



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년11월14일
 (11) 등록번호 10-1461729
 (24) 등록일자 2014년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22C 38/00 (2006.01) C21D 6/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0150136
 (22) 출원일자 2012년12월21일
 심사청구일자 2012년12월21일
 (65) 공개번호 10-2014-0080932
 (43) 공개일자 2014년07월01일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2004332099 A*
 JP2011153336 A*
 KR100903642 B1*
 JP4902026 B2
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 주식회사 포스코
 경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)
 (72) 발명자
 신한철
 인천 연수구 송도과학로 100, (주)포스코 (송도동)
 전영우
 인천 연수구 송도과학로 100, (주)포스코 (송도동)
 임영록
 경북 포항시 남구 동해안로 6262, 내 (동촌동, (주)포스코)
 (74) 대리인
 특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 이학왕

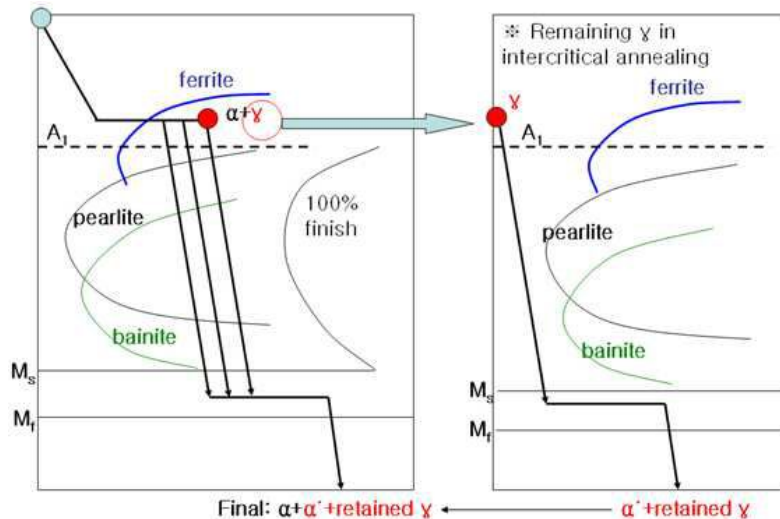
(54) 발명의 명칭 강도 및 연성이 우수한 보론 첨가 고탄소강 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강 및 상기 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법에 관한 것이다.

이를 위해, 본 발명에서는 보론(B)이 첨가된 고탄소강을 이용하면서, 열처리 조건을 제어함으로써 인장강도 900~1200MPa 수준의 고강도 고연성 강재를 제조할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 그 외 기타성분으로 Mn: 1.5% 이하, Si: 0.3~1.0%, Cr: 0.03~0.30%, Ti: 0.01~0.03%를 더 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물로 조성되고, 미세조직은 면적분율로 3~25%의 잔류 오스테나이트 및 잔부 초석 페라이트와 마르텐사이트 복합조직을 포함하는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 보론 첨가 고탄소강은 900~1200MPa의 인장강도 및 10~25%의 연신율을 갖는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강.

청구항 3

중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 그 외 기타성분으로 Mn: 1.5% 이하, Si: 0.3~1.0%, Cr: 0.03~0.30%, Ti: 0.01~0.03%를 더 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물로 조성되는 강재를 A_f 이상의 온도에서 유지하여 오스테나이트(Austenite)로 변태하는 단계; 상기 강재를 A_1 ~ A_{r3} 까지 냉각한 후 상기 온도 범위에서 유지하여 초석 페라이트를 형성하는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계; 상기 강재를 M_f ~ M_s 까지 급냉하여 마르텐사이트를 형성하는 쿨칭(Quenching) 단계; 상기 강재를 M_f ~ M_s 온도에서 유지하여 잔류 오스테나이트 내부에 탄소를 농축시키는 분배(Partitioning) 단계; 및 상기 강재를 상온까지 냉각하는 냉각 단계를 포함하는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계는 상기 A_1 ~ A_{r3} 에서 100~10000초 동안 유지하여 실시하는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법.

청구항 5

제 3항에 있어서, 상기 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계는 상기 A_1 ~ A_{r3} 에서 100초 이상, 그리고 상기 A_1 ~ A_{r3} 에서 초석 페라이트가 최대 50% 생성되는 시간 이하로 실시하는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법.

