



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0075643
(43) 공개일자 2020년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) B21B 1/16 (2006.01)
B21B 3/00 (2006.01) B21C 1/02 (2006.01)
C21D 8/06 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)

(52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
B21B 1/16 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0164549
(22) 출원일자 2018년12월18일
심사청구일자 2018년12월18일

(71) 출원인
주식회사 포스코
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자
임남석
경상북도 포항시 남구 지곡로 260(지곡동, 효자그
린아파트) 119동 103호

박인규
경상북도 포항시 북구 우창로 20(우현동, 신동아
베르디1차) 202동2102호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인세림

전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **흑연화 열처리용 선재와 흑연강 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 명세서에서는 산업기계 또는 자동차 등의 기계부품의 소재로 활용이 가능한 흑연강에 관한 것으로서, 상세하게는 흑연화 열처리용 선재와 흑연강 및 그 제조방법을 개시한다.

개시되는 흑연강의 일 실시예에 따르면 흑연강은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하며, 미세조직으로 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있으며, 흑연화율이 100%이다.

$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$

상기 식 (1)에서, [Ti], [N], [B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

(52) CPC특허분류

B21B 3/00 (2013.01)
B21C 1/02 (2013.01)
C21D 8/065 (2013.01)
C22C 38/001 (2013.01)
C22C 38/04 (2013.01)
C22C 38/06 (2013.01)
C22C 38/14 (2013.01)
C21D 2211/009 (2013.01)

(72) 발명자

민세홍

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

이선구

충청북도 청주시 서원구 두꺼비로 53(산남동, 청주산남푸르지오) 113동 504호

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하는 흑연화 열처리용 선재:

$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$

상기 식 (1)에서, [Ti],[N],[B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

청구항 2

제1항에 있어서,

100nm 이하의 크기를 갖는 TiN의 개수가 100 μm^2 당 10개 이상인 흑연화 열처리용 선재.

청구항 3

제1항에 있어서,

필라이트의 면적분율이 95% 이상인 흑연화 열처리용 선재.

청구항 4

제1항에 있어서,

인장강도가 1100MPa 이하인 흑연화 열처리용 선재.

청구항 5

중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하는 빌레트를 제조하는 단계;

상기 빌레트를 재가열하는 단계;

상기 재가열된 빌레트를 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계;

상기 선재를 권취하는 단계; 및

상기 권취된 선재를 냉각하는 단계;를 포함하는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법:

$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$

상기 식 (1)에서, [Ti],[N],[B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 재가열하는 단계는,

1050~1150℃의 온도범위에서 60분 이상 유지하여 열처리하는 것을 포함하는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계는,

900~1000℃의 온도범위에서 열간 압연하는 것을 포함하는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 권취하는 단계는,

800℃ 이상의 온도범위에서 권취하는 것을 포함하는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 냉각하는 단계는,

0.2~5.0℃/s의 냉각속도로 600℃까지 냉각하는 것을 포함하는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법.

청구항 10

중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하며,

미세조직으로, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있으며, 흑연화율이 100%인 흑연강:

$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$

상기 식 (1)에서, [Ti],[N],[B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 흑연립의 평균 결정립 크기는 10 μ m 이하인 흑연강.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 흑연립의 종횡비(장축/단축)가 2.0 이하인 흑연강.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 흑연립이 면적분율로 2.0% 이상으로 분포되어 있는 흑연강.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 흑연립이 1000개/mm² 이상의 밀도로 분포되어 있는 흑연강.

청구항 15

제10항에 있어서,

경도값이 70~85 HRB인 흑연강.

청구항 16

중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N):

0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하는 선재를 제조하는 단계; 및

상기 제조된 선재를 냉간 신선하는 단계;를 수행한 다음,

흑연화 열처리하는 단계;를 포함하는 흑연강의 제조방법:

$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$

상기 식 (1)에서, [Ti],[N],[B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 냉간 신선하는 단계는,

감면율 10~20%로 냉간 신선하는 것을 포함하는 흑연강의 제조방법.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 흑연화 열처리하는 단계는,

740~780℃의 온도범위에서 2시간 이내로 열처리하는 것을 포함하는 흑연강의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산업기계 또는 자동차 등의 기계부품의 소재로 활용이 가능한 흑연강에 관한 것으로서, 상세하게는 흑연화 열처리용 선재와 흑연강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 피삭성이 요구되는 기계 부품 등의 소재로는 Pb, Bi, S 등의 피삭성 부여 원소를 첨가한 쾌삭강이 이용된다. 가장 대표적인 쾌삭강인 Pb 첨가 쾌삭강의 경우에는 절삭 작업시 유독성 폼(fume) 등의 유해 물질을 배출하므로 인체에 아주 해로우며 강재의 재활용에도 아주 불리한 문제가 있다.

[0003] 이러한 문제로 Pb 첨가 쾌삭강을 대체 하기 위하여, S, Bi, Te, Sn 등의 첨가가 제안되었으나, Bi를 첨가한 강재는 제조시에 균열 발생이 용이하여 생산이 매우 까다로운 문제가 있고, S, Te 및 Sn 등도 열간 압연시 균열 발생을 야기한다는 점에서 문제가 있다.

[0004] 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 흑연강이 제안되었으나, 강에 탄소를 첨가하면 흑연이 안정상임에도 불구하고, 준안정상인 세멘타이트로 석출되어 별도의 수십 시간 이상의 장시간 열처리 없이는 흑연을 석출시키는 것이 곤란하며, 이와 같은 장시간의 열처리 과정에서 탈탄이 일어나 최종 제품의 성능에 악영향을 미치는 폐해가 발생한다.

[0005] 뿐만 아니라, 흑연화 열처리를 통해 흑연립을 석출시켰다고 하더라도 강의 기지 내 흑연이 조대하게 석출될 경우 균열이 발생할 가능성이 높아지게 되며, 구형이 아닌 불규칙한 형상으로 불균일하게 분포하고 있을 경우 절삭시 물성 분포가 불균일하여 칩처리성이나 표면 조도가 매우 나빠지게 되며, 공구 수명 또한 단축되어 흑연강의 장점을 얻기 어려운 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1125894호 (공고일자: 2012년03월21일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 상술한 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축하면서도, 열처리 시 미세 흑연립이 기지 내에 균일하게 분포되도록 할 수 있는 흑연화 열처리용 선재와 흑연장 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 예에 따른 흑연화 열처리용 선재는 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족한다.

[0009] (1) $-0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$

[0010] 상기 식 (1)에서, [Ti], [N], [B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

[0011] 또한, 100nm 이하의 크기를 갖는 TiN의 개수가 $100\mu\text{m}^2$ 당 10개 이상일 수 있다.

