



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0045906
(43) 공개일자 2020년05월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (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)
C21D 8/1222 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0126996
(22) 출원일자 2018년10월23일
심사청구일자 2018년10월23일

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

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

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

전영수
경상북도 포항시 남구 지곡로 294(지곡동, 효자그린아파트) 207동 205호

(74) 대리인
특허법인세림

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **철삭성 및 연자성이 우수한 흑연강 및 그 제조방법**

(57) 요약

본 명세서에서는 자동차, 로봇, 전자, 전기, 컴퓨터 및 통신 등 다양한 분야의 전자기 부품에 응용될 수 있는 흑연강에 관한 것으로서, 철삭성 및 연자성이 우수한 흑연강 및 그 제조방법을 개시한다.

개시되는 흑연강의 일 실시예에 따르면 중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 페라이트 기지에 흑연립이 분포된다.

(52) CPC특허분류

C21D 8/1244 (2013.01)

C22C 38/001 (2013.01)

C22C 38/04 (2013.01)

C22C 38/06 (2013.01)

C22C 38/14 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고,

미세조직은 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있는 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 2

제1항에 있어서,

흑연화율이 99% 이상인 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 흑연립은 면적분율 2~5%로 분포되어 있는 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 흑연립의 평균 결정립 크기가 10 μ m 이하인 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 흑연립은 1000개/mm² 이상으로 분포되어 있는 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 6

제1항에 있어서,

보자력 1000A/m에서의 자속밀도가 1.35T 이상인 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 7

제1항에 있어서,

자속밀도 1.0T에서의보자력이 200A/m 이하인 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 8

제1항에 있어서,

주파수 50Hz, 자속밀도 1.7T에서의 철손이 15W/Kg 이하인 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강.

청구항 9

중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 균질화 열처리하는 단계;

상기 열처리된 강재를 열간 압연하는 단계; 및

상기 압연된 강재를 흑연화 열처리하는 단계를 포함하고,

상기 흑연화 열처리하는 단계는 상기 압연된 강재 내 펄라이트 조직의 세멘타이트를 흑연화하여, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되도록 하는 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강의 제조방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 흑연화 열처리하는 단계는 730~770℃의 온도범위에서 2~6시간 동안 열처리하는 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자동차, 로봇, 전자, 전기, 컴퓨터 및 통신 등 다양한 분야의 전자기 부품에 응용될 수 있는 흑연강 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 우수한 연자성뿐만 아니라 정밀 절삭 가공 공정에서 필요한 우수한 절삭성을 갖는 흑연강 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 자동차, 로봇, 전자, 전기, 컴퓨터 및 통신 등 다양한 분야의 전자기 부품에 응용될 수 있는 소재의 소형화, 정밀화 및 생산성 향상 요구에 따라 연자성 소재에서도 절삭성 향상에 대한 요구가 더 높아지고 있다. 대표적인 철계 연자성 소재인 순철 및 실리콘이 고함유된 전기 강판의 경우 전자기 특성은 매우 우수하지만 강도가 낮고, 절삭 가공이 어렵다는 단점이 있다. 연자성이란 자기장을 인가했을 때는 쉽게 자화가 되지만, 자기장이 제거되면 자화가 쉽게 소실되는 특성을 말하며, 우수한 연자성 소재가 갖는 전자기적 특성으로는 높은 자속 밀도, 낮은 보자력 그리고 낮은 철손 등이 있다.

[0003] 이러한 이유로 실제 산업계에서는 SUM22등과 같이 S가 약 0.3% 수준까지 다량으로 첨가된 저탄소 쾌삭강을 이용하여 부품을 절삭 가공하고 있다. 이 경우에 절삭성은 양호하지만 전자기적 특성 특성이 열화되는 문제가 발생한다. 이는 절삭성을 향상하기 위한 목적으로 첨가된 S로 인해 MnS가 형성되고, 형성된 MnS는 자기 흐름을 방해하여 전자기적 특성 등을 저하시키기 때문이다. 또한 저탄소 쾌삭강은 10% 내외의 펄라이트가 존재하여 전자기적 특성을 저하시키는 문제가 있었다.

[0004] 저탄소 쾌삭강의 전자기적 특성이 저하되는 문제점을 해결하기 위하여, 탄소 및 실리콘이 고함유된 흑연강에 대한 연구가 이루어져 왔다. 그러나, 흑연강은 탄소를 첨가하게 되면 흑연이 안정상임에도 불구하고 준안정상인 세멘타이트로 석출되므로, 별도의 장시간 열처리 없이는 흑연을 석출시키는 것이 곤란하다. 또한, 이와 같은 장시간의 열처리 과정에서 탈탄이 일어나 최종 제품의 성능에 악영향을 미치는 문제점이 있다.

