



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0025841
(43) 공개일자 2020년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/04 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/04 (2013.01)
C21D 8/0226 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0103778

(22) 출원일자 2018년08월31일

심사청구일자 2018년08월31일

(71) 출원인

주식회사 포스코

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자

문동준

경상북도 포항시 북구 대이로176번길 15(득량동,
경성홈타운1차아파트) 101동 1501호

손정수

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261(괴동동) 동
촌생활관 1동 334호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인세립

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재, 이를 이용한 가공품 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재, 이를 이용한 가공품 및 그 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재는 중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하고, 미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함하며, 상기 베이나이트의 평균 레스폭은 3 μ m 이하, 패킷 사이즈는 10 μ m이하이며, 상기 베이나이트 레스 사이에 위치하는 탄화물의 평균 사이즈는 0.1 μ m이하이다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/0263 (2013.01)

C22C 38/001 (2013.01)

C22C 38/02 (2013.01)

C22C 38/06 (2013.01)

C22C 38/14 (2013.01)

C22C 38/38 (2013.01)

C21D 2211/002 (2013.01)

(72) 발명자

박인규

경상북도 포항시 북구 우창로 20(우현동, 신동아베르디1차) 202동2102호

민세홍

경상북도 포항시 남구 인덕로 71(인덕동, 소망아파트) 6동 407호

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하고,

미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함하며, 상기 베이나이트의 평균 레스폭은 $3\mu\text{m}$ 이하, 패킷 사이즈는 $10\mu\text{m}$ 이하이며,

상기 베이나이트 레스 사이에 위치하는 탄화물의 평균 사이즈는 $0.1\mu\text{m}$ 이하인 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재.

청구항 2

제1항에 있어서,

하기 식(1)로 정의되는 C_{eq} 값이 0.75 내지 0.85인 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재.

$C_{eq}(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

(여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

청구항 3

제2항에 있어서,

Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함하는 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재.

청구항 4

제2항 또는 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

횡단면의 경도편차가 20Hv 이하인 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재.

청구항 5

제2항 또는 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

인장강도가 1000MPa 이상인 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재.

청구항 6

중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하고, 하기 식(1)로 정의되는 C_{eq} 값이 0.75 내지 0.85이며,

미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함하는 강도 및 수소지연파괴저항성이 우수한 가공품.

$C_{eq}(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

(여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

청구항 7

제6항에 있어서,

Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함하는 강도 및 수소지연파괴저항성이 우수한 가공품.

청구항 8

중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하는 빌렛을 900 내지 1100℃에서 가열하고;

상기 가열한 빌렛을 750 내지 900℃에서 마무리 압연하고;

상기 마무리 압연한 빌렛을 30℃/s 이상의 냉각속도로 베이나이트 상온변태온도까지 냉각하고;

상기 냉각된 빌렛을 350 내지 500℃에서 30 내지 300초 동안 상온변태 열처리하고;

상기 열처리한 빌렛을 급냉하는 것을 포함하는 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 선재의 제조방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함하며,

하기 식(1)로 정의되는 Ceq 값이 0.75 내지 0.85인 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재의 제조 방법.

$Ceq(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

(여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 본 발명은 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재, 이를 이용한 가공품 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 자동차용 소재 또는 기계 부품용 소재로 사용하기에 적합한 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재, 이를 이용한 가공품 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기계구조용 또는 자동차 부품 등에 사용되는 구조용강은 대부분 열간 가공 후 재가열, 소입, 소려 공정을 거쳐 강도와 인성을 높인 조질강(Quenching and Tempering Steel)이 사용된다. 한편, 조질강과 달리 비조질강(Non-Heat Treated Steel)은 열간 가공 후 열처리하지 않고도 열처리한 강인 조질강과 유사한 인성과 강도를 얻을 수 있는 강을 의미한다. 비조질강은 미량의 합금을 첨가하여 재질을 만들기 때문에 미세합금강(Micro-Alloyed Steel)이라고도 한다. 통상의 선재 제품은 열간 압연, 냉간 신선, 구상화 열처리, 냉간 신선, 냉간 압조, 급냉 및 소려 공정을 거쳐 최종 제품이 만들어진다. 이와 달리 비조질 선재 제품은 열간 압연, 냉간 신선 및 냉간 압조의 공정을 거쳐 최종 제품이 만들어진다. 이와 같이, 비조질 선재는 기존의 조질 선재 제조 시에 수반되는 열처리 공정을 생략하여 소재의 제조단가를 낮추어 경제성이 우수하며, 최종 급냉 및 소려 단계를 진행하지 않기 때문에 열처리에 의한 결함을 보완할 수 있어 많은 제품에 대해 적용되고 있다.