[0012] 또한, 펄라이트의 면적분율이 95% 이상일 수 있다.

[0013] 또한, 인장강도가 1100MPa 이하일 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 일 예에 따른 흑연화 열처리용 선재의 제조방법은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하는 빌레트를 제조하는 단계, 상기 빌레트를 재가열하는 단계, 상기 재가열된 빌레트를 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계, 상기 선재를 권취하는 단계 및 상기 권취된 선재를 냉각하는 단계를 포함한다.

[0015] (1) $-0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$

[0016] 상기 식 (1)에서, [Ti], [N], [B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

[0017] 또한, 상기 재가열하는 단계는 1050~1150°C의 온도범위에서 60분 이상 유지하여 열처리하는 것을 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계는 900~1000°C의 온도범위에서 열간 압연하는 것을 포함할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 권취하는 단계는 800°C 이상의 온도범위에서 권취하는 것을 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 냉각하는 단계는 0.2~5.0°C/s의 냉각속도로 600°C까지 냉각하는 것을 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 다른 일 예에 따른 흑연장은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하며, 미세조직으로 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있으며, 흑연화율이 100%이다.

[0022] (1) $-0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$

[0023] 상기 식 (1)에서, [Ti], [N], [B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.

[0024] 또한, 상기 흑연립의 평균 결정립 크기는 10 μm 이하일 수 있다.

[0025] 또한, 상기 흑연립의 종횡비(장축/단축)가 2.0 이하일 수 있다.

[0026] 또한, 상기 흑연립이 면적분율로 2.0% 이상으로 분포되어 있을 수 있다.

[0027] 또한, 상기 흑연립이 1000개/mm² 이상의 밀도로 분포되어 있을 수 있다.

- [0028] 또한, 경도값이 70~85 HRB 일 수 있다.
- [0029] 본 발명의 다른 일 예에 따른 흑연강의 제조방법은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 (1)을 만족하는 선재를 제조하는 단계 및 상기 제조된 선재를 냉간 신선하는 단계를 수행한 다음, 흑연화 열처리하는 단계를 포함한다.
- [0030] (1) $-0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$
- [0031] 상기 식 (1)에서, [Ti], [N], [B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.
- [0032] 또한, 상기 냉간 신선하는 단계는 감면율 10~20%로 냉간 신선하는 것을 포함할 수 있다.
- [0033] 또한, 상기 흑연화 열처리하는 단계는 740~780℃의 온도범위에서 2시간 이내로 열처리하는 것을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0034] 본 발명은 흑연화를 촉진하는 합금조성과 흑연립 생성의 핵으로 작용하는 TiN을 활용하여 흑연화를 촉진할 수 있으며, 적절한 감면율의 냉간 신선을 통해 격자 결함을 유도하여 흑연화를 더욱 촉진할 수 있으므로, 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축할 수 있다.
- [0035] 또한, 본 발명은 흑연화 후에 미세한 흑연립이 기지 내에 균일하게 분포하는 흑연강을 제공할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하에서는 본 발명의 바람직한 실시형태들을 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시형태는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술사상이 이하에서 설명하는 실시형태로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시형태는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다.
- [0037] 본 출원에서 사용하는 용어는 단지 특정한 예시를 설명하기 위하여 사용되는 것이다. 때문에 가령 단수의 표현은 문맥상 명백하게 단수여야만 하는 것이 아닌 한, 복수의 표현을 포함한다. 덧붙여, 본 출원에서 사용되는 "포함하다" 또는 "구비하다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 기능, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 명확히 지칭하기 위하여 사용되는 것이지, 다른 특징들이나 단계, 기능, 구성요소 또는 이들을 조합한 것의 존재를 예비적으로 배제하고자 사용되는 것이 아님에 유의해야 한다.
- [0038] 한편, 다르게 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진 것으로 보아야 한다. 따라서, 본 명세서에서 명확하게 정의하지 않는 한, 특정 용어가 과도하게 이상적이거나 형식적인 의미로 해석되어서는 안 된다. 가령, 본 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0039] 또한, 본 명세서의 "약", "실질적으로" 등은 언급한 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본 발명의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0040] 흑연강은 강에 탄소를 첨가하면 흑연이 안정상임에도 불구하고, 준안정상인 세멘타이트로 석출되어 별도의 수습 시간 이상의 장시간 열처리 없이는 흑연을 석출시키는 것이 곤란하며, 이와 같은 장시간의 열처리 과정에서 탈탄이 일어나 최종 제품의 성능에 악영향을 미치는 폐해가 발생한다.
- [0041] 뿐만 아니라, 흑연화 열처리를 통해 흑연립을 석출시켰다고 하더라도 강의 기지 내 흑연이 조대하게 석출될 경우 균열이 발생될 가능성이 높아지게 되며, 구형이 아닌 불규칙한 형상으로 불균일하게 분포하고 있을 경우 절삭시 물성 분포가 불균일하여 칩처리성이나 표면 조도가 매우 나빠지게 되며, 공구 수명 또한 단축되어 흑연강의 장점을 얻기 어려운 문제점이 있다.
- [0042] 상술한 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축하면서도, 열처리 시 미세 흑연립이 기지 내에 균일하게 분포되도록 할 수 있는 흑연화 열처리용 선재와 흑연강 및 그 제조방법을 제공하고자 한다.
- [0043] 본 발명의 일 측면에 따르면, 흑연화 열처리용 선재는 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망

간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함한다.