[0005] 뿐만 아니라, 흑연화 열처리를 통해 흑연립을 석출시켰다고 하더라도 강의 기지 내 흑연이 10 μ m 이상으로 조대하게 석출될 경우 균열이 발생될 가능성이 높아지게 되며, 구형이 아닌 불규칙한 형상으로 불균일하게 분포하고 있을 경우 절삭 시 물성 분포가 불균일하여 칩 분절성이나 표면 조도가 매우 나빠지게 되며, 공구 수명 또한 단축되어 흑연강의 장점을 얻기가 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 특허등록공보 제1992-0007579호 (1992년09월07일 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 상술한 문제점을 해결하기 위해 본 발명은 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축하면서도 열처리 후 최종 미세 조직에서는 미세한 흑연립이 균일하게 분포되어 있도록 하여, 제조 과정에서는 절삭성이 우수하여 정밀 가공을 할

수 있으며, 최종 제품에 있어서는 연자성이 우수한 흑연강 및 그 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강은 중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하고, 미세조직은 페라이트 기지에 흑연립이 분포되어 있다.
- [0009] 또한, 흑연화율이 99% 이상일 수 있다.
- [0010] 또한, 상기 흑연립은 면적분율 2~5%로 분포되어 있을 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 흑연립의 평균 결정립 크기가 10 μ m 이하일 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 흑연립은 1000개/mm² 이상으로 분포되어 있을 수 있다.
- [0013] 또한, 보자력 1000A/m에서의 자속밀도가 1.35T 이상일 수 있다.
- [0014] 또한, 자속밀도 1.0T에서의 보자력이 200A/m 이하일 수 있다.
- [0015] 또한, 주파수 50Hz, 자속밀도 1.7T에서의 철손이 15W/Kg 이하일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강의 제조방법은 중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함하는 강재를 균질화 열처리하는 단계, 상기 열처리된 강재를 열간 압연하는 단계 및 상기 압연된 강재를 흑연화 열처리하는 단계를 포함하고, 상기 흑연화 열처리하는 단계는 상기 압연된 강재 내 펄라이트 조직의 세멘타이트를 흑연화하여, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되도록 한다.
- [0017] 또한, 상기 흑연화 열처리하는 단계는 730~770℃의 온도범위에서 2~6시간 동안 열처리할 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명은 자동차나 가전 제품 등의 전자기 부품으로 적합한 절삭성과 연자성이 우수한 흑연강 및 그 제조방법을 제공할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 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.
- [0020] 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.
- [0021] 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 정의되지 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.
- [0022] 또한, 본 명세서의 "약", "실질적으로" 등은 언급된 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.
- [0023] 자동차, 로봇, 전자, 전기, 컴퓨터 및 통신 등 다양한 분야의 전자기 부품에 응용될 수 있는 소재의 소형화, 정

밀화 및 생산성 향상 요구에 따라 연자성 소재에서도 절삭성 향상에 대한 요구가 더 높아지고 있다.

