 T*	1차 냉각		극서냉대	2차 냉각	종료온도 (°C)
			종료온도 (°C)	냉각속도 (°C/s)	중간온도 (°C)	시간 (초)	
			발명예 1	931	950	591	
발명예 2	941	950	562	95	-	-	409
발명예 3	948	950	561	97	555	6	481
발명예 4	922	946	563	90	559	8	452
발명예 5	929	950	582	87	577	8	466
발명예 6	935	954	568	92	562	8	479
발명예 7	931	949	564	92	557	6	443
발명예 8	939	932	554	96	550	5	441
발명예 9	940	954	533	102	525	5	446
비교예 1	902	949	559	86	553	8	449
비교예 2	935	935	531	101	526	8	458
비교예 3	933	914	551	96	545	8	428
비교예 4	924	953	584	85	576	8	466
비교예 5	912	941	550	91	541	8	439
비교예 6	936	924	573	91	567	6	455
비교예 7	918	938	562	89	555	6	449
비교예 8	927	939	578	87	571	6	463
비교예 9	923	947	585	85	570	8	465
비교예 10	931	945	562	92	565	8	477
비교예 11	880	892	568	78	563	6	418
비교예 12	924	949	670	64	635	6	425
비교예 13	924	949	562	91	556	15	441
비교예 14	928	953	610	80	558	0	311
비교예 15	921	946	616	76	599	8	550

[0151] 상기 관계식 3은 $T^* = T + 225[C]^{0.5} + 17[Mn] - 34[Si] - 20[Mo] - 41[V]$ 으로 계산되고, 상기 중간온도는 1차 냉각 종료 온도와 2차 냉각 개시 온도의 중간지점을 의미한다.

표 3

[0153]

구분	미세조직					압연판재 물성				
	F	B	M+MA	RA	$\sum N_{ppt}$	TS	E1	HER	TS×E1	TS×HER
						(MPa)	(%)	(%)	(MPa%)	(MPa%)
발명예 1	5	77	8	10	231	1240	17	29	21080	35960
발명예 2	6	76	9	9	192	1221	17	27	20757	32967
발명예 3	9	73	7	11	217	1217	18	29	21906	35293
발명예 4	6	77	6	11	312	1249	17	26	21233	32474
발명예 5	7	76	7	10	292	1283	16	25	20528	32075
발명예 6	6	79	6	9	258	1255	16	24	20080	30120
발명예 7	9	77	5	9	353	1211	18	28	21798	33908
발명예 8	7	77	6	10	501	1253	17	24	21301	30072
발명예 9	9	75	7	9	275	1209	18	26	21762	31434
비교예 1	5	63	15	17	184	1297	16	19	20752	24643
비교예 2	25	70	4	1	246	1098	20	21	21960	23058

비교예 3	14	72	5	9	481	1021	24	18	24504	18378
비교예 4	23	68	5	4	295	1150	19	17	21850	19550
비교예 5	5	71	11	13	282	1310	16	19	20960	24890
비교예 6	17	76	4	3	326	1137	20	20	22740	22740
비교예 7	6	78	6	10	264	1267	17	22	21539	27874
비교예 8	14	69	8	9	309	1176	21	21	24696	24696
비교예 9	5	79	6	10	125	1242	16	23	19872	28566
비교예 10	7	85	5	3	6735	1375	11	22	15125	30250
비교예 11	25	65	5	5	201	1009	22	24	22198	24216
비교예 12	35	56	4	5	5839	869	19	19	16511	16511
비교예 13	43	49	4	4	5763	821	18	19	14778	15599
비교예 14	1	85	12	2	17	1279	16	21	20464	26859
비교예 15	36	60	1	3	5714	1085	14	24	15190	26040

- [0154] (상기 표 3에서 F: 페라이트, B: 베이나이트, M: 마르텐사이트, MA: 도상 마르텐사이트, RA: 잔류 오스테나이트 입, ΣN_{PPT} : 오스테나이트 입계에서 100 μ m이내에 포함된 석출물의 단위면적 1mm²당 개수임)

- [0156] 상기 표 3에선 나타난 바와 같이, 본 발명의 조성 및 제조조건을 충족하는 경우에는 1180MPa 이상의 높은 강도를 갖는 동시에, TSXEI이 20,000MPa%이상이고, TSXHER이 30,000MPa%으로 우수한 성형성을 확보할 수 있다.