- [0044] 한편, 상기 흑연화 열처리용 선재를 동일한 합금조성을 가진 흑연강으로 제조하기 때문에 흑연강의 합금조성을 한정된 이유에 대한 설명은 중복되므로 생략하나, 당해 기술분야의 통상의 기술자가 명확히 이해할 수 있는 범위에서 흑연화 열처리용 선재의 합금조성을 한정된 이유와 마찬가지로 동일하게 해석될 수 있다.
- [0045] 이하에서는 상기 합금조성에 대해서 한정된 이유에 대하여 구체적으로 설명한다. 하기 성분조성은 특별한 기재가 없는 한 모두 중량%를 의미한다.
- [0046] 탄소(C): 0.6~0.9중량%
- [0047] 탄소는 흑연립을 형성하기 위해 필수적인 원소이다. 상기 탄소의 함량이 0.6중량% 미만인 경우에는 피삭성 향상 효과가 미흡하며, 흑연화 완료 시에도 흑연립의 분포가 불균일하다.
- [0048] 반면, 그 함량이 0.9중량%를 초과하여 과다한 경우 흑연립이 조대하게 생성되고 중횡비가 커져 절삭성 특히 표면 조도가 저하될 우려가 있다. 따라서, 본 발명에서 탄소 함량은 0.6~0.9중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0049] 실리콘(Si): 2.0~2.5중량%
- [0050] 실리콘은 용강 제조시 탈산제로서 필요한 성분이며, 강 중 세멘타이트를 불안정하게 하여 탄소가 흑연으로 석출될 수 있도록 하는 흑연화 촉진 원소이기 때문에 적극 첨가한다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 2.0중량% 이상 포함하는 것이 바람직하다.
- [0051] 반면, 그 함량이 2.5중량%를 초과하여 과다한 경우 흑연화 촉진 효과가 포화될 뿐만 아니라, 고용강화 효과로 인해 경도가 증가하여 절삭 시 공구마모가 가속화되며, 비금속 개재물의 증가에 따른 취성을 유발하고, 열간 압연시 과도한 탈탄을 유발할 우려가 있다. 따라서, 본 발명에서 실리콘 함량은 2.0~2.5중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0052] 망간(Mn): 0.1~0.6중량%
- [0053] 망간은 강재의 강도 및 충격 특성을 향상시키며, 강 중 황과 결합하여 MnS 개재물을 형성하여 절삭성 향상에 기여한다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.1중량% 이상 포함되는 것이 바람직하다.
- [0054] 반면, 그 함량이 0.6중량%를 초과하여 과다한 경우 흑연화를 저해하여 흑연화 완료 시간이 지연될 우려가 있고 강도 및 경도를 상승시켜 절삭성을 저하시킬 수 있다. 따라서, 본 발명에서 망간 함량은 0.1~0.6중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0055] 인(P): 0.015중량% 이하
- [0056] 인은 불가피하게 함유되는 불순물이다. 비록 인은 강은 입계를 취약하게 하여 절삭성에 어느 정도 도움을 주기도 하나, 상당한 고용강화 효과에 의해 페라이트의 경도를 증가시키고, 강재의 인성 및 지연파괴 저항성을 감소시키고, 표면 결함의 발생을 조장하므로, 그 함량을 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다.
- [0057] 이론상 인의 함량은 0중량%로 제어하는 것이 유리하나, 제조 공정상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서 그 상한을 관리하는 것이 중요하며, 본 발명에서는 인의 상한을 0.015중량%로 관리한다.
- [0058] 황(S): 0.03중량% 이하
- [0059] 황은 MnS 개재물을 생성하여 절삭성 향상에 기여하나, 강 중 탄소의 흑연화를 크게 저해할 뿐만 아니라, 결정립계에 편석되어 인성을 저하시키고, 저융점 유화물을 형성시켜 열간 압연성을 저해하며, 압연에 의해 연신된 MnS로 인해 기계적인 이방성이 나타날 수 있으므로 그 함량을 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다.
- [0060] 이론상 황의 함량은 0중량%로 제어하는 것이 유리하나, 제조 공정 상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서, 그 상한을 관리하는 것이 중요하며, 본 발명에서는 황의 상한을 0.03중량%로 관리한다.
- [0061] 알루미늄(Al): 0.01~0.05중량%
- [0062] 알루미늄은 실리콘 다음으로 흑연화를 촉진시키는 원소이다. 이는 알루미늄이 고용 Al으로 존재할 때 세멘타이트를 불안정하게 하기 때문이며, 따라서 고용 Al으로 존재하는 것이 필요하다. 본 발명에서 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하다.

- [0063] 반면, 그 함량이 0.05중량%를 초과하여 과다한 경우 그 효과가 포화될 뿐만 아니라, 연주시 노즐 막힘을 유발시킬 수 있으며 오스테나이트 입계에 AlN이 생성되어, 이를 핵으로 한 흑연립이 입계에 불균일하게 분포하게 된다. 따라서, 본 발명에서 알루미늄 함량은 0.01~0.05중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0064] 타이타늄(Ti): 0.01~0.02중량%
- [0065] 타이타늄은 보론, 알루미늄 등과 같이 질소와 결합하여 TiN, BN, AlN등의 질화물을 생성한다. 상기 질화물들은 항온 열처리 시 흑연립 생성의 핵으로 작용한다. BN, AlN등은 생성 온도가 낮아 오스테나이트가 형성된 후 입계에 불균일 석출되는 것에 반하여, TiN은 생성온도가 AlN이나 BN보다 높아 오스테나이트 생성이 완료되기 전에 정출되기 때문에 오스테나이트 입계 및 입내에 균일 분포를 하게 된다. 따라서, TiN을 핵생성처로 하여 생성된 흑연립 또한 미세하면서도 균일하게 분포하게 된다. 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.01중량% 이상 포함되는 것이 바람직하다.
- [0066] 반면, 그 함량이 0.02중량%를 초과하여 과다 첨가될 경우 조대한 탄질화물이 되어 흑연 형성에 필요한 탄소를 소모함으로써, 흑연화를 저해시킬 수 있다. 따라서, 본 발명에서 타이타늄 함량은 0.01~0.02중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0067] 보론(B): 0.0005~0.002%
- [0068] 보론은 강 중 질소와 결합해 BN를 형성한다. BN은 흑연립 생성의 핵으로서 작용하여 흑연화를 촉진한다. 이러한 효과를 나타내기 위해서는 0.0005중량% 이상 포함되는 것이 바람직하다.
- [0069] 반면, 그 함량이 0.002중량%를 초과하여 과다 첨가될 경우 BN이 오스테나이트 입계에 과다하게 생겨 흑연화 열처리 후 흑연립의 불균일 분포를 야기할 뿐만 아니라, 입계를 취약하게 하여 열간 압연성을 현저하게 저하시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서, 본 발명에서 보론 함량은 0.0005~0.002중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0070] 질소(N): 0.003~0.015중량%
- [0071] 질소는 타이타늄, 보론, 알루미늄과 결합하여 TiN, BN, AlN등을 생성하게 되는데, 특히 BN, AlN등의 질화물은 주로 오스테나이트 입계에 형성된다. 흑연화 열처리시 이러한 질화물을 핵으로 흑연립이 균일한 분포로 형성된다. 이를 위해 본 발명에서는 0.003중량% 이상 첨가한다.
- [0072] 다만, 질소 첨가량이 0.015중량%를 초과하여 과다 첨가될 경우 질화물이 과도하게 형성되어 흑연립이 불균일한 분포로 형성될 수 있거나, 질화물 형성 원소와 결합하지 못하고 강 중에 고용 상태로 존재하여 강도를 높이고 세멘타이트를 안정화시켜 흑연화를 지연시키는 해로운 작용을 하게 된다. 따라서, 본 발명에서 질소 함량은 0.003~0.015중량%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0073] 산소(O): 0.005중량% 이하
- [0074] 본 발명에 있어서 산소의 역할은 중요하다. 산소는 알루미늄과 결합하여 산화물을 형성한다. 이러한 산화물의 생성은 고용 알루미늄의 유효농도를 감소시켜 흑연화 작용을 방해하는 결과를 유발한다. 또한, 다량의 산소가 함유됨으로써 형성되는 알루미늄 산화물은 질삭 시 질삭공구를 손상시키기 때문에 피삭성의 저하를 초래한다. 이러한 이유로 산소의 함량은 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다. 그러나 산소를 너무 낮게 관리할 경우 제강공정의 정련부하를 야기하기 때문에 그 상한을 0.005중량% 이하로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0075] 본 발명의 나머지 성분은 철(Fe)이다. 다만, 통상의 제조 과정에서는 원료 또는 주위 환경으로부터 의도되지 않는 불순물들이 불가피하게 혼입될 수 있으므로, 이를 배제할 수는 없다. 상기 불순물들은 통상의 제조 과정의 기술자라면 누구라도 알 수 있는 것이기 때문에 그 모든 내용을 특별히 본 명세서에서 언급하지는 않는다.
- [0076] 본 발명의 일 예에 따르면 상기의 합금성분에서, 이하의 식 (1)을 만족하는 것이 바람직하다.
- [0077]
$$(1) -0.003 < [N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77 < 0.003$$
- [0078] 상기 식 (1)에서, [Ti],[N],[B]는 각각 타이타늄, 질소, 보론의 중량%를 의미한다.
- [0079] 식 (1)은 미세한 흑연립 생성 유도과 흑연화에 요구되는 시간을 현저하게 단축하기 위한 관계식으로서, 상기 범위로 한정된 그 구체적인 이유는 이하와 같다.
- [0080] 식 (1)의 값이 -0.003 이하가 되면 강 중에 과다하게 남은 Ti 또는 B에 의해 조대한 TiN 또는 BN을 형성하게 되