[0003] 선재의 경우 페라이트 또는 펄라이트 조직으로 고강도 및 고인성을 확보하는데에는 한계가 있다. 페라이트 또는 펄라이트 조직을 가지는 소재는 인성은 높은 반면 강도는 상대적으로 낮다. 또한, 강도를 높이기 위하여 냉간 신선을 진행하면 고강도를 얻을 수 있으나, 인성이 강도 상승에 비례하여 급격하게 떨어지는 문제가 있다.

[0004] 이에 따라 일반적으로 고강도와 고인성을 동시에 구현하기 위해서는 베이나이트 조직이나 템퍼드 마르텐사이트 조직을 이용한다. 베이나이트 조직은 열간압연한 강재에 대해 연속 냉각을 진행하여 얻을 수 있으며, 템퍼드 마르텐사이트 조직은 담금질 및 뜨임 열처리를 진행하여 얻을 수 있다. 그러나, 통상의 열간압연 및 연속냉각 공정만으로는 균질한 조직을 안정적으로 얻을 수 없기 때문에 고강도에서 수소지연파괴 저항성을 확보하는데 한계가 있다.

[0005] 이에 따라서, 균질한 베이나이트 조직을 안정적으로 얻을 수 있는 고강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 선

재 개발에 대한 요구가 지속되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 선재, 이를 이용한 가공품 및 선재의 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재는 중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하고, 미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함하며, 상기 베이나이트의 평균 레스폭은 $3\mu\text{m}$ 이하, 패킷 사이즈는 $10\mu\text{m}$ 이하이며, 상기 베이나이트 레스 사이에 위치하는 탄화물의 평균 사이즈는 $0.1\mu\text{m}$ 이하이다.

[0008] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하기 식(1)로 정의되는 C_{eq} 값이 0.75 내지 0.85일 수 있다.

[0009] $C_{eq}(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

[0010] (여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

[0011] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 횡단면의 경도편차가 20Hv 이하일 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 인장강도가 1000MPa 이상일 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 가공품은, 중량%로 C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하고, 하기 식(1)로 정의되는 C_{eq} 값이 0.75 내지 0.85이며, 미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함한다.

[0015] $C_{eq}(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

[0016] (여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

[0017] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 선재의 제조방법은, 중량%로 C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함하는 빌렛을 900 내지 1100℃에서 가열하고, 상기 가열한 빌렛을 750 내지 900℃에서 마무리 압연하고, 상기 마무리 압연한 빌렛을 30℃/s 이상의 냉각속도로 베이나이트 상온변태온도까지 냉각하고, 상기 냉각된 빌렛을 350 내지 500℃에서 30 내지 300초 동안 항온변태 열처리하고, 상기 열처리한 빌렛을 급냉하는 것을 포함한다.

[0019] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함하며, 하기 식(1)로 정의되는 C_{eq} 값이 0.75 내지 0.85일 수 있다.

[0020] $C_{eq}(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)

[0021] (여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)