- [0024] 탄소 및 실리콘이 고함량 첨가된 강재인 흑연강은 강 내 형성되는 흑연립으로 인해 절삭성이 우수하면서도, 페라이트 기지에 고용된 다량의 실리콘으로 인해 연자성이 우수한 특징이 있다. 그러나, 강에 탄소를 첨가하게 되면, 흑연이 안정성임에도 불구하고, 준안정상인 세멘타이트로 석출되어 장시간의 열처리 과정이 필요하며, 장시간의 열처리 과정으로 탈탄이 일어나 최종 제품의 성능에 악영향을 미치는 문제점이 있다. 또한, 강의 기지 내 흑연이 조대하게 석출되거나, 불규칙한 형상으로 불균일하게 분포하고 있는 경우에는 절삭성이 나쁜 문제점이 있다.
- [0025] 따라서 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여, 흑연화 열처리 시간을 대폭 단축하면서도 열처리 후 최종 미세 조직에서는 미세한 흑연립이 균일하게 분포되어 있도록 하여, 제조 과정에서는 절삭성이 우수하여 정밀 가공을 할 수 있으며, 최종 제품에 있어서는 연자성이 우수한 흑연강을 제공하고자 한다.
- [0026] 본 발명의 일 측면에 따른 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강은 중량%로, C: 0.4~1.0%, Si: 2.0~3.0%, Mn: 0.01~0.4%, P: 0.03% 이하, S: 0.02% 이하, Al: 0.01~0.05%, Ti: 0.01~0.03%, Ca: 0.0005~0.003%, N: 0.003~0.008%, O: 0.005% 이하, 잔부 Fe 및 기타 불가피한 불순물을 포함한다.
- [0027] 이하, 상기 강의 성분조성에 대해서 한정된 이유에 대하여 구체적으로 설명한다. 하기 성분조성은 특별한 기재가 없는 한 모두 중량%를 의미한다.
- [0028] 탄소 (C): 0.4~1.0%
- [0029] 탄소는 흑연립의 구성 성분 원소로 흑연립을 형성하기 위해서는 필수적인 원소이다. 강재의 냉각 시에 생성되는 세멘타이트를 최대한 빨리 흑연화시키기 위한 방법 중 하나가 바로 탄소 활동도를 높이는 것이다. 탄소 함유량이 0.4% 미만에서는 탄소 활동도가 낮고, 절삭성 향상 효과가 미흡하며, 1.0%가 초과되면 흑연립이 조대하게 생성되고 중횡비가 커져 절삭성 특히 표면 조도가 저하되며, 열간 압연성을 저하시킨다. 따라서, 탄소의 성분 범위를 0.4~1.0%의 범위로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0030] 실리콘 (Si): 2.0~3.0%
- [0031] 실리콘은 용강 제조 시 탈산제로서 필요한 성분이며, 강중의 세멘타이트를 불안정하게 하여 탄소가 흑연으로 석출될 수 있도록 하는 흑연화 촉진 원소이다. 또한, 자속밀도, 보자력, 철손 등의 연자성을 향상시키기 때문에 적극적으로 첨가하며, 2.0% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 3.0%를 초과하여 첨가하면 흑연화 촉진의 효과는 포화되며, 고용강화 효과로 인해 경도가 증가하여 절삭시 공구마모가 가속화되며, 비금속 개재물의 증가에 따른 취성을 유발하고, 열간압연 시 탈탄을 유도할 수 있다. 따라서, 실리콘의 성분 범위를 2.0~3.0%의 범위로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0032] 망간 (Mn): 0.01~0.4%
- [0033] 망간은 강의 강도를 증가시키고 충격 특성을 향상시키는 합금원소이며, 압연성을 증가시키고 취성을 감소시키므로 0.01% 이상으로 첨가하는 것이 바람직하다. 다만, 0.4%를 초과하여 첨가하는 경우 흑연화를 저해하여 흑연화 완료 시간이 지연되며, 강도 및 경도를 상승시켜 공구 마모 깊이 정도를 심화시킬 수 있다. 또한, 강 중 황과 결합하여 MnS 개재물을 형성하므로 보자력 및 철손이 증가하여 연자성이 열위해진다. 따라서, 망간의 성분 범위를 0.01~0.4%의 범위로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0034] 인 (P): 0.03% 이하
- [0035] 인은 흑연화를 촉진하는 원소이지만, 상당한 고용강화 효과에 의해 페라이트의 경도를 증가시키고, 결정립계에 편석되어 인성을 저하시키고, 지연과피 저항성 감소시키며, 표면결함 발생을 조장하므로, 그 함량을 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다. 따라서, 인의 성분 범위를 0.03% 이하로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0036] 황 (S): 0.02%이하
- [0037] 황은 흑연화를 크게 저해하는 원소일 뿐만 아니라, 결정립계에 편석되어 인성을 저하시킨다. 또한 강 중 망간과 결합하여 MnS 등 저융점 유화물을 형성시켜 절삭성을 향상시키나, 자기흐름을 방해하여 전자기적 특성을 열화시키므로, 그 함량을 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다. 따라서, 황의 성분 범위를 0.02% 이하로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0038] 알루미늄 (Al): 0.01~0.05%