청구항 6

제 3항에 있어서,

상기 분배(Partitioning) 단계는 상기 $M_f \sim M_s$ 온도에서 600초 이하로 유지하여 실시하는 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법.

청구항 7

제 3항에 있어서,

상기 잔류 오스테나이트는 면적분율로 3~25%로 포함하는 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강 및 상기 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 강도와 연성은 반비례 관계에 있으므로, 강도와 연성의 조합이 상대적으로 더 좋은 강재를 제조하기 위해서 잔류 오스테나이트의 응력유기 마르텐사이트 변태를 이용하는 기술이 적용되고 있다.

[0003] 잔류 오스테나이트의 응력유기 마르텐사이트 변태 기술이 적용된 대표적인 강재로서 TRIP(Transformation Induced Plasticity) 강이 있는데, TRIP 강은 주로 0.1~0.3중량%의 탄소량을 가지며, 페라이트(Ferrite), 베이나이트(Bainite) 및 잔류 오스테나이트(Retained Austenite)로 이루어진 미세조직을 가지고 있으며, 연신율은 잔류 오스테나이트를 가지는 다른 강재에 비해 상대적으로 높으며, 주로 900MPa 이하의 강도 영역에서 사용된다. 그러나, 기존 TRIP강의 경우, 고연성의 확보는 가능 하지만, 초고강도의 확보가 어려운 단점이 있다.

[0004] 또한, 초고강도를 확보하기 어려운 TRIP강을 대신하여 퀴칭(Quenching)과 분배(Partitioning)에 의해 잔류 오스테나이트를 확보하는 공정을 거치는 Q&P 강(이른바, M-TRIP 강)이 있는데, 이 Q&P 강은 마르텐사이트를 기지조직으로 잔류 오스테나이트상을 가지고 있기 때문에 상대적으로 쉽게 1200MPa 이상의 초고강도 물성을 확보할 수 있다. 이러한, Q&P 공정을 이용하면, 강의 탄소량을 조절하여 다양한 강도범위에서 우수한 물성을 확보할 수 있다.

[0005] Q&P 공정을 이용하여 강을 제조하는 경우, 1200MPa 이상의 초고강도를 얻기 위해서는 탄소량이 높은 강재를 사용하여 제조하면 단시간의 분배(Partitioning)에 의해서도 내부의 탄소농도가 높아져 상온에서 안정한 잔류 오스테나이트를 얻을 수 있으나, 900~1200MPa 범위의 강도범위에서 잔류 오스테나이트를 적정량 함유한 강재를 얻기 위해서는 0.2중량% 내외의 탄소량이 낮은 저탄소 강재를 장시간 분배(Partitioning)하여 잔류 오스테나이트 내부에 탄소농도를 축적시켜야 하는 문제가 있다. 따라서, 이를 구현하기 위한 열처리 시간이 길기 때문에 제조비용이 상대적으로 비싼 단점이 있으며, 열처리 설비 구성 또한 크고 복잡해지는 문제가 있다.

[0006] 또한, 2상 복합조직으로 구성되는 Q&P 강의 경우, 연성을 확보할 수 있는 유일한 상이 제조가 까다로운 잔류 오스테나이트 상뿐이기 때문에, 동일 조성에서 열처리만으로 일반 Q&P 강에 비해 연성이 높은 영역의 물성을 다양하게 확보하기 어려운 문제가 있다. 더불어, Q&P 공정에서는 분배(Partitioning) 단계에서 탄화물이 생성될 경우, 잔류 오스테나이트의 상온 안정화를 위한 충분한 탄소를 확보하기 위해 분배(Partitioning) 시간을 추가로 더 길게 유지해야 하기 때문에, 탄소를 효율적인 분배(Partitioning)를 위해 탄화물 형성속도를 늦추어야 하고,

이를 위해 고가의 합금원소 또는 취성을 유발할 수 있는 다량의 Si를 사용하여야 하는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 일 측면은, 강도와 연성이 모두 우수한 강을 얻기 위해, 보론 첨가 고탄소강을 활용하면서, 이의 열처리 방법을 제어함으로써 강도 및 연성이 모두 우수한 보론 첨가 고탄소강을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면은, 중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물로 조성되고,

[0009] 미세조직은 면적분율로 3~25%의 잔류 오스테나이트 및 잔부 초석 페라이트와 마르텐사이트 복합조직을 포함하는 강도 및 연성이 우수한 보론 첨가 고탄소강을 제공한다.