어 적절한 흑연립 생성의 핵으로 작용하기가 어렵고, 미세하고 균일한 분포의 흑연립을 기대할 수 없다. 반면, 식 (1)의 값이 0.003 이상이 되면 강 중 고용 질소 함량이 높으므로, 흑연화 시간을 현저하게 지연시키므로 바람직하지 않다. 따라서, 본 발명에서 식 (1)의 값은 -0.003 초과 0.003 미만으로 관리하는 것이 바람직하다.

[0081] 상술한 합금조성 범위 및 식 (1)을 만족하는 본 발명의 흑연화 열처리용 선재는 100nm 이하의 크기를 갖는 TiN의 개수가 $100\mu\text{m}^2$ 당 10개 이상일 수 있다. 본 발명에서, TiN은 흑연화 열처리 과정에서 흑연립 생성의 주요 핵으로 작용하기 때문에 균일하고 미세한 흑연립을 얻기 위해서는 미세한 TiN이 고밀도로 분포되는 것이 유리하기 때문에 개수의 상한을 특별히 한정하지 않는다.

[0082] 또한, 흑연화 열처리용 선재는 펄라이트의 면적분율이 95% 이상일 수 있다. 본 발명에서, 흑연립은 펄라이트가 분해되어 생기므로 펄라이트 분율이 낮으면 흑연립의 분율도 낮을 수 밖에 없으며, 불균일한 분포를 보이게 되어 바람직하지 않다. 펄라이트의 면적분율은 높은 것이 균일하고 미세한 흑연립을 확보하는 것이 유리하기 때문에 그 상한을 특별히 한정하지 않는다.

[0083] 또한, 흑연화 열처리용 선재는 인장강도가 1100MPa 이하일 수 있다. 본 발명에서, 흑연화의 추가 촉진을 위한 격자 결함을 유도하는 냉간 신선을 위해서는 선재의 강도가 1100MPa를 초과하지 않는 것이 바람직하므로, 그 하한을 특별히 한정하지 않는다.

[0084] 이하에서는 본 발명의 흑연화 열처리용 선재의 제조 방법에 대해 먼저 설명한 다음, 흑연강의 제조방법에 대하여 상세히 설명한다.

[0085] 본 발명의 일 예에 따른 흑연화 열처리용 선재의 제조방법은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 식 (1)을 만족하는 빌레트를 제조하는 단계, 상기 빌레트를 재가열하는 단계, 상기 재가열된 빌레트를 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계, 상기 선재를 권취하는 단계 및 상기 권취된 선재를 냉각하는 단계를 포함한다.

[0086] 이하, 본 발명 흑연화 열처리용 선재의 제조방법의 각 단계에 대하여 설명한다.

[0087] 재가열하는 단계

[0088] 본 발명의 일 예에 따르면, 재가열하는 단계는 빌레트를 열간 압연하기 전에 1050~1150℃의 온도범위에서 60분 이상 유지하여 열처리할 수 있다.

[0089] 빌레트의 가열온도가 1050℃ 미만에서는 TiN이 조대하게 석출되어 밀도가 줄어들며, Al이 AlN으로 석출하여 흑연화를 촉진시키는 고용 Al의 양이 줄어든다. 또한, 빌레트의 가열 온도가 1150℃를 초과할 경우에는 비용이 상승할 뿐만 아니라, 탈탄이 가속화되어 탈탄층이 두꺼워져 최종 제품의 품질을 악화시킬 수 있다. 바람직하지 않다. 따라서, 본 발명에서는 재가열 온도범위를 1050~1150℃로 제어하는 것이 바람직하다.

[0090] 열처리 유지시간을 60분 미만으로 하면 열간 압연을 위한 빌레트 외내부의 온도를 균일하게 확보하는 것이 어려우므로, 본 발명에서는 열처리 유지시간을 60분 이상으로 제어하는 것이 바람직하다.

[0091] 재가열된 빌레트를 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계

[0092] 본 발명의 일 예에 따르면, 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계는 재가열된 빌레트를 900~1000℃의 온도범위에서 열간 압연하여 선재로 제조할 수 있다.

[0093] 열간 압연 온도가 900℃ 미만에서는 열간 압연 시 표면 흠이 발생 가능성이 높아지며, 1000℃ 초과하는 경우에는 AGS(Austenite Grain Size)가 조대해져서 선재 압연 후 냉간 신선 시 단선이 발생 할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 열간 압연의 온도범위를 900~1000℃로 제어하는 것이 바람직하다.