- [0039] 알루미늄은 강력한 탈산 원소로써 탈산에 기여할 뿐만 아니라, 흑연화 열처리 시 세멘타이트의 분해를 촉진하는 것과 동시에, 강 중 질소와 결합하여 AlN을 형성함으로써 세멘타이트의 안정화를 방해하여 흑연화를 촉진한다.
- [0040] 본 발명에서는 상술한 효과를 위해 알루미늄은 0.01% 이상 포함되는 것이 바람직하다. 다만, 그 함량이 0.05%를 초과하는 경우에는 그 효과가 포화 될 뿐만 아니라, 강 중 산소와 결합하여 형성되는 높은 경도의 산화물에 의해 절삭 시 공구의 마모가 가속화 될 문제가 있다. 또한, Al이 과다해지면 오스테나이트 입계에 AlN이 생성되어 이를 핵으로 한 흑연이 입계에 불균일하게 분포하게 되는 문제가 있다. 따라서, 알루미늄의 성분 범위는 0.01~0.05%으로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0041] 타이타늄 (Ti): 0.01~0.03%
- [0042] 타이타늄은 붕소, 알루미늄 등과 같이 질소와 결합하여 TiN을 형성함으로써, 흑연화를 저해하는 고용 질소를 낮추고, 흑연의 핵생성처로 작용하여 흑연화 열처리 시간을 단축시킨다. 뿐만 아니라, BN, AlN 등은 생성온도가 낮아 오스테나이트가 형성된 후 입계에 불균일하게 석출되는 것에 반하여, TiN은 생성온도가 BN, AlN보다 높아 오스테나이트 생성이 완료되기 전에 정출되기 때문에 오스테나이트 입계 및 입내에 균일하게 분포된다. 따라서, TiN을 핵생성처로 하여 생성된 흑연립은 미세하고 균일하게 분포된다.
- [0043] 타이타늄은 0.01% 미만으로 첨가될 경우 TiN 개수가 너무 작아 흑연의 핵생성처로의 효과가 약하여 흑연립이 미세하고 균일하게 형성되지 않으며, 0.03%를 초과하여 첨가되면 그 효과가 포화되며, 조대한 탄질화물이 되어 흑연 형성에 필요한 탄소를 소모함으로써 흑연화를 저해시키는 문제가 있다. 따라서, 타이타늄의 성분 범위는 0.01~0.03%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0044] 본 발명에서 상기의 성분 범위로 타이타늄의 함량을 제어하면, 흑연의 핵생성처로 작용하는 TiN은 100nm이하의 크기를 가지며 밀도는 10000개/mm² 이상으로 미세하고 균일하게 형성될 수 있으므로, TiN을 핵생성처로 하여 생성된 흑연립 역시 미세하고 균일하게 분포된다.
- [0045] 칼슘(Ca): 0.0005~0.003%
- [0046] 칼슘은 강 중 산소, 황과 결합하여 산화물이나 황화물을 생성하며, 칼슘의 산화물 및 황화물은 흑연의 핵생성처로 작용한다. 또한 고용 산소나 황이 흑연화를 저해하기 때문에 칼슘에 의해 이러한 고용 원소들을 효과적으로 제거할 수 있다. 칼슘은 Si-Al-O계 개재물에 섞여 Ca-Si-Al-O계의 저융점 개재물을 형성할 수 있고, 이 저융점 개재물은 고속 절삭 시 온도 상승에 따라 용융되어 공구면 보호막을 형성하여 공구의 마모 진행을 억제함으로써 공구의 수명을 연장한다.
- [0047] 상술한 효과를 위해 칼슘은 0.0005% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 다만, 칼슘의 함량을 0.003% 초과하여 첨가하는 경우에는 그 효과가 포화될 뿐만 아니라, 연주 시에는 황화물인 CaS 생성량의 증가에 의해 노즐이 막힐 수 있다. 따라서, 칼슘의 성분 범위는 0.0005~0.003%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0048] 질소(N): 0.003~0.008%
- [0049] 질소는 타이타늄, 알루미늄과 결합하여 질화물을 형성하고, 이것을 핵으로 하여 흑연 생성과 성장을 촉진시키는 역할을 하지만, 질화물을 형성하지 않고 고용상태로 잔존하는 질소는 세멘타이트를 안정화시켜 흑연화를 현저하게 저해한다. 따라서 흑연화 촉진에 유효한 질화물들을 형성하기 위해서는 타이타늄, 알루미늄과 거의 비슷한 당량으로 첨가하는 것이 바람직하다.
- [0050] 이러한 이유로 0.003%이상 첨가하는 것이 필요하지만 0.008%를 초과하여 첨가할 경우 그 효과가 포화될 뿐만 아니라, 강 중 고용상태로 잔존하여 흑연화를 저해할 수 있다. 따라서, 질소의 성분 범위는 0.003~0.008%로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0051] 산소(O): 0.005% 이하
- [0052] 산소는 알루미늄과 결합하여 산화물을 형성한다. 이러한 산화물의 생성은 알루미늄의 유효 농도를 감소시키게 된다. 그 결과 흑연의 결정화에 유용한 AlN의 생성량이 감소되므로, 흑연화를 저해하게 된다. 또한, 다량의 산소가 함유됨으로써 형성되는 알루미늄 산화물은 절삭 시 절삭 공구를 손상시키기 때문에 절삭성의 저하를 초래하므로, 가능한 낮게 관리하는 것이 바람직하다. 이론상 산소의 함량은 0%로 제어하는 것이 유리하나, 제조 공정상 필연적으로 함유될 수 밖에 없다. 따라서 그 상한을 관리하는 것이 중요하며, 0.005%까지는 상기의 산소에 의한 문제점이 크지 않기 때문에 산소의 성분 범위는 0.005% 이하로 제어하는 것이 바람직하다.