[0010] 본 발명의 다른 일 측면은, 중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물로 조성되는 강재를 A_1 이상의 온도에서 유지하여 오스테나이트(austenite)로 변태하는 단계;

[0011] 상기 강재를 A_1 ~ A_{33} 까지 냉각한 후 상기 온도 범위에서 유지하여 초석 페라이트를 형성하는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계;

[0012] 상기 강재를 M_f ~ M_s 까지 급냉하여 마르텐사이트를 형성하는 퀴칭(Quenching) 단계;

[0013] 상기 강재를 M_f ~ M_s 온도에서 유지하여 잔류 오스테나이트 내부에 탄소를 농축시키는 분배(Partitioning) 단계; 및

[0014] 상기 강재를 상온까지 냉각하는 냉각 단계를 포함하는 강도 및 연성이 우수한 보론 첨가 고탄소강의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 의하면, 종래의 TRIP 강이나 Q&P 강에서 얻기 어려운 900~1200MPa 수준의 인장강도 영역에서 연성이 동시에 우수한 강재를 상대적으로 빠른 시간 내의 열처리를 통해 제조할 수 있다. 즉, 초기 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계를 통해 잔류 오스테나이트 내에 탄소 농축을 가속화시킴으로써 동일 인장강도 수준에서 상대적으로 연성이 높은 강재를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 측면인 열처리 공정(이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계부터 냉각 단계까지)을 개략적으로 도식화하여 나타낸 것이다.

도 2는 일반 고탄소강과 상기 일반 고탄소강에 B 또는 Mo를 첨가하는 경우 TTT 곡선의 변화를 나타낸 것이다.

도 3은 광학현미경으로 발명에 1의 미세조직을 관찰한 후 그 결과를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 본 발명자들은 잔류 오스테나이트의 응력유기 마르텐사이트 변태를 이용하는 기존 TRIP 강이나 Q&P(Quenching and Partitioning) 강에서는 얻기 어려운 강도 영역에서 강도 및 연성이 동시에 우수하면서 저렴한 강재를 도출

해내기 위해 깊이 연구한 결과, 보론(B)이 첨가된 고탄소강을 이용하면서, 열처리 조건을 제어함으로써 인장강도 900~1200MPa 수준의 고강도 고연성 강재를 제조할 수 있음을 확인하고 본 발명을 완성하였다.