[0094] 열간 압연으로 제조되는 선재의 지름은 30mm 이하로 제어하는 것이 바람직하다. 이는 가열로에서 추출되는 빌레트의 탈탄 면적은 선재 열간 압연 후에 선재의 탈탄 면적에 비례하기 때문에 선경이 클수록 탈탄층이 두꺼워지기 때문이다.

[0095] 선재를 권취하는 단계

[0096] 본 발명의 일 예에 따르면, 선재를 권취하는 단계는 800℃ 이상의 온도범위에서 권취할 수 있다.

- [0097] 권취온도가 800℃ 미만의 경우에는 권취 시 소재의 강성이 커져서 표면 흠 발생 가능성이 높아지고 권취 형상 확보가 어려울 수 있다. 따라서, 본 발명에서는 권취 온도범위를 800℃ 이상으로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0098] 권취된 선재를 냉각하는 단계
- [0099] 본 발명의 일 예에 따르면, 권취된 선재는 0.2~5.0℃/s의 냉각속도로 600℃까지 냉각할 수 있다.
- [0100] 냉각속도가 5.0℃/s를 초과하는 경우에는 과냉된 오스테나이트로부터 생성된 마르텐사이트와 같은 경질상이 발생하여 냉간 신선 중에 단선이 발생할 수 있으므로 바람직하지 않고, 0.2℃/s 미만의 냉각속도에서는 초석상이 과도하게 생성되어 펄라이트의 분율이 줄어들기 때문에 흑연화 열처리 후 생성된 흑연립이 불균일한 분포를 가질 수 있어 바람직하지 않다. 따라서, 본 발명에서는 냉각속도를 0.2~5.0℃/s로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0101] 상술한 제조과정으로 제조되는 본 발명의 흑연화 열처리용 선재는 100nm 이하의 크기를 갖는 TiN의 개수가 100 μm^2 당 10개 이상일 수 있다. 본 발명에서, TiN은 흑연화 열처리 과정에서 흑연립 생성의 주요 핵으로 작용하기 때문에 균일하고 미세한 흑연립을 얻기 위해서는 고밀도의 미세한 TiN이 고르게 분포되는 것이 유리하기 때문에 개수의 상한을 특별히 한정하지 않는다.
- [0102] 또한, 제조된 흑연화 열처리용 선재는 펄라이트의 면적분율이 95% 이상일 수 있다.
- [0103] 또한, 제조된 흑연화 열처리용 선재는 인장강도가 1100MPa 이하일 수 있다. 본 발명에서, 흑연화의 추가 촉진을 위한 격자 결함을 유도하는 냉간 신선을 위해서는 선재의 강도가 1100MPa을 초과하지 않는 것이 바람직하고, 그 하한을 특별히 한정하지 않는다.
- [0104] 이하에서는 본 발명 흑연강의 제조방법에 대해 상세히 설명한다.
- [0105] 본 발명의 일 예에 따른 흑연강의 제조방법은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 식 (1)을 만족하는 빌레트를 제조하는 단계, 상기 빌레트를 재가열하는 단계, 상기 재가열된 빌레트를 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계, 상기 선재를 권취하는 단계, 상기 권취된 선재를 냉각하는 단계 및 상기 냉각된 선재를 냉간 신선하는 단계를 수행한 다음, 흑연화 열처리하는 단계를 포함한다.
- [0106] 여기서, 빌레트를 제조, 재가열, 열간 압연하여 선재로 제조하는 단계, 선재를 권취, 냉각하는 단계는 흑연화 열처리용 선재의 제조방법에서 설명한 바와 동일하므로, 중복을 피하기 위하여 이하 설명을 생략한다. 상술한 제조방법으로 제조된 선재를 냉간 신선하는 단계 및 흑연화 열처리하는 단계를 이하에서 각각 설명한다.
- [0107] 냉각된 선재를 냉간 신선하는 단계
- [0108] 본 발명에서 냉각된 선재를 냉간 신선하는 단계는 고밀도의 미세한 TiN 등 흑연립 생성의 추가 핵을 생성하기 위한 중요한 단계 중 하나에 해당한다. 상기 단계에서는 냉간 신선을 통해 선재 내부에 격자 결함을 유도하여 흑연립 생성의 추가 핵을 생성할 수 있다.
- [0109] 본 발명의 일 예에 따르면, 냉각된 선재를 냉간 신선하는 단계는 감면율 10~20%로 냉간 신선할 수 있다.
- [0110] 감면율 10% 미만인 경우에는 냉간 신선을 통해 선재 내부에 격자 결함을 충분히 만들 수 없어 흑연립 생성의 추가 핵으로 활용할 수 없으며, 감면율 20% 초과 부가 시에는 신선 중 단선이 발생할 수 있다. 따라서, 본 발명에서 냉간 신선하는 단계는 감면율 10~20%로 냉간 신선하는 것이 바람직하다.
- [0111] 흑연화 열처리하는 단계
- [0112] 본 발명에서는 냉간 신선하는 단계를 수행한 다음 흑연화 열처리를 실시할 수 있다. 흑연화 열처리를 통해, 강 중 첨가된 탄소를 흑연화하여 흑연강을 형성할 수 있다.
- [0113] 본 발명의 일 예에 따르면, 흑연화 열처리하는 단계는 740~780℃의 온도범위에서 2시간 이내로 열처리할 수 있다. 상기 온도범위는 항온 변태 곡선(TTT: Time-Temperature-Transformation)에서 흑연 생성 노즈(nose)근처에 해당하는 온도범위로서, 열처리 시간이 가장 짧은 온도범위에 해당한다.
- [0114] 흑연화 열처리 온도가 740℃ 미만인 경우에는 흑연화 열처리 시간이 길어지게 되며, 780℃를 초과하는 경우에는 흑연화 열처리 시간이 길어지며, 펄라이트의 역변태에 의해 오스테나이트가 생성되고 냉각 중 다시 펄라이트가 생길 수 있기 때문에 바람직하지 않다. 따라서, 본 발명에서는 흑연화 열처리 온도범위를 740~780℃로 제어하는

것이 바람직하다.