- [0053] 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.
- [0054] 상기의 성분범위를 가지는 본 발명의 일 실시예에 따른 흑연강은 흑연화율이 99%이상이며, 미세조직은 페라이트를 기지로 하여 흑연립을 포함한다.
- [0055] 여기에서, 흑연화율이란 강에 첨가된 탄소 함량 대비 흑연 상태로 존재하는 탄소 함량의 비를 의미하는 것으로, 하기 식(1)과 같이 표현된다. 흑연화율이 99% 이상이라는 것은 첨가된 탄소가 모두 흑연을 생성하는데 소모되었다는 의미이다. 식(1)에서 페라이트 내 고용 탄소량 및 미세 탄화물은 극히 적으므로 고려하지 않는다.
- [0056] (1) 흑연화율(%) = (1-잔부 펄라이트 탄소함량/강 중 탄소 함량) X 100
- [0057] 흑연화율이 99% 이상이라는 것은 다시 말해 미분해된 펄라이트가 강 중에 존재하지 않고, 미세조직은 페라이트를 기제로 하여 흑연립을 포함하는 것을 의미한다. 반면, 본 발명과는 달리 강 중 잔부 펄라이트가 존재하는 경우에는 경도가 증가하여 절삭 시 공구마모 정도를 증가시켜 절삭성이 저하되며, 보자력, 철손을 높여 연자성이 저하된다.
- [0058] 흑연강은 면적분율로 2~5%의 흑연립을 포함할 수 있다. 우수한 절삭성과 연자성을 동시에 확보하기 위해서는 일정량 이상의 흑연을 확보해야 하며, 면적분율로 흑연립이 2% 이상 포함하여야 흑연강의 절삭 마찰을 감소시키고, 흑연립이 균열 개시처로 작용함으로써 절삭성을 현저히 향상시킬 수 있으므로 충분한 절삭성과 연자성을 확보할 수 있다. 한편, 면적분율로 흑연립이 5%를 초과하여 포함하는 경우에는 절삭성 효과가 포화될 뿐만 아니라 연자성이 저하된다. 또한 제조 측면에서는 열간 압연성을 저하시켜 파손되는 등 생산에 어려움이 있다.
- [0059] 흑연립의 평균 결정립의 크기는 10 μ m 이하일 수 있으며, 특별히 하한은 정하지 않는다. 생성되는 흑연립의 크기가 미세할수록 흑연화 시간이 단축되며, 절삭성 측면에서도 절삭 후 표면 조도가 향상되기 때문이다. 여기서, 흑연립의 평균 결정립 크기는 흑연강의 일 단면을 관찰하여 검출한 입자의 평균 직경을 의미한다.
- [0060] 흑연립의 밀도는 1000개/mm² 이상일 수 있다. 흑연립은 미세하고 균일하게 형성되기만 하면 절삭 마찰을 낮추고 균열 개시처로 작용하여 절삭성이 향상되므로, 밀도에 있어서는 상한을 특별히 정하지 않는다.
- [0061] 흑연강은 보자력 1000A/m에서의 자속밀도가 1.35T 이상일 수 있다.
- [0062] 흑연강은 자속밀도 1.0T에서의 보자력이 200A/m 이하일 수 있다.
- [0063] 흑연강은 주파수 50Hz, 자속밀도 1.7T에서의 철손이 15W/Kg 이하일 수 있다.
- [0064] 상술한 바에 따른 본 발명의 흑연강은 상술한 자속밀도, 보자력, 철손 특성을 모두 가져 연자성이 우수하며, 나아가 절삭성도 우수하다.
- [0065] 이하, 본 발명 흑연강의 제조 방법에 대하여 상세히 설명한다.
- [0066] 본 발명의 일 예에 따른 절삭성 및 연자성이 우수한 흑연강의 제조방법은 먼저 상기의 성분범위를 가지는 잉곳(Ingot)을 주조한 후 1100~1300℃에서 5~10시간 균질화 열처리 하고, 800~1100℃에서 열간압연 후 공냉하여 강재를 제조한다. 그 다음, 준비된 강재를 730~770℃의 온도에서 2~6시간 동안 열처리(항온 열처리후 공냉)하여 흑연강을 제조한다.
- [0067] 본 발명의 흑연화 열처리 공정은 강재 내의 세멘타이트를 흑연화하여, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되도록 열처리하는 공정이다. 흑연화 열처리는 등온 변태 곡선에서 흑연 생성 곡선 노즈(nose)에 해당하는 온도 영역에서 수행된다.
- [0068] 흑연화 열처리 온도범위는 730~770℃일 수 있다. 열처리 온도가 730℃ 미만인 경우에는 6시간의 열처리로도 흑연화 시간이 충분하지 않아, 완전히 흑연화되지 못하여 강 중에 잔부 펄라이트가 존재할 수 있다. 반면, 열처리 온도가 770℃ 초과하는 경우에는 열처리 시 일부 오스테나이트가 생성되고, 냉각 중에 펄라이트가 재생성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 열처리 온도 범위는 730~770℃로 제어하는 것이 바람직하다.
- [0069] 흑연화 열처리 온도시간은 상기의 열처리 온도범위에서 2~6시간 동안 등온 열처리할 수 있다. 흑연화 열처리 시간이 2시간 이하로 너무 짧으면 흑연화가 완전히 완료되지 않으며, 흑연화 열처리 시간이 6시간을 초과하는 경우에는 더 이상 조직 및 물성에 변화가 거의 없다. 따라서, 본 발명의 흑연화 열처리는 730~770℃ 온도범위에서

2-6시간 열처리하도록 제어하는 것이 바람직하다.