- [0018] 보론(B)이 첨가된 고탄소강은 그 가격이 저렴하면서도 B의 Solute Dragging 효과에 의해 Solute Boron이 결정립계에 고착함으로써, 일반적인 고탄소 강재에 비해 CCT 곡선에서 펄라이트(Pearlite) 영역이 우측으로 밀려있다. 따라서, 1차 초석 페라이트 생성 이후 남은 오스테나이트가 열처리 도중 펄라이트 등 다른 상으로 변태되어 잔류 오스테나이트 형성에 필요한 탄소를 세멘타이트 등의 탄화물 형태로 소모하는 것을 방지할 수 있다.
- [0019] 따라서, 초석 페라이트 생성 후 남은 탄소가 대부분 오스테나이트 내에 잔류하게 되므로, 상대적으로 상온에서 오스테나이트로 유지될 수 있는 '탄소가 농축된 잔류 오스테나이트'를 제조하기 위한 분배(Partitioning) 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.
- [0020] 상기 보론(B) 첨가 고탄소강(0.35%C+B)에서의 TTT 곡선의 변화를 도 2를 통해 확인할 수 있다. 비교를 위해, 보론(B)이 미첨가된 일반 고탄소강(0.35%C)과 고가 합금강의 대표격인 몰리브덴(Mo)을 첨가한 고탄소강(0.35%C+Mo)의 TTT 곡선도 함께 나타내었다.
- [0021] 도 2에 나타낸 바와 같이, 보론(B)을 첨가하지 않는 일반 고탄소강(0.35%C)과 비교하여 몰리브덴(Mo)을 첨가한 고탄소강(0.35%C+Mo)의 펄라이트(Pearlite) 커브가 가장 우측으로 밀려있으나, 베이나이트(Bainite) 커브는 상대적으로 덜 밀려있으며, 보론(B) 첨가 고탄소강(0.35%C+B)의 경우에는 펄라이트와 베이나이트 커브가 모두 우측으로 밀려있는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해, 보론(B)을 첨가하지 않는 일반 고탄소강(0.35%C)은 급냉 열처리 중 펄라이트 생성이 용이하며, 이로 인해 효율적인 탄소 농축이 어려울 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0022] 따라서, 잔류 오스테나이트 응력유기 마르텐사이트 변태의 효과를 얻기 위해서는 보론(B) 첨가 고탄소강(0.35%C+B)이나 고가합금원소인 몰리브덴(Mo)을 첨가한 고탄소강(0.35%C+Mo)을 이용함이 바람직할 것이나, 경제적인 측면까지 고려한다면, 고가의 Mo를 첨가한 고탄소강에 비해 B를 첨가한 고탄소강을 이용함이 더욱 바람직하다.
- [0023] 그리고, 상기 각 강재의 페라이트 생성온도는 열역학적으로는 A₃선이지만, 실제로는 Kinetics에 의해 좌우되므로 유지시간에 따라 다르게 나타난다. 따라서, 각 강재의 페라이트 임계 생성온도는 도 2에서 확인할 수 있다.
- [0024] 이하, 본 발명의 일 측면인 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강의 제조방법 및 이에 의해 제조된 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강에 대하여 상세히 설명한다.
- [0025] 본 발명에 따른 강도 및 연성이 우수한 보론 첨가 고탄소강의 제조방법은, 중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물로 조성되는 강재를 Ar 이상의 온도에서 유지하여 오스테나이트(Austenite)로 변태하는 단계; 상기 강재를 A₁~페라이트 생성온도까지 냉각한 후 상기 온도 범위에서 유지하여 초석 페라이트를 형성하는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계; 상기 강재를 M_f~M_s까지 급냉하여 마르텐사이트를 형성하는 퀴칭(Quenching) 단계; 상기 강재를 M_f~M_s 온도에서 유지하여 잔류 오스테나이트 내부에 탄소를 농축시키는 분배(Partitioning) 단계; 및 상기 강재를 상온까지 냉각하는 냉각 단계를 포함하여 이루어진다.
- [0026] 상기 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계부터 냉각까지의 단계는 도 1에 개략적으로 도시화하여 나타내었다.
- [0027] 본 발명에서 이용하는 보론 첨가 고탄소강은 중량%로, 탄소(C): 0.15~0.55% 및 보론(B): 8~60ppm을 포함하고, 그 외 기타 성분으로서 Mn, Si, Ti, Cr 등의 부가원소와 P 및 S 등의 불가결한 원소 및 잔부 Fe로 이루어져 있으며, 이들 부가원소 등은 통상의 강재 내에서 포함될 수 있는 정도라면 그 함량을 제한하지 않는다. 보다 구체적으로, 이들 원소들은 중량%로, Mn: 1.5% 이하, Si: 0.3~1.0%, Cr: 0.03~0.30%, Ti: 0.01~0.03%의 범위로 포

함될 수 있을 것이다.