- [0115] 상술한 흑연화 열처리 단계로 흑연화율이 100%인 흑연강을 제조할 수 있다. 여기서, 흑연화율이란 강에 첨가된 탄소 함량 대비 흑연 상태로 존재하는 탄소 함량의 비를 의미하는 것으로, 하기 식 (2)에 의해 정의된다.
- [0116] (2) 흑연화율(%) = (1-미분해 펄라이트 내 탄소함량/강 중 탄소 함량) X 100
- [0117] 흑연화율이 100%이라는 것은 첨가된 탄소가 모두 소모되어 흑연을 생성하였다는 의미로 미분해 펄라이트가 존재하지 않는 것을 의미하며, 다시 말해 페라이트 기지에 흑연립이 분포하는 미세조직을 의미한다. 여기서, 페라이트 내 고용 탄소 및 미세 탄화물에 고용된 탄소량은 극히 적으므로 고려하지 않는다.
- [0118] 이하에서는 본 발명의 일 예에 따른 흑연강에 대하여 설명한다.
- [0119] 본 발명의 일 예에 따른 흑연강은 중량%로, 탄소(C): 0.6~0.9%, 실리콘(Si): 2.0~2.5%, 망간(Mn): 0.1~0.6%, 인(P): 0.015% 이하, 황(S): 0.03% 이하, 알루미늄(Al): 0.01~0.05%, 타이타늄(Ti): 0.01~0.02%, 보론(B): 0.0005~0.002%, 질소(N): 0.003~0.015%, 산소(O): 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 식 (1)을 만족하며, 미세조직으로, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있으며, 흑연화율이 100%이다.
- [0120] 또한, 흑연강의 페라이트 기지에 분포되는 흑연립의 평균 결정립 크기는 10 μ m 이하일 수 있다. 여기서, 평균 결정립 크기란, 흑연강의 일 단면을 관찰하여 검출한 입자의 등가 원 직경(Equivalent Circular Diameter, ECD)을 의미한다. 평균 결정립의 크기가 작을수록 절삭 시 표면조도에 유리하므로, 그 하한에 대해서는 특별히 한정하지 않는다.
- [0121] 또한, 흑연립의 종횡비(장축/단축)가 2.0 이하일 수 있다. 흑연립의 종횡비가 2.0을 초과하면 미세조직에 이방성이 발생하여 충격인성 등 기계적 특성이 저하될 뿐만 아니라, 절삭 중 표면 조도에 악영향을 끼칠 수 있다.
- [0122] 또한, 흑연립이 면적분율로 2.0% 이상으로 1000개/mm² 이상의 밀도로 분포될 수 있다. 흑연립의 면적분율과 밀도가 높을수록 피삭성이 향상되므로, 그 하한에 대해서는 특별히 한정하지 않는다.
- [0123] 또한, 본 발명의 일 예에 따른 흑연강은 경도값이 70~85 HRB일 수 있다.
- [0124] 상기와 같이 흑연강 내에 미세 흑연립이 균일하게 분포될 경우, 형성된 흑연립이 절삭 마찰을 감소시키고, 크랙 개시처로 작용함으로써, 절삭성을 현저히 향상시킬 수 있다.
- [0125] 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.
- [0126] {실시예}
- [0127] 아래 표 1의 성분을 갖는 빌레트(단면: 160mm x 160mm)를 가열온도 조건에서 90분간 유지하고 고속 열간 압연하여 27mm의 직경을 갖는 흑연화 열처리용 선재로 제조하였다. 이때의 가열온도, 선재 압연온도, 권취 온도, 600℃까지의 냉각속도는 표 2에 도시하였다. 또한, 제조된 흑연화 열처리용 선재에 대해 100nm 이하 크기에 해당하는 TiN의 개수, 펄라이트의 면적분율, 인장강도, 선재 압연성에 대한 비교를 표 2에 함께 도시하였다.
- [0128] 제조된 흑연화 열처리용 선재에 대하여, 냉간 신선한 다음 흑연화 열처리를 하여 흑연강을 제조하였다. 이때의 냉간 신선 감면율에 대하여 표 3에 도시하였으며, 흑연화 열처리는 각 발명에 및 비교예 모두 760℃에서 2시간 열처리하였다. 또한, 제조된 흑연강에 대해 흑연화 완료 유무, 흑연립의 평균 크기, 종횡비(장축/단축), 흑연립 면적 분율, 흑연립 밀도, 경도를 표 3에 함께 도시하였다.
- [0129] 표 1 내지 3에서, 발명강은 본 발명의 합금조성 범위 및 식 (1)을 만족하는 발명 강종에 해당하며, 비교강은 본 발명의 합금조성 범위 또는 식 (1)을 만족하지 않는 비교 강종에 해당한다.
- [0130] 발명예 1 내지 4는 본 발명의 흑연화 열처리용 선재 및 흑연강에 해당하며, 비교예 1 내지 12는 비교강 1 내지 12으로 제조한 흑연화 열처리용 선재 및 흑연강에 해당한다. 비교예 13 내지 17는 발명강 1의 강종을 사용하였으나, 흑연화 열처리용 선재의 제조조건을 본 발명이 개시하는 조건과는 상이하게 하여 제조한 흑연화 열처리용 선재 및 흑연강이다. 비교예 18 내지 19는 발명강 1의 강종을 사용하고 흑연화 열처리용 선재의 제조조건을 본 발명이 개시하는 조건과 동일하게 하여 제조하였으나, 냉간 신선 조건 감면율을 본 발명이 개시하는 조건과 상

이하에 하여 제조한 흑연화 열처리용 선재 및 흑연강에 해당한다.

표 1

구분		C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	O	식 (1)
발명강	1	0.7	2.35	0.27	0.0138	0.0052	0.043	0.0150	0.0005	0.0050	0.0030	0.0000
	2	0.75	2.38	0.30	0.0101	0.0030	0.030	0.0198	0.0019	0.0110	0.0045	0.0028
	3	0.63	2.45	0.41	0.0085	0.0042	0.023	0.0132	0.0019	0.0040	0.0028	-0.0023
	4	0.86	2.46	0.13	0.0080	0.0048	0.026	0.0190	0.0013	0.0050	0.0029	-0.0022
비교강	1	1.02	2.30	0.30	0.0121	0.0050	0.030	0.0120	0.0013	0.0050	0.0036	-0.0002
	2	0.32	2.43	0.55	0.0125	0.0050	0.032	0.0123	0.0013	0.0050	0.0045	-0.0003
	3	0.61	1.00	0.30	0.0102	0.0050	0.030	0.0122	0.0013	0.0050	0.0047	-0.0002
	4	0.83	2.91	0.20	0.0082	0.0064	0.026	0.0128	0.0013	0.0034	0.0036	-0.0020
	5	0.87	2.32	0.82	0.0082	0.0064	0.023	0.0125	0.0013	0.0032	0.0025	-0.0021
	6	0.72	2.22	0.05	0.0082	0.0190	0.026	0.0120	0.0013	0.0028	0.0030	-0.0024
	7	0.81	2.27	0.57	0.0074	0.0064	0.023	0.0022	0.0013	0.0052	0.0034	0.0029
	8	0.82	2.41	0.39	0.0080	0.0280	0.045	0.0231	0.0013	0.0100	0.0045	0.0016
	9	0.65	2.45	0.39	0.0080	0.0254	0.039	0.0198	0.0019	0.0031	0.0025	-0.0051
	10	0.87	2.35	0.23	0.0087	0.0050	0.040	0.0110	0.0006	0.0148	0.0034	0.0108
	11	0.75	2.25	0.26	0.0086	0.0024	0.032	0.0130	0.0040	0.0100	0.0045	0.0010
	12	0.07	2.32	0.28	0.0098	0.0054	0.034	0.0120	0.0017	0.0221	0.0047	0.0164
식 (1): $[N] - [Ti]/3.43 - [B]/0.77$ (여기서 $[N]$, $[Ti]$, $[B]$ 는 각각 N, Ti, B의 중량%이다.)												