- [0070] 상술한 본 발명의 흑연화 열처리로서 강제 내 펄라이트 조직의 거의 모든 세멘타이트를 흑연화하여, 페라이트 기지에 흑연립이 분포되도록 할 수 있다.
- [0071] 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.
- [0072] {실시예}
- [0073] 하기 표 1과 같은 성분계를 갖는 강을 시료로 하여 잉곳(Ingot)으로 주조한 다음 1250℃에서 8시간 동안 균질화 열처리하였다. 이후, 25mm의 두께로 열간압연 후 공냉하여 흑연화 열처리를 제조하였다.
- [0074] 그리고 상기 강재로 흑연화 열처리하여 흑연강을 제조하였다. 흑연화 열처리는 페라이트 기지에 흑연립이 포함된 미세조직을 얻기 위해 6시간 동안 항온 열처리를 하였다.
- [0075] 상기와 같이 제조된 흑연강에 대하여 흑연화율, 흑연립 면적분율, 흑연립 평균 크기, 절삭성 및 자속밀도, 보자력, 철손 특성을 조사하고 그 결과를 하기 표 2에 나타내었다.
- [0076] 흑연화율, 흑연립 면적분율, 흑연립 평균 크기는 화상 분석기(image analyzer)를 이용하여 측정하였다. 측정 방법은 다음과 같다. 각 시편을 일정 크기로 절단하여 에칭은 하지 않고 연마만 한 상태에서 광학 현미경을 이용하여 200배의 배율 하에서 이미지를 촬영하였다. 이렇게 얻은 이미지에서는 기지와 흑연상의 뚜렷한 컨트라스트 차이에 의해 명확하게 구분이 가능하므로, 화상 분석 소프트웨어를 사용하여 분석을 진행하였다. 또한 분석의 신뢰성을 높이기 위해서 시편당 15장씩 이미지를 촬영하여 사용하였다.
- [0077] 절삭성은 절삭 공구에서 플랭크면 마모 깊이로 평가하였으며 다음과 같은 절삭 조건에서 측정되었다. 흑연화 열처리 후, 직경 25mm 환봉으로 가공된 강재를 직경 15mm가 될 때까지 20mm의 길이로 300개 선삭 가공한 후 공구가 마모된 깊이를 측정하였다. 이때 사용된 공구는 써메트 재종으로, 절삭 공정 조건은 150mm/min의 절삭 속도, 1.0mm의 절삭 깊이, 0.1mm/rev의 이송 속도의 조건에서 절삭유의 사용 하에 실시되었다.
- [0078] 자속밀도, 보자력, 철손 특성 등의 전자기 특성은 흑연강에서 너비 60mm, 폭 60mm, 두께 1mm의 판상 시편을 채취한 다음, 가공 응력을 제거하기 위해 수소 분위기의 로(爐)에서 750℃, 2시간 열처리를 한 후 자속밀도, 보자력, 철손을 측정하였다. 자속 밀도는 보자력 1000A/m에서 측정된 값(B₁₀)을, 보자력은 자속 밀도가 1.0T에서 측정된 값을, 철손은 주파수 50Hz, 자속밀도 1.7T에서 측정된 값(W_{17/50})을 기준으로 하여 비교하였다.

표 1

[0079]

구분		C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Ca	N	O	흑연화 열처리 온도/시간 (°C/시간)
발명예	1	0.45	2.80	0.12	0.0092	0.0052	0.0390	0.0141	0.0010	0.0038	0.0032	760/2
	2	0.55	2.43	0.15	0.0078	0.0063	0.0320	0.0134	0.0012	0.0067	0.0023	760/4
	3	0.70	2.29	0.26	0.0080	0.0024	0.0270	0.0140	0.0008	0.0049	0.0020	760/2
	4	0.82	2.33	0.32	0.0092	0.0052	0.0290	0.0123	0.0030	0.0045	0.0032	740/5
	5	0.92	2.71	0.36	0.0078	0.0042	0.0320	0.0133	0.0020	0.0041	0.0043	730/6
	6	0.98	2.94	0.23	0.0072	0.0030	0.0190	0.0150	0.0027	0.0062	0.0024	760/3
비교예	1	0.25	2.52	0.27	0.0068	0.0041	0.0031	0.0120	0.0020	0.0052	0.0022	760/6
	2	0.95	3.41	0.22	0.0076	0.0018	0.0027	0.0132	0.0006	0.0062	0.0031	760/6
	3	0.67	1.80	0.12	0.0083	0.0034	0.0030	0.0143	0.0023	0.0045	0.0030	760/6
	4	0.67	2.12	0.38	0.0082	0.0410	0.0032	0.0070	0.0021	0.0043	0.0031	760/6
	5	0.78	2.29	0.26	0.0092	0.0063	0.0320	0.0404	0.0010	0.0046	0.0032	760/6
	6	1.47	2.92	0.22	0.0045	0.0045	0.0032	0.0125	0.0020	0.0043	0.0031	압연 중 파손
	7	0.53	2.10	0.48	0.0092	0.0024	0.0270	0.0134	0.0010	0.0041	0.0032	760/6
	8	0.51	2.33	0.15	0.0078	0.0052	0.0030	0.0132	0.0002	0.0041	0.0043	760/6
	9	0.68	2.43	0.22	0.7000	0.0021	0.0310	0.0140	0.0015	0.0041	0.0023	720/6
	10	0.75	2.29	0.31	0.0080	0.0024	0.0270	0.0140	0.0023	0.0049	0.0020	780/6