발명의 효과

[0022] 본 발명의 실시예에 따르면 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재, 이를 이용한 가공품을 제공할 수 있다. 또한, 종래의 추가적인 열처리 공정을 생략할 수 있어 제조비용의 절감이 가능하다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하에서는 본 발명의 실시 예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 이하의 실시 예는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상을 충분히 전달하기 위해 제시하는 것이다. 본 발명은 여기서 제시한 실시 예만으로 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 도면은 본 발명을 명확히 하기 위해 설명과 관계 없는 부분의 도시를 생략하고, 이해를 돕기 위해 구성요소의 크기를 다소 과장하여 표현할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재는 중량%로, C: 0.005 내지 0.15%, Si: 0.8% 이하, Mn: 3.0 내지 5.0%, Cr: 1.0% 이하, Al: 0.01 내지 0.05%, Ti: 0.005 내지 0.050%, B: 0.0005 내지 0.0050%, P: 0.030% 이하, S: 0.030% 이하, N: 0.01% 이하를 포함하며, 나머지는 Fe 및 기타 불순물을 포함한다.
- [0025] 이하, 본 발명에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재 및 이를 이용한 가공품에 포함되는 각 성분의 역할 및 그 함량에 대해 설명하면 다음과 같다, 하기 성분에 대한 %는 중량%를 의미한다.
- [0026] C(탄소)의 함량은 0.005 내지 0.15% 이하이다.
- [0027] C는 강도를 확보하기 위한 필수적인 원소로, 강 중에 고용되거나 탄화물 또는 세멘타이트 형태로 존재한다. 강도의 증가를 위해서는 탄소 함량을 증가시켜 탄화물이나 세멘타이트를 형성시켜야 하지만, 이러한 경우 연성과 충격인성은 감소하기 때문에 일정한 범위 내로 탄소의 첨가량을 제한할 필요가 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 C의 함량이 0.005% 미만이면 목표하는 강도를 얻기 힘들고, C의 함량이 0.15%를 초과하면 수소지연과괴 저항성이 급격히 감소할 수 있다. 이에, 본 발명의 일 실시예에 의하면 C의 함량은 0.005 내지 0.15%로 한다.
- [0028] Si(실리콘)의 함량은 0.8% 이하이다.
- [0029] Si는 첨가 시 페라이트에 고용되어 강의 고용 강화를 통한 강도 증가에 효과가 크다. 그러나, Si 첨가에 의해 강도는 크게 증가하지만 연성과 충격 인성은 급격히 감소하기 때문에 충분한 연성을 필요로 하는 냉간 단조 부품의 경우 Si 첨가를 제한한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 냉간 단조성이 열위해지는 것을 방지하기 위하여 Si 함량을 0.8% 이하로 한다.
- [0030] Mn(망간)의 함량은 3.0 내지 5.0% 이하이다.
- [0031] Mn은 강의 강도를 증가시키고, 경화능을 향상시켜 넓은 범위의 냉각속도에서 베이나이트 또는 마르텐사이트와 같은 저온조직의 형성을 용이하게 한다. 그러나 Mn 함량인 3.0% 미만인 경우에는 경화능이 충분하지 못해 열간 압연 후 냉각공정에서 페라이트 및 펄라이트의 고온상이 생성될 우려가 있다. 또한, 5.0%를 초과하면 경화능이 높아 베이나이트 온도영역이 감소하여 항온변태열처리에 불리한 조건이 형성된다. 이에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따르면 Mn의 함량을 3.0 내지 5.0% 이하로 한다.
- [0032] Cr(크롬)의 함량은 1.0% 이하이다.
- [0033] Cr은 강의 강도와 경화능을 증가시킨다. Cr 함유량이 1.0% 이상이면 경화능 향상 및 고용강화 효과로 강도는 증가하지만, 충격인성이 저하될 수 있다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따르면 Cr 함량을 1.0% 이하로 한다.
- [0034] Al(알루미늄)의 함량은 0.01 내지 0.05% 이하이다.
- [0035] Al은 탈산제로 유용하게 작용하는 원소로써, 0.01% 이상 첨가한다. 다만, Al은 강 중의 산소와 반응하여 산화성 개재물을 형성하는 원소로 선가공 중 개재물로 인해 크랙이 발생하여 단선을 유발할 수 있는 원소이다. 이에 Al의 상한은 0.05%로 한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 Al의 함량은 0.01 내지 0.05%로 한다.
- [0036] Ti(티타늄)의 함량은 0.005 내지 0.050% 이하이다.
- [0037] Ti는 질소와의 반응성이 가장 큰 원소로 제일 먼저 질화물을 형성한다. Ti 첨가로 TiN을 형성하여 강 중의 질소가 대부분 소진되면 BN의 석출을 막아 붕소가 용해된 상태로 존재할 수 있도록 하여 경화능 향상의 효과를 가진다. 그러나 Ti를 0.005% 미만으로 첨가하면 첨가에 따른 효과가 미흡하다. 이와 반대로 Ti를 0.050%를 초과하도록 첨가하면 조대한 질화물을 형성해 기계적 물성이 열위해질 수 있다. 이에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따르면 Ti의 함량은 0.005 내지 0.050% 이하로 한다.
- [0038] B(붕소)의 함량은 0.0005 내지 0.0050% 이하이다.