- [0158] 도 1은 상기 발명예와 비교예의 TSXEI과 TSXHER의 분포를 나타낸 그래프이다. 도 1에 의하면, 본 발명에서 제시하는 조건을 충족하는 발명예의 경우에는 모두, 우수한 물성을 확보하는 것을 확인할 수 있다.

- [0160] 도 2의 (a) 및 (b)는 SEM을 이용하여, 각각 발명예 7과 비교예 2의 미세조직을 관찰한 것으로서, 상기 발명예 7에서는 베이나이트(B) 주상에 페라이트(F) 및 잔류 오스테나이트(RA)를 일부 포함하고 있는 반면에, 비교예 2에서는 과도한 페라이트(F)가 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 비교예 2에서는 본 발명에서 제시하는 강도가 확보되지 않음을 확인할 수 있다.

- [0162] 도 3의 (a), (b) 및 (c)는 각각 비교예 14, 발명예 7 및 비교예 15의 잔류 오스테나이트와 근접 조직 내 석출형성 거동을 모식적으로 나타낸 것이다. 도 3의 (a)의 경우에는 과도한 베이나이트 형성으로, 잔류 오스테나이트 근접조직에서의 석출물이 거의 형성되지 않음을 알 수 있다. 이에 비해 (c)에서는 2차 냉각이 충분하지 않아, 잔류 오스테나이트 근접 조직 내에 과도한 석출물이 형성되어, 잔류 오스테나이트의 안정성 확보를 위한 탄소 함량이 충분하지 않아 연신율이 충분히 확보되지 않았다.

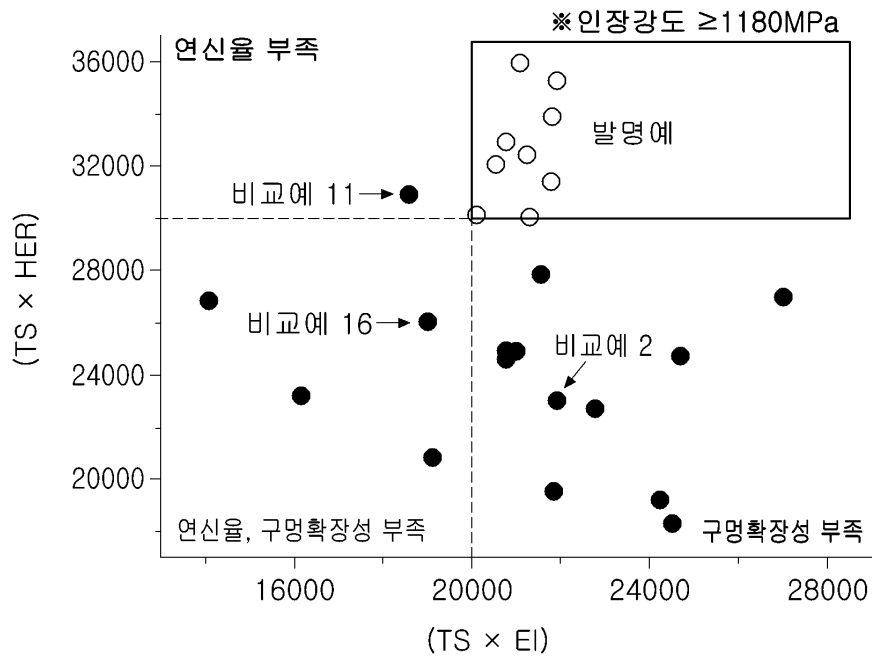
- [0164] 상기 표 3에서 나타나 바와 같이, 비교예 1 내지 10은 강관의 조성, 관계식 1 또는 2가 본 발명의 적정범위에 해당되지 않은 경우로서, 본 발명에서 제시하는 물성을 확보하지 못하고 있다.

- [0165] 특히, 비교예 9 및 10은 Mo, Ti, Nb, V의 함량이 본 발명이 제시하는 범위를 벗어나고 있어서, 잔류 오스테나이트 근접조직 내의 석출물을 개수가 본 발명에서 제시하는 유효범위를 벗어나게 되어 우수한 물성을 확보하지 못하고 있다.

- [0167] 비교예 11 내지 15는 각 성분은 본 발명의 유효범위를 충족하나, 열간 압연 후 마무리 온도, 냉각 조건이 본 발명에서 제시하는 유효범위를 벗어난 경우이다. 이들의 경우에, 본 발명에서 제시하는 TSXEI과 TSXHER를 확보하지 못하고 있음을 알 수 있다.

도면

도면1



도면2