표 2

구분	구성상	흑연화율 (%)	흑연 면적 분율 (%)	흑연 밀도 (개/mm ²)	흑연립 평균크기(μm)	공구 마모 깊이 (μm)	자속 밀도 (B ₁₀)(T)	보자력 (A/m)	철손 (W _{17/50}) (W/Kg)	
발명예	1	F+G	100	2.4	1078	4.12	170	1.46	176	9.2
	2	F+G	100	2.5	1546	3.50	172	1.45	187	10.1
	3	F+G	100	3.2	1992	3.48	120	1.41	181	11.3
	4	F+G	100	2.8	2406	3.00	145	1.40	184	10.4
	5	F+G	100	4.2	2193	3.80	110	1.37	189	9.9
	6	F+G	100	4.4	1031	5.72	115	1.38	187	10.0
비교예	1	F+G	100	1.1	1002	2.93	182	1.46	179	11.2
	2	F+G	100	4.3	1845	4.21	188	1.49	171	8.8
	3	F+P+G	80	3.0	1972	3.42	215	1.21	243	28.7
	4	F+P+G	95	2.1	135	10.89	210	1.31	234	19.3
	5	F+G	100	3.2	1205	4.5	240	1.4	179	13.2
	6	열간 압연중 파손								
	7	F+P+G	88	2.2	1370	3.50	192	1.21	223	12.3
	8	F+G	100	2.3	1216	3.80	240	1.34	184	10.4
	9	F+P+G	88	1.8	1153	3.45	234	1.23	221	20.2
	10	F+P+G	92	1.9	1241	3.22	212	1.21	232	23.2

[0081] (F: 페라이트, P: 펄라이트, G: 흑연)

[0082] 이하에서는 표 1 및 2를 참조하여, 각 발명예와 비교예의 흑연화율, 흑연립 면적분율, 흑연립 평균 크기, 절삭성 및 자속밀도,보자력, 철손 특성을 비교 평가한다.

[0083] 상기, 표 1 및 2를 살펴보면, 비교예 1,2,3,6에서와 같이 흑연 형성을 위해 첨가된 탄소, 실리콘 원소의 첨가량이 본 발명의 범위를 벗어났을 때는 절삭성 또는 전자기적 특성이 열화 되었다.

[0084] 탄소 첨가량에 있어서, 비교예 1에서와 같이 첨가 탄소량이 0.25%로 0.4%보다 미달인 경우에는 흑연화가 100% 이루어져, 펄라이트 없이 흑연립을 포함하는 페라이트 기체의 미세조직을 가졌다. 그러나, 흑연 면적분율이 1.1%로 2% 미만으로 매우 작기 때문에 절삭성 향상에 크게 기여하지 못하고 공구 마모 깊이 정도가 182μm로서 심화되었다.

[0085] 반면, 비교예 6과 같이 첨가 탄소량이 1.47%로 1.0%를 초과하는 경우에는 열간 압연성이 저하되어 압연 중 파손 되었다.

[0086] 이러한 결과로부터 발명예 1 내지 6과 비교예 1 및 6를 비교 평가하면 본 발명과 같이 첨가 탄소량은 0.4~1.0%로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

[0087] 실리콘 첨가량에 있어서, 비교예 3에서와 같이 첨가 실리콘양이 1.80%로 2.0% 미만인 경우 흑연화 속도가 지연되어 6시간 이내에 흑연화를 완료하지 못하였고(흑연화율 80%), 그 결과 잔부 펄라이트가 존재하는 것을 확인할 수 있다(표 2 참조). 이로 인하여 절삭 공구의 마모가 가속화되어 공구 마모 깊이 정도가 215μm로서 심화되었다. 또한, 표 2를 참조하면 비교예 3과 같이 잔부 펄라이트가 존재하는 경우에는 자속밀도 값은 1.21T로 감소하면서보자력, 철손의 값은 각각 243A/m, 28.7W/kg으로 크게 상승하여 연자성이 열화된 것을 확인할 수 있다.

[0088] 한편, 비교예 2와 같이 첨가 실리콘양이 3.41%로 3.0%를 초과할 경우에는 흑연화는 완료되었지만, 실리콘 과다에 의한 고용강화 효과로 공구마모가 촉진되어 공구 마모 깊이 정도가 188μm로서 심화되었다.