- [0039] B는 경화능을 향상시키는 원소로서 오스테나이트 결정립계로 확산되어 냉각 시에 페라이트의 생성을 억제하고, 베이나이트 또는 마르텐사이트 형성을 용이하게 한다. 그러나 B가 0.0005% 미만으로 첨가되면 위와 같은 효과가 나타나지 않으며, 이와 반대로 0.0050%를 초과하여 첨가하면 더 이상의 효과 상승이 없으며 결정립계에 보론계 질화물이 석출되어 입계 강도를 저하시켜 열간가공성을 저하시킨다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따르면 B의 함량은 0.0005 내지 0.0050%로 한다.
- [0040] P(인)의 함량은 0.030%이하이다.
- [0041] P는 결정립계에 편석되어 인성을 저하시키고 지연파괴 저항성을 감소시키는 원소이다. 이에 첨가하지 않는 것이 이상적이나, 제조공정상 첨가될 수 밖에 없기 때문에 그 상한을 0.030%로 한다.
- [0042] S(황)의 함량은 0.030% 이하이다.
- [0043] S는 결정입계에 편석되어 인성을 저하시키고 저융점 유해물을 형성시켜 열간 압연을 저해한다. 이에 첨가하지 않는 것이 이상적이나, 제조공정상 첨가될 수 밖에 없기 때문에 그 상한을 0.030%로 한다.
- [0044] N(질소)의 함량은 0.01% 이하이다.
- [0045] N은 B가 용해된 상태로 유지되어 경화능 향상 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 하기 위해 그 상한을 0.01%로 제한한다.
- [0046] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의하면 하기 식(1)로 정의되는 Ceq 값이 0.75 내지 0.85이다.
- [0047] $Ceq(\%) = [C] + [Mn]/5 + [Cr]/9$ ----- 식(1)
- [0048] (여기서, [C], [Mn], [Cr]는 각각 C, Mn, Cr의 중량%를 의미한다.)
- [0049] Ceq 가 0.75보다 작은 경우에는 C, Mn의 함량이 작은 경우로 고강도의 강을 얻을 수 없다. 이와 반대로 Ceq 가 0.85보다 큰 경우에는 수소지연파괴 저항성이 감소할 수 있다는 문제가 있다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따르면 Ceq 의 함량은 0.75 내지 0.85로 한다.
- [0050] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의하면 Nb: 0.1% 이하, V: 0.2% 이하, Mo: 0.5% 이하 중에서 적어도 하나를 더 포함한다.
- [0051] Nb(니오븀)의 함량은 0.1% 이하이다.
- [0052] Nb는 V와 같이 탄화물 및 탄질화물을 형성하여 오스테나이트 및 페라이트의 입계 이동을 제한하는 역할을 하는 원소이다. 다만, 탄질화물은 파괴 기점으로 작용하여 저온 인성을 저하시킬 수 있으므로 용해도 한계를 지켜 첨가하는 것이 바람직하다. Nb의 함량이 0.1%를 초과하게 되면 고용한계를 넘어 조대한 석출물을 형성한다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따르면 Nb의 함량은 0.1% 이하로 한다.
- [0053] V(바나듐)의 함량은 0.2% 이하이다.
- [0054] V는 Nb와 마찬가지로 탄화물 및 탄질화물을 형성하여 오스테나이트 및 페라이트의 입계 이동을 제한하는 역할을 하는 원소이다. 다만, 탄질화물은 파괴 기점으로 작용하여 저온 인성을 저하시킬 수 있으므로 용해도 한계를 지켜 첨가하는 것이 바람직하다. V의 함량이 0.2%를 초과하게 되면 고용한계를 넘어 조대한 석출물을 형성한다. 이에 따라 본 발명의 일 실시예에 따르면 V의 함량은 0.2% 이하로 한다.
- [0055] Mo(몰리브덴)의 함량은 0.5% 이하이다.
- [0056] Mo는 경화능 향상 및 입계 산화 억제에 효과적인 원소로, 탄화물을 형성하는 원소이다. 다만, Mo를 과다하게 첨가할 경우 오스테나이트화 열처리 시 모두 용해되지 않고, 조대한 Mo 탄화물이 형성되어 기계적 물성이 저하되거나 다른 종류의 탄화물이 형성될 수 있다. 이에 본 발명의 일 실시예에 따르면 Mo의 함량은 0.5%로 한정한다.
- [0057] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재는 미세조직으로 면적분율로 95% 이상의 베이나이트를 포함한다. 면적분율로 95% 이상의 베이나이트 조직을 형성하기 위하여 강재를 열간압연 및 급냉 후, 항온변태 온도 및 시간을 조절할 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연파괴 저항성이 우수한 비조질 선재는 베이나이트의 평균 래스폭은 $3\mu m$ 이하, 패킷 사이즈는 $10\mu m$ 이하이며, 베이나이트 래스 사이에 위치하는 탄화물의 평균 사이즈는 $0.1\mu m$ 이하이다. 평균 래스폭이 $3\mu m$ 를 초과하거나, 패킷 사이즈가 $10\mu m$ 를 초과하는 경우에는 인성이 열위할 수 있다. 또한, 탄화물의 평균 사이즈가 $0.1\mu m$ 를 초과하는 경우에는 탄화물이 수소 트랩을 하지 못하여 수소지연파괴 저