- [0028] 이러한 보론 첨가 고탄소강을 A_1 이상의 온도에서 유지하여 오스테나이트(Austenite)로 변태시킨 후, 냉각하여 $A_1 \sim A_{r3}$ 범위에서 유지하여 초석 페라이트를 확보하는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing) 단계를 거친다. 이때, 이상영역 어닐링은 100~10000초 동안 실시함이 바람직한데, A_1 -페라이트 생성온도 범위에서 유지하는 시간이 100초 미만이면 충분한 초석 페라이트의 확보가 어려우며, 반면 10000초를 초과하게 되면 초석 페라이트의 형성은 충분하나, 경제적인 면에서 불리한 측면이 있으므로 바람직하지 못하다.
- [0029] 보다 바람직하게는, 충분한 초석 페라이트의 형성을 위한 유지 시간은 유지온도에 따라 달라질 수 있기 때문에, 100초 이상으로 실시하면서 유지온도에서의 초석 페라이트가 최대 50% 생성되는 시간 이하로 실시함이 바람직하다.
- [0030] 한편, 상기 단계로부터 형성된 초석 페라이트는 첫째, 자신이 가진 탄소를 내어놓는 역할을 하는데, 이때 상기 탄소가 잔류 오스테나이트에 농축됨에 따라 상온에서도 쉽게 안정화될 수 있다. 둘째, 잔류 오스테나이트와 함께 다상 복합조직에서의 연성을 증가시키는 역할을 한다.
- [0031] 이러한 초석 페라이트는 모재의 탄소 함량에 따라 그 분율이 달라지므로, 특별히 한정하기는 어려우나, 예컨대 고탄소강의 경우에는 면적분율로 20~40%로 형성되고, 저탄소강의 경우에는 40~60%로 형성되므로, 본 발명에서 상기와 같은 효과를 얻기 위해서는 최소 20% 이상으로 초석 페라이트를 확보함이 바람직할 것이다.
- [0032] 이후, 상기 이상영역 어닐링을 거친 강재를 $M_f \sim M_s$ 까지 급냉하여 마르텐사이트를 형성하는 퀴칭(Quenching) 단계를 실시한다. 이때, 퀴칭 단계에서 적정량의 마르텐사이트를 형성함으로써, 목적하는 강도를 확보할 수 있다.
- [0033] 이후, 상기 퀴칭된 강재를 $M_f \sim M_s$ 온도에서 유지하여 잔류 오스테나이트 내부에 탄소를 농축시키는 분배 (Partitioning) 단계를 실시한다.
- [0034] 이때, 분배 단계를 실시하는 시간은 앞서 언급한 초석 페라이트로부터의 농축에 따라 달라질 수 있다. 즉, 초석 페라이트로부터의 탄소 농축이 많이 일어날 경우에는 후속되는 분배 단계에서 짧은 시간으로도 탄소 농축을 충분히 이룰 수 있는 반면, 초석 페라이트로부터의 탄소 농축이 적게 일어나면 분배 단계에서 충분한 탄소 농축을 위해 많은 시간이 필요할 것이다. 즉, 분배 단계에서의 시간은 길면 길수록 탄소 농축이 모두 이루어질 것이나, 이러한 경우 제조비용이 급격히 상승하는 문제가 있으므로, 결국 제품의 원가를 증가시키는 문제를 야기하게 된다.
- [0035] 그러나, 본 발명에서는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing)으로부터 충분한 초석 페라이트를 형성시키기 때문에, 통상 실시되는 분배 처리 보다는 적은 시간의 분배 처리로 충분한 탄소 농축을 이룰 수 있으며, 바람직하게는 600초 이하로 실시할 수 있다. 만일, 분배 시간이 600초를 초과하게 되면 앞서 설명한 바와 같이 제조원가가 상승하는 문제가 있으므로, 바람직하지 못하다.
- [0036] 상기 분배 공정까지 마친 강재를 통상의 냉각방법으로 상온까지 냉각함으로써, 최종 강도 및 연성이 우수한 보론(B) 첨가 고탄소강을 제조한다.
- [0037] 상기 냉각 공정까지 완료되어 제조된 강재는 미세조직으로서, 초석 페라이트, 마르텐사이트(또는 템퍼드 마르텐사이트) 및 잔류 오스테나이트의 3상으로 이루어지는데, 이때 분배(Partitioning) 공정시에 형성될 수 있는 소량의 베이나이트(Bainite)를 더 포함할 수도 있다. 소량의 베이나이트는 미세조직상 본 발명에 의해 형성된 마르텐사이트와 구별이 어렵고, 유사한 물성을 가지고 있기 때문에, 동일하게 취급할 수 있다.

[0038] 앞에서 언급한 바와 같이, 초석 페라이트는 이상영역 어닐링(Intercritical annealing)의 유지시간에 의해서 결정되므로 유지시간을 조절함으로써 목적하는 분율의 초석 페라이트를 얻을 수 있다. 그리고, 잔류 오스테나이트의 분율은 퀴칭(Quenching) 공정에서 생성된 마르텐사이트 분율에 반비례하여 생성되는데, 본 발명에서 상기 잔류 오스테나이트는 면적분율로 3~25% 형성시킴이 바람직하다.

[0039] 잔류 오스테나이트의 분율이 3% 미만이면, 충분한 량의 잔류 오스테나이트가 없기 때문에 응력유기 마르텐사이트 변태를 통한 강도 및 연신을 향상효과를 기대하기 어렵다. 반면, 고탄소강을 이용하여 대부분의 탄소를 잔류 오스테나이트에 농축시킨다 하더라도 상온에서 안정한 잔류 오스테나이트를 25%를 초과하여 형성시키기 어렵기 때문에, 잔류 오스테나이트 분율의 상한을 25%로 제한함이 바람직하다.