[0131]

표 2

구분	강종	가열 온도 (°C)	열간 압연 온도 (°C)	권취 온도 (°C)	냉각 속도 (°C/s)	TiN 밀도 (개/100mm ²)	필라이트 면적분율 (%)	인장 강도 (MPa)	선재 압연 비교
발명예 1	발명강 1	1100	970	900	0.5	37	96	1035	-
발명예 2	발명강 2	1100	970	900	0.5	42	98	1032	-
발명예 3	발명강 3	1100	970	900	0.5	25	95	1042	-
발명예 4	발명강 4	1100	970	900	0.5	21	98	1032	-
비교예 1	비교강 1	1100	970	900	0.5	34	96	1128	-
비교예 2	비교강 2	1100	970	900	0.5	14	88	982	-
비교예 3	비교강 3	1100	970	900	0.5	15	97	994	-
비교예 4	비교강 4	1100	970	900	0.5	23	96	1145	-
비교예 5	비교강 5	1100	970	900	0.5	23	96	1104	-
비교예 6	비교강 6	1100	970	970	0.5	15	97	1028	-
비교예 7	비교강 7	1100	970	900	0.5	7	96	1045	-
비교예 8	비교강 8	1100	970	900	0.5	8	97	1040	-
비교예 9	비교강 9	1100	970	900	0.5	5	98	1035	-
비교예 10	비교강 10	1100	970	900	0.5	23	97	1030	-
비교예 11	비교강 11	1100	970	900	0.5	12	95	1021	-
비교예 12	비교강 12	1100	970	900	0.5	14	82	1112	-
비교예 13	발명강 1	1000	970	900	0.5	8	97	1034	-
비교예 14	발명강 1	1100	900	900	0.5	25	97	1053	선재 표면 흠 발생
비교예 15	발명강 1	1100	970	750	0.5	27	98	1023	선재 권취 불량
비교예 16	발명강 1	1100	970	900	0.1	28	93	1002	-
비교예 17	발명강 1	1100	970	900	8.0	32	92	1160	-
비교예 18	발명강 1	1100	970	900	0.5	37	96	1035	-
비교예 19	발명강 1	1100	970	900	0.5	37	96	1035	-

[0132]

표 3

구분	강종	냉간 신선 감면율 (%)	흑연화 완료 유무	흑연립 크기 (μm)	중형비	흑연립 면적 분율 (%)	흑연립 밀도 (개/ mm^2)	경도 (HRB)
발명예 1	발명강 1	14.3	완료	5	1.4	2.2	1990	77
발명예 2	발명강 2	14.3	완료	6	1.5	2.4	2013	78
발명예 3	발명강 3	14.3	완료	7	1.4	2.1	1785	77
발명예 4	발명강 4	14.3	완료	5	1.4	2.3	2033	80
비교예 1	비교강 1	14.3	냉간 신선중 단선					
비교예 2	비교강 2	14.3	완료	4	1.6	1.3	682	76
비교예 3	비교강 3	14.3	미완료	6	1.6	1.5	889	87
비교예 4	비교강 4	14.3	냉간 신선중 단선					
비교예 5	비교강 5	14.3	미완료	7	1.5	1.7	2041	88
비교예 6	비교강 6	14.3	냉간 신선중 단선					
비교예 7	비교강 7	14.3	완료	12	1.7	2.3	765	77
비교예 8	비교강 8	14.3	완료	11	1.6	2.4	875	78
비교예 9	비교강 9	14.3	완료	12	1.6	2.6	686	79
비교예 10	비교강 10	14.3	미완료	6	1.4	2.6	896	86
비교예 11	비교강 11	14.3	완료	11	1.3	2.1	896	71
비교예 12	비교강 12	14.3	미완료	12	1.4	1.3	982	88
비교예 13	발명강 1	14.3	완료	15	2.1	2.1	976	77
비교예 14	발명강 1	14.3	완료	4	1.5	2.3	770	76
비교예 15	발명강 1	14.3	완료	5	1.4	2.3	1987	77
비교예 16	발명강 1	14.3	완료	11	1.5	1.7	980	76
비교예 17	발명강 1	14.3	냉간 신선중 단선					
비교예 18	발명강 1	21.0	냉간 신선중 단선					
비교예 19	발명강 1	7.3	미완료	7	1.5	1.7	980	87

[0133]

[0134]

이하, 표 1 내지 3을 참조하여 각 발명에 및 비교예를 평가한다.

[0135]

표 1 내지 3를 참조하면, 본 발명의 합금조성 범위 및 식 (1)을 만족하고 제조조건도 만족한 결과, 발명예 1 내지 4의 흑연화 열처리용 선재는 100nm 이하의 크기를 갖는 TiN의 개수가 $100\mu\text{m}^2$ 당 10개 이상이며, 펄라이트의 면적분율이 95% 이상이며, 인장강도가 1100MPa 이하인 것을 확인할 수 있다. 또한, 발명예 1 내지 4의 흑연강은 미세조직으로 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있으며, 흑연화율이 100%로 완료되었으며, 흑연립의 평균 결정립 크기는 $10\mu\text{m}$ 이하이며, 흑연립의 중형비(장축/단축)가 2.0 이하이며, 흑연립이 면적분율로 2.0% 이상으로 분포되어 있으며, 흑연립이 $1000\text{개}/\text{mm}^2$ 이상의 밀도로 분포되어 있으며, 경도값이 70~85 HRB임을 확인할 수 있다.