[0089] 이러한 결과로부터 발명예 1 내지 6과 비교예 2, 3을 비교 평가하면 본 발명과 같이 첨가 실리콘양은 2.0~3.0%로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

[0090] 망간의 첨가량에 있어서, 비교예 7에서와 같이 첨가 망간양이 0.48%로 0.4%를 초과하는 경우에는 흑연화 속도가

지연되어, 6시간 이내에 흑연화를 완료하지 못하였고(흑연화율 88%), 그 결과 잔부 펠라이트가 존재하여 공구 마모 깊이는 192 μ m로 증가하였으며, 자속밀도 값은 1.21T로 감소하고 보자력, 철손의 값은 각각 223A/m, 12.3W/kg로 증가하여 연자성이 열화된 것을 알 수 있다.

- [0091] 이러한 결과로부터 발명에 1 내지 6과 비교예 7을 비교 평가하면 본 발명과 같이 첨가 망간량은 0.01~0.4%로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0092] 타이타늄 및 황의 첨가량에 있어서, 비교예 4와 같이 타이타늄이 0.0070%로 0.01% 미만이고, 황이 0.0410%로 0.02%를 초과할 경우에는 6시간 흑연화 열처리에도 완전히 흑연화되지 못하고(흑연화율 95%), 잔부 펠라이트가 존재함을 확인할 수 있다(표 2 참조). 이로 인하여 절삭 공구의 마모가 가속화되어 공구 마모 깊이 정도가 210 μ m로서 심화되었으며, 자속밀도 값은 1.31T로 감소하면서 보자력, 철손의 값은 각각 234A/m, 19.3W/kg으로 크게 상승하여 연자성이 열화된 것을 확인할 수 있다.
- [0093] 또한, 비교예 5와 같이 Ti 함량이 0.0404%로 0.03%를 초과하는 경우 정도가 높은 Ti계 산화물의 증가로 인하여 절삭 공구의 마모가 가속화되어 공구 마모 깊이 정도가 240 μ m로서 심화되었다.
- [0094] 이러한 결과로부터 발명에 1 내지 6과 비교예 4, 5를 비교 평가하면 본 발명과 같이 첨가 타이타늄량은 0.01~0.03%로 제어하고, 황의 양은 0.02% 이하로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0095] 칼슘 첨가량에 있어서, 비교예 8과 같이 첨가 칼슘량이 0.0002%로 0.0005% 미만인 경우, 고속 절삭 시 온도 상승에 따라 용융되어 공구면 보호막을 형성하는 저융점 개재물이 형성되지 않아, 각 발명에 비하여 공구 마모 깊이가 정도가 240 μ m로 심화되었다.
- [0096] 이러한 결과로부터 발명에 1 내지 6과 비교예 8을 비교 평가하면 본 발명과 같이 첨가 칼슘량은 0.0005~0.003%로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0097] 흑연화 열처리 조건에 있어서, 비교예 9에서와 같이 흑연화 열처리 온도가 720 $^{\circ}$ C로 730 $^{\circ}$ C 미만인 경우에는 6시간 열처리로도 흑연화 시간이 충분하지 않아, 완전히 흑연화되지 못하고(흑연화율 88%), 잔부 펠라이트가 존재함을 확인할 수 있다(표 2 참조). 흑연 면적분율은 1.8%로 2% 이하의 작은 값으로 측정되었다. 또한, 표 2를 참조하면 비교예 9의 절삭성 및 연자성(자속밀도, 보자력, 철손)은 각 234 μ m(공구 마모 깊이), 1.23T, 221A/m, 20.2W/kg으로, 발명에 1 내지 6의 흑연강에 비하여 절삭성 및 연자성이 열화되었다.
- [0098] 한편, 비교예 10과 같이 흑연화 열처리 온도가 780 $^{\circ}$ C로 770 $^{\circ}$ C를 초과한 경우에는 열처리 시 일부 오스테나이트가 생성되고, 냉각 중에 펠라이트가 재생성(흑연화율 92%)되는 것을 확인할 수 있다(표 2 참조). 흑연 면적분율은 1.9%로 2% 이하의 작은 값으로 측정되었다. 또한, 표 2를 참조하면 비교예 10의 절삭성 및 연자성(자속밀도, 보자력, 철손)은 각 212 μ m(공구 마모 깊이), 1.21T, 232A/m, 23.2W/kg으로, 발명에 1 내지 6의 흑연강에 비하여 절삭성 및 연자성이 열화되었다.
- [0099] 이러한 결과로부터 발명에 1 내지 6과 비교예 9 및 10을 비교 평가하면 본 발명과 같이 흑연화 열처리 온도는 730~770 $^{\circ}$ C로 제어하는 것이 바람직함을 알 수 있다.
- [0100] 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.