항성이 저하될 수 있다. 여기에서, 패킷은 래스의 집합체인 블록이 평행하게 늘어선 결정단위를 의미한다. 패킷 사이즈는 광학 현미경 혹은 주사형 전자 현미경에 의해 패킷 입자 지름을 관찰하고 화상을 해석하여 측정한다.

[0059] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재의 횡단면의 경도편차는 20Hv 이하일 수 있다.

[0060] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 비조질 선재의 인장강도는 1000MPa 이상일 수 있다.

[0061] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 선재의 제조방법에 대해 설명한다.

[0062] 상술한 성분계를 만족하는 빌렛을 가열한다. 빌렛의 가열은 900 내지 1100℃에서 진행된다.

[0063] 가열한 빌렛을 750 내지 900℃에서 마무리 압연한다.

[0064] 마무리 압연한 빌렛을 30℃/s 이상의 냉각속도로 베이나이트 항온변태온도까지 냉각한다. 냉각속도가 30℃/s 미만인 경우에는 페라이트-펄라이트 조직 혹은 미세 베이나이트 조직이 형성되어 인성 및 수소지연과괴 저항성을 저하시킬 수 있다. 항온변태온도는 350 내지 500℃이다. 항온변태온도가 350℃ 미만인 경우에는 마르텐사이트 경조직이 형성될 수 있다. 이와 반대로 항온변태온도가 500℃를 초과하는 경우에는 미세 베이나이트 조직이 형성될 수 있다. 이와 같이 항온변태온도가 350℃ 미만이거나 500℃를 초과하는 경우에는 인성 및 수소지연과괴 저항성이 저하된다.

[0065] 냉각된 빌렛을 350 내지 500℃에서 30 내지 300초 동안 항온변태 열처리 한다. 항온변태 열처리를 유지하는 시간이 30초 미만인 경우에는 베이나이트 조직이 충분히 형성되기 어렵다. 이와 반대로 항온변태 열처리를 유지하는 시간이 300초를 초과하는 경우에는 변태하여 생성되는 베이나이트 조직 분율이 커질 수 있으나, 생산성이 저하된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 Mn을 3% 이상 첨가하는 경우에 베이나이트 변태가 촉진된다. 또한 항온변태 열처리를 30 내지 300초 이상 유지하는 경우 면적분율로 95% 이상의 균질한 베이나이트 조직을 얻을 수 있다.

[0066] 열처리한 빌렛을 급냉한다.

[0067] 이와 같이, 항온변태온도 영역에서 항온변태시간 제어를 통해 면적 분율로 95% 이상의 강도 및 수소지연과괴 저항성이 우수한 베이나이트 미세조직을 가지는 선재를 제조할 수 있다.

[0068] 이하, 실시예들을 통하여 본 발명을 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본 발명을 예시하여 보다 상세하게 설명하기 위한 것일 뿐 본 발명의 권리범위가 이들 실시예로 한정되는 것은 아니다.