[0136]

반면, 합금조성 범위 또는 식 (1)을 만족하지 않는 비교예 1 내지 12는 상술한 발명예 1 내지 4와는 달리, TiN 밀도, 펄라이트의 면적분율, 선재 인장 강도를 만족하지 못하거나, 흑연화율이 완료되지 않았거나, 흑연립의 평균 결정립 크기가 $10\mu\text{m}$ 를 초과하여 조대하였거나, 흑연립이 면적분율로 2.0% 이하로 분포되었거나, 흑연립 밀도가 적었거나, 경도 범위를 만족하지 못하였다.

[0137]

비교예 1은 C가 1.02중량%로 첨가 탄소량이 과다하여 선재의 인장강도가 1100MPa를 초과하였으며, 이로 인해 냉간 신선 중 단선이 발생하였다. 비교예 2는 C가 0.32중량%로 첨가 탄소량이 적어 펄라이트의 분율이 적었다. 흑연립은 펄라이트가 분해되어 생기므로 펄라이트 분율이 낮으면 흑연립의 분율도 낮을 수 밖에 없으며, 비교예 2의 흑연강은 흑연립의 면적분율이 1.3%, 흑연립의 밀도가 $682\text{개}/\text{mm}^2$ 로서 적었다.

[0138]

비교예 3은 Si이 1.00중량%로 첨가 실리콘량이 적어 흑연화 촉진을 충분히 하지 못하여 흑연화가 2시간 이내에 완료되지 못하였다. 또한, 이로 인해 흑연립 면적분율, 흑연립 밀도가 낮았으며, 경도가 컸다. 비교예 4는 Si이 2.91중량%로 첨가 실리콘량이 과다하여 선재의 인장강도가 1100MPa를 초과하였으며, 이로 인해 냉간 신선 중 단선이 발생하였다.

- [0139] 비교예 5는 Mn이 0.82중량%로 첨가 망간량이 과다하여 흑연화를 저해함에 따라, 흑연화가 2시간 이내에 완료되지 못하였다. 또한, 망간량이 과다하여 선재의 인장강도가 1100MPa를 초과하였으며, 경도가 컸다. 비교예 6은 Mn이 0.05중량%로 첨가 망간량이 적어 냉간 신선 중 단선이 발생하였다.
- [0140] 비교예 7은 Ti이 0.0022중량%로 첨가 타이타늄양이 적어 TiN 밀도(개/100mm²)가 적어 미세하고 균일한 흑연립 생성을 위한 핵으로써 작용을 충분히 하지 못하였다. 이로 인해, 흑연립의 크기가 조대해졌으며, 흑연립의 밀도는 낮았다. 비교예 8은 Ti이 0.0231중량%로 첨가 타이타늄양이 과다하여 조대한 TiN으로 형성되어 TiN 밀도가 적어 미세하고 균일한 흑연립 생성을 위한 핵으로써 작용을 충분히 하지 못하였다. 이로 인해, 흑연립의 크기가 조대해졌으며, 흑연립의 밀도는 낮았다.
- [0141] 비교예 9는 식 (1)의 값이 -0.003 이하가 되어 강 중에 과다하게 남은 Ti 또는 B에 의해 조대한 TiN 또는 BN을 형성하게 되어 적절한 흑연립 생성의 핵으로 작용하기가 어려웠다. 이로 인해, 흑연립의 크기가 조대해졌으며, 흑연립의 밀도는 낮았다. 비교예 10은 식 (1)의 값이 0.003 이상이 되어 강 중 고용 질소 함량이 높으므로, 흑연화 시간을 현저하게 지연시켰다. 이로 인해, 흑연화가 2시간 이내에 완료되지 못하였다.
- [0142] 비교예 11은 B가 0.004중량%로 첨가 붕소량이 과다하여 식 (1)의 값을 만족하지 못하였다. 이로 인해, 흑연립의 크기가 조대해졌으며, 흑연립의 밀도가 낮았다.
- [0143] 비교예 12는 N가 0.0221중량%로 첨가 질소량이 과다하여 식 (1)을 만족하지 못하였으며, 과다한 고용 질소에 의해 선재 인장강도 값도 높아졌다. 고용 질소는 흑연화를 지연시켜 2시간 내에 흑연화가 완료되지 않았으며, 이로 인해 경도 범위를 만족하지 못하였다.
- [0144] 비교예 13은 재가열온도가 1000℃로 낮아, TiN 또는 BN이 조대하게 형성된 결과 적절한 흑연립 생성의 핵으로 작용하기가 어려웠다. 이로 인해, 흑연립의 크기가 조대해졌으며, 흑연립의 밀도는 낮았다.
- [0145] 비교예 14는 열간 압연 온도가 900℃로 낮아, 열간 압연 시 표면 흠이 발생하였다.
- [0146] 비교예 15은 권취 온도가 750℃로 낮아 권취 형상 불량 발생하였다.
- [0147] 비교예 16는 냉각속도가 0.1℃/s로 낮아 초석상이 과다하게 발생하여 펄라이트 면적분율을 만족하지 못하였다. 이로 인해, 흑연화 열처리 후 생성된 흑연립의 밀도가 낮았다. 비교예 17은 냉각속도가 8.0℃/s로 높아 과냉된 오스테나이트로부터 생성된 경조직으로 인해 냉간 신선 중 단선이 발생하였다.
- [0148] 비교예 18은 냉간 신선 시 감면율이 20%를 초과하여 단선이 발생하였으며, 비교예 19는 감면율이 10% 이하로 작아 충분하게 격자 결함을 발생시키지 못하여 흑연화를 2시간 이내에 완료되지 못했다. 이로 인해, 흑연화 열처리 후 생성된 흑연립의 밀도가 낮았다.
- [0149] 상술한 각 발명예와 비교예의 평가로부터 본 발명의 합금조성 범위 및 식 (1)을 만족하고, 각 제조조건을 만족하여야 본 발명의 흑연화 열처리용 선재 및 흑연강의 특성을 모두 만족할 수 있음을 알 수 있다.
- [0150] 또한, 상술한 결과로부터 본 발명은 흑연화를 촉진하는 합금조성과 흑연립의 핵 생성 사이트로 작용하는 TiN을 활용하여 흑연화를 촉진할 수 있으며, 적절한 감면율의 냉간 신선을 통해 격자 결함을 유도하여 흑연화를 더욱 촉진할 수 있으므로, 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축할 수 있음을 알 수 있다.
- [0151] 또한, 본 발명은 흑연화 후에 미세한 흑연립이 기지 내에 균일하게 분포하는 흑연강을 제공할 수 있음을 알 수 있다.
- [0152] 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.