[0040] 이와 같은 미세조직 구성을 갖는 본 발명의 보론(B) 첨가 고탄소강은 900~1200MPa의 인장강도 및 10~25%의 연신을 가짐으로써 강도 및 연성의 조합이 우수하다.

[0041] 일반적인 Q&P 강의 제조에서 가장 문제가 되는 부분이 바로 탄소를 잔류 오스테나이트에 집적(농축)시키기 위한 분배(Partitioning) 공정에서의 공정 시간이다. 열처리 공정에서 시간은 바로 공정 비용을 의미하기 때문에, 아무리 우수한 강을 만들 수 있다 하더라도, 시간이 오래 걸리는 경우에는 그 효과가 반감된다.

[0042] 그러나, 본 발명에 따를 경우, 초석 페라이트와 마르텐사이트 및 잔류 오스테나이트가 조합된 강도와 연성이 동시에 우수한 강재를 단시간에 제조할 수 있으므로, 기존의 Q&P 강과 동일한 물성이 구현된다 하더라도 경제적인 측면에서 우수한 기술이라 할 수 있다.

[0043] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 한다. 다만, 하기의 실시예는 본 발명을 예시하여 보다 상세하게 설명하기 위한 것일 뿐, 본 발명의 권리범위를 한정하기 위한 것이 아니라는 점에 유의할 필요가 있다. 본 발명의 권리범위는 특허청구범위에 기재된 사항과 이로부터 합리적으로 유추되는 사항에 의해 결정되는 것이기 때문이다.

[0044] (실시예)

[0045] 시편으로서, 열처리 공정에서 많이 사용되는 고가의 고탍금 고탄소강을 대체할 목적으로 기개발된 0.38%C급 보론(B) 첨가강인 POS10B35강과 이와 동일한 탄소 조성에 보론(B) 및 티타늄(Ti)을 함유하지 않은 일반 고탄소강인 S35C강을 준비하였다. 상기 각 강재의 조성(중량%)은 하기 표 1에 나타낸 바와 같다.

[0046] 하기 표 1에 나타낸 바와 같은 각각의 조성을 갖는 강을 통상의 열간압연을 통하여 열연강판으로 제조한 후, 통상의 구상화 소둔 및 냉간압연을 거쳐 인장시험용 JIS13B 규격 시편으로 제조하였다.

[0047] 하기 표 1에 나타낸 각 강재의 A₁ 온도는 철강재에서 727°C로 볼 수 있으며, 또한 각 강재의 페라이트 생성온도는 열역학적으로는 A₃선이지만, 실제로는 Kinetics에 의해 좌우되므로 유지시간에 따라 다르게 나타난다. 따라서, 보론(B) 첨가강인 POS10B35강과 일반 고탄소강인 S35C강의 유지시간에 따른 페라이트 임계 생성온도는 도 2에서 확인할 수 있다.

[0048] 이후, 상기 각각의 시편을 하기 표 2에 나타낸 조건으로 이상영역 어닐링(Intercritical annealing)을 실시한 후, 냉각 및 유지하는 열처리를 실시하였다. 이때, 냉각온도 및 유지시간은 하기 표 2에 나타낸 조건으로 각각 다르게 실시하였다.

표 1

구분	C	Mn	Si	Cr	P	S	B	Ti	나머지
POS10B35	0.35	0.49	0.19	0.19	0.008	0.002	0.0021	0.002	잔부 Fe 및 불가피한 불순물
S35C	0.37	0.49	0.17	0.20	0.010	0.003	-	-	

표 2

[0050]

강재	이상영역 어닐링		퀀칭	분배	구분
	온도(℃)	유지시간(초)	온도(℃)	유지시간(초)	
POS10B35	760	600	280	300	발명예1
POS10B35	735	1000	320	300	발명예2
POS10B35	680	300	320	300	비교예1
POS10B35	760	600	200	300	비교예2
S35C	760	600	280	300	비교예3
S35C	735	1000	320	300	비교예4

[0051]

상기 표 2에 나타난 바와 같이, 발명예 1 및 2는 보론(B) 첨가 고탄소강을 이용하여 본 발명에서 제안하는 열처리 공정을 적용한 경우로서, 이때 발명예 1은 발명예 2에 비해 페라이트 분율이 상대적으로 적고, 마르텐사이트 분율이 높은 미세조직의 형성을 목적으로 이상영역 어닐링시 유지시간을 600초로 설정하였다.