[0069] 실시예

[0070] 하기 [표 1]의 조성을 가지는 빌렛을 900 내지 1100℃에서 가열하고, 가열한 빌렛을 750 내지 900℃에서 마무리 압연하고, [표 2]의 조건으로 냉각하고, 항온변태 열처리를 진행하였다.

표 1

구분	조성성분(중량%)													Ceq
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Nb	V	Mo	Ti	B	N	
실시예 1	0.02	0.12	4.05	0.010	0.0040	-	0.032	0.02	-	0.24	0.022	0.0020	0.0042	0.843
실시예 2	0.04	0.15	3.54	0.011	0.0045	0.2	0.025	0.03	-	0.13	0.021	0.0018	0.0038	0.781
실시예 3	0.07	0.18	3.36	0.012	0.0053	-	0.036	-	0.005		0.020	0.0015	0.0051	0.762
실시예 4	0.10	0.20	3.18	0.013	0.0051	-	0.022	-	0.003		0.018	0.0014	0.0049	0.758
실시예 5	0.13	0.17	3.07	0.009	0.0048	-	0.031	-	-		0.024	0.0017	0.0046	0.763
비교예 1	0.34	0.25	0.8	0.010	0.0052	1.0	0.034			0.2	-	-	0.0052	0.611
비교예 2	0.34	0.25	0.8	0.010	0.0052	1.0	0.034			0.2	-	-	0.0052	0.611
비교예 3	0.05	0.16	3.21	0.011	0.0053	0.5	0.024	-	-	0.15	0.016	0.0016	0.0055	0.751

비교예 4	0.09	0.19	3.14	0.010	0.0041	0.4	0.036	-	0.01		0.021	0.0018	0.0056	0.772
비교예 5	0.10	0.13	5.15	0.010	0.0030	-	0.0032	-	-	-	0.018	0.0015	0.0058	1.144
비교예 6	0.12	0.22	2.87	0.012	0.0038	0.2	0.028	-	-		0.018	0.0013	0.0047	0.735
비교예 7	0.16	0.23	2.32	0.013	0.0050	0.3	0.024	-	-		0.023	0.0011	0.0050	0.675

[0073] [표 2]에서 실시예 1 내지 5 및 비교예 3 내지 7은 항온변태 열처리를 통해 제조된 비조질강이며, 비교예 1, 비교예 2는 템퍼링 열처리를 통해 제조된 조질강이다. 조질강인 비교예 1, 비교예 2는 880℃에서 60분간 오스테나이트화 처리된 후 유냉하였다. 이후 비교예 1의 경우 420℃에서 90분간 템퍼링 열처리 후 공냉하였다. 비교예 2의 경우 520℃에서 90분간 템퍼링 열처리 후 공냉하였다.

표 2

구분	냉각속도 (℃/s)	항온 변태온도 (℃)	항온 변태시간 (s)	비고
실시예 1	66	480	290	비조질강
실시예 2	51	440	220	
실시예 3	47	400	180	
실시예 4	43	380	120	
실시예 5	32	360	80	
비교예 1	64	-	-	조질강
비교예 2	62	-	-	
비교예 3	24	390	500	비조질강
비교예 4	31	540	280	
비교예 5	22	450	110	
비교예 6	45	470	22	
비교예 7	51	380	180	

[0075] [표 3]은 [표 1], [표 2]의 조건으로 제조된 강재들에 대해 횡단면 경도편차, 베이나이트 분율, 베이나이트 평균 래스 폭, 베이나이트 패킷 크기, 탄화물 평균 크기를 측정하여 나타낸 표이다.

표 3

구분	횡단면 경도편차 (Hv)	베이나이트 면적분율 (%)	베이나이트 래스 크기 (μm)	베이나이트 패킷 크기 (μm)	탄화물 크기 (μm)
실시예1	7	95.4	2.4	9.4	0.02
실시예2	9	96.5	1.6	8.3	0.03
실시예3	13	96.2	1.2	6.1	0.07
실시예4	10	97.6	0.8	5.5	0.05
실시예5	16	98.5	0.7	4.2	0.04
비교예1	17	-	-	-	-
비교예2	15	-	-	-	-
비교예3	23	91.2	1.7	6.3	0.06
비교예4	28	90.3	5.6	16.7	0.7
비교예5	64	52.1	1.4	4.3	0.11
비교예6	33	74.5	2.2	9.2	0.09
비교예7	19	93.4	1.5	5.6	0.12

[표 4]는 각각의 실시예와 비교예에 대해 인장강도 및 수소지연파괴 저항성을 측정하여 나타낸 표이다.

[표 4]에서 인장강도 시험은 crosshead speed를 항복점까지는 0.9mm/min으로 진행하고, 그 이후로는 6mm/min의 속도로 실시하여 측정하였다. 수소지연파괴 시험은 cathodic charging을 이용하여 Cyclic Corrosion Test(이하 CCT)에서 최대로 유입되는 수소량 수준 이상의 수소를 주입하고 수소가 빠져나가는 것을 방지하기 위해 Zn 코팅을 한 후 Constant Loading Test(이하, CLT)를 이용하여 인장응력의 90%의 하중을 부여한 뒤에 파단 시간을 측정하였다. 100시간 이상 버티면 합격 판정하였다. 수소지연파괴 시험에 사용되는 시험편은 시편 지름 6mm, 노치 부 지름 4mm, 노치 반경 0.1mm로 만들었으며, 시험의 편차를 줄이기 위해 동일한 강종으로 5개 이상의 시험편을 만들어 시험하였다.

표 4

구분	0% 신선가공		10% 신선가공		20% 신선가공	
	인장강도 (Mpa)	100시간 내 파단 여부 (CCT 후)	인장강도 (Mpa)	100시간 내 파단 여부 (CCT 후)	인장강도 (Mpa)	100시간 내 파 단 여부 (CCT 후)
실 시 예 1	1014	X	1056	X	1088	X
실 시 예 2	1046	X	1085	X	1134	X
실 시 예 3	1082	X	1148	X	1212	X
실 시 예 4	1121	X	1197	X	1279	X
실 시 예 5	1148	X	1256	X	1367	○
비 교 예 1	1411	○	-	-	-	-
비 교 예 2	1204	X	-	-	-	-
비 교 예 3	1036	X	1089	○	1135	○

비 교 예 4	1092	X	1154	○	1218	○
비 교 예 5	1389	X	1506	X	1632	X
비 교 예 6	1113	X	1203	○	1296	○
비 교 예 7	1186	X	1292	○	1405	○

- [0080] [표 4]에서 실시예 1 내지 실시예 5의 경우 강도가 1000 내지 1280MPa에서 우수한 수소지연파괴 저항성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 조질강인 비교예 1, 비교예 2 대비 동일한 수준의 수소지연파괴 저항성을 보여주는 것을 확인할 수 있다.
- [0081] 조질강인 비교예 2의 경우에는 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 1204MPa의 강도를 가지며 수소지연파괴 저항성이 우수하다. 템퍼링 온도가 비교예 2보다 낮은 비교예 1의 경우 1411MPa의 강도를 가지나 수소지연파괴 저항성이 저하된 것을 확인할 수 있다.
- [0082] 비교예 3의 경우 항온변태 시간이 과도하게 긴 경우로 수소지연파괴 저항성이 저하된 것을 확인할 수 있으며, 비교예 4의 경우 항온변태 온도가 과도하게 높은 경우로 수소지연파괴 저항성이 저하된 것을 확인할 수 있다. 비교예 5의 경우 Mn의 함량이 본원 발명의 실시예를 초과하는 경우로, 초기 강도가 높아 수소지연파괴 저항성이 저하됨을 확인할 수 있다. 비교예 6의 경우 Mn의 함량이 본원 발명의 실시예보다 작으며, 항온변태시간이 짧아 수소지연파괴 저항성이 저하된 것을 확인할 수 있다. 비교예 7의 경우 C의 함량이 과도하며, Mn의 함량이 적은 경우로 수소지연파괴 저항성이 저하된 것을 확인할 수 있다. 특히 비교예 3 내지 7의 경우 신선가공이 적용됨에 따라 실시예 대비 수소지연파괴 저항성이 매우 저하되는 것을 확인할 수 있다.
- [0083] 상술한 바에 있어서, 본 발명의 예시적인 실시예들을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되지 않으며 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 다음에 기재하는 청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변경 및 변형이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.