[0052]

또한, 비교예 1 및 2는 발명예들과 동일한 강재를 이용하였지만, 각각 이상영역 어닐링 온도가 낮거나, 퀀칭 온도가 낮아 본 발명에서 제안하는 열처리 공정시의 조건을 만족하지 않는 경우이며, 비교예 3 및 4는 열처리 공정은 본 발명에서 제안하는 바를 만족하지만, 적용된 강재가 보론(B)이 미첨가된 일반 고탄소강을 사용한 경우이다.

[0053]

상기 각각의 강재에 대하여 인장시험을 실시하여 인장강도 및 연신율을 측정하였으며, 각각의 미세조직을 관찰하여 그 결과를 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

[0054]

구분	인장강도(MPa)	연신율(%)	미세조직
발명예1	1123	12.8	페라이트+마르텐사이트+잔류 오스테나이트
발명예2	985	15.2	페라이트+마르텐사이트+잔류 오스테나이트
비교예1	935	8.7	페라이트+펄라이트+마르텐사이트
비교예2	872	10.1	페라이트+마르텐사이트
비교예3	886	9.3	페라이트+펄라이트+마르텐사이트
비교예4	726	16.3	페라이트+마르텐사이트+잔류오스테나이트

[0055]

상기 표 3에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따라 제조된 발명예 1 및 2는 충분한 잔류 오스테나이트가 확보되어 강도 및 연성의 조합이 우수한 것을 확인할 수 있다. 특히, 발명예 1은 이상영역 어닐링시 유지시간을 600초로 설정한 경우이고, 발명예 2는 이상영역 어닐링시 유지시간을 1000초로 설정한 경우로서, 각각의 인장강도가 1123MPa, 985MPa로 측정되었다. 이러한 결과를 통해, 이상영역 어닐링시의 조건을 조절하여 형성되는 페라이트와 마르텐사이트의 분율을 조절함으로써 제조되는 강재의 강도수준을 용이하게 제어할 수 있다.

[0056]

이에 반면, 비교예 1은 이상영역 어닐링시의 온도가 너무 낮은 경우로서, 펄라이트가 생성되어 강 중의 탄소가 탄화물 형성에 소모됨에 따라 잔류 오스테나이트의 생성이 이루어지지 못하였으며, 이로 인해 강도 및 연성의 조합이 작게 나타났다.

[0057]

비교예 2는 이상영역 어닐링 이후 급냉이 과도하여 분배 공정이 Mr~Ms 범위에서 이루어지지 못한 경우로서, 페라이트의 형성은 충분하였으나 이후 과도한 급냉에 의해 오스테나이트가 모두 마르텐사이트로 변태되어 잔류 오스테나이트의 형성이 이루어지지 않았다. 이에 따라, 강도 및 연성이 모두 낮게 나타났다.

[0058]

비교예 3은 보론(B) 첨가 고탄소강이 아닌 일반 고탄소강을 이용한 경우로서, 본 발명에 따른 이상영역 어닐링에 의해 페라이트의 형성은 충분하였으나, 모재 자체의 특성으로 인해 경화능이 작아 후속되는 급냉 공정에서 펄라이트가 생성되어 강 중의 탄소가 탄화물로의 형성에 소모되었다. 이에 따라, 잔류 오스테나이트 형성이 이루어지지 못하였으며, 그 결과 강도 및 연성이 모두 낮게 나타났다. 일반 고탄소강의 낮은 경화능은 도 2의 TTT

곡선의 노즈(nose)를 기준으로 확인할 수 있는데, 도 2에 나타낸 바와 같이 일반 고탄소강의 경화능이 보론(B) 첨가 고탄소강에 비해 약 1/10 수준의 경화능을 보임을 알 수 있다.

[0059] 비교예 4도 보론(B) 첨가 고탄소강이 아닌 일반 고탄소강을 이용한 경우로서, 이상영역 어닐링의 조건이 본 발명을 만족하기는 하지만 모재 자체의 특성으로 인해 페라이트가 너무 과다하게 생성되었다. 이에 따라, 연성은 우수한 결과를 보였으나, 충분한 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트가 형성되지 못하여 강도가 750MPa 이하로 낮게 측정되었다.

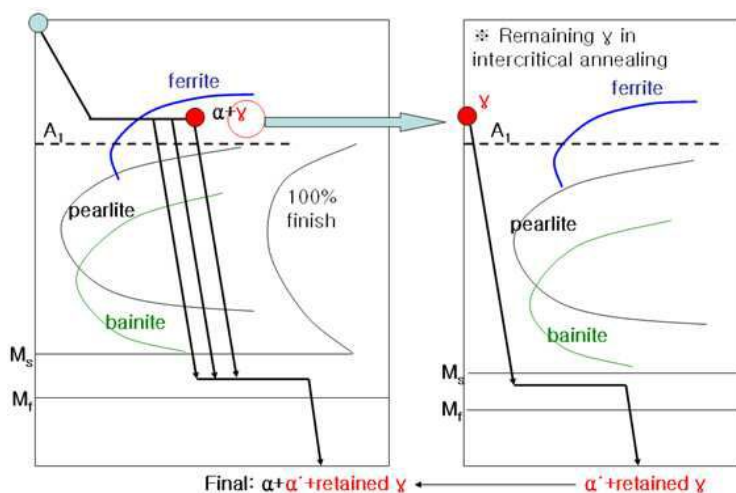
[0060] 또한, 상기 발명에 1의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 결과를 도 3에 나타내었다. 도 3에 나타낸 바와 같이, 페라이트, 마르텐사이트 및 잔류 오스테나이트 상이 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 다만, 퀴칭 후 분배 공정에서 마르텐사이트가 약간 템퍼링(tempering)되어 템퍼링 마르텐사이트가 소량 존재하였다.

[0061] 그리고, 사용된 각각의 강재의 상변태 온도를 딜라토미터(Dilatometer)로 측정한 결과, 보론(B) 첨가 고탄소강(POS10B35)의 M_s 온도는 357°C, M_f 온도는 217°C 였으며, 일반 고탄소강(S35C)의 M_f 온도는 358°C, M_s 온도는 222°C로 측정되었다.

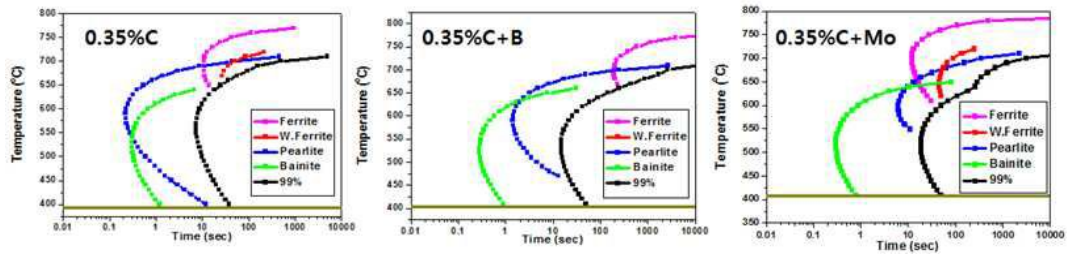
[0062] 또한, 앞에서도 언급하였듯이 A_1 온도는 철강재에서 727°C로 볼 수 있으며, 각 강재의 페라이트 생성온도는 열역학적으로는 A_3 선이지만, 실제로는 Kinetics에 의해 좌우되므로 유지시간에 따라 다르게 나타난다. 따라서, 발명예와 비교예의 유지시간에 따른 페라이트 임계 생성온도는 도 2에서 확인할 수 있다. 도 2에서 보론(B) 첨가 고탄소강(POS10B35)의 페라이트 생성온도 영역은 약 700°C 이상으로, 이 온도에서는 펄라이트 등의 다른 상이 생성되지 않으면서 초석 페라이트 상이 생성될 수 있다. 다만, 775°C 이상의 온도에서는 생성 Kinetics가 매우 느리기 때문에, 적절한 분율의 초석 페라이트 생성을 위해서는 그 이하의 온도에서 유지하여야 함을 알 수 있다. 이에 반면, 일반 고탄소강(S35C)의 경우에는 페라이트와 펄라이트 생성 Kinetics가 매우 빠르기 때문에, 초기 이상영역 어닐링(Inter-critical annealing) 단계에서 적정량의 초석 페라이트 생성은 가능하나, 초석 페라이트 생성 이후, 냉각공정에서 임계 냉각속도를 얻지 못하고 강 중에 펄라이트가 형성되어 탄소가 잔류 오스테나이트에 농축되지 못하고 탄화물로 소모될 가능성이 큼을 알 수 있다.

도면

도면1



도면2



도면3

