



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월16일
(11) 등록번호 10-2278897
(24) 등록일자 2021년07월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01) C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C22C 38/02 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0170980

(22) 출원일자 2019년12월19일

심사청구일자 2019년12월19일

(65) 공개번호 10-2021-0078978

(43) 공개일자 2021년06월29일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020190078238 A
JP2019052360 A
KR1020190078155 A
KR1020190077891 A

(73) 특허권자

주식회사 포스코

경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)

(72) 발명자

박준수

경북 포항시 남구 지곡로 278, 214동 902호 (지곡동, 효자그린2차아파트)

홍재완

대구광역시 수성구 천을로 49, 102동 1206호(시지동, 제립은탑맨션)

송대현

울산광역시 남구 문수로75번길 7, 304동 1402호(무거동, 옥현주공3단지아파트)

(74) 대리인

유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 윤여분

(54) 발명의 명칭 무방향성 전기강판 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015%, 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1 및 식 2를 만족한다.

[식 1]

$$0.005 \leq ([P] + [As]) \leq 0.015$$

(식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)

[식 2]

$$[STD] \leq 0.7 \times [GS]$$

([GS]는 강판 표면에서 5 내지 500 μ m의 입경을 가지는 결정립 10,000개 이상을 관찰하였을 때 측정되는 평균 결정립 입경(μ m)이며 STD는 그 때의 표준 편차(μ m)를 나타낸다.)

(52) CPC특허분류

C21D 8/1233 (2013.01)

C21D 8/1272 (2013.01)

C22C 38/04 (2013.01)

C22C 38/06 (2013.01)

C22C 38/42 (2013.01)

C22C 38/44 (2013.01)

C22C 38/46 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015%, 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1 및 식 2를 만족하는 무방향성 전기강판.

[식 1]

$$0.005 \leq ([P] + [As]) \leq 0.015$$

(식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)

[식 2]

$$[STD] \leq 0.7 \times [GS]$$

([GS]는 강판 표면에서 5 내지 500 μm 의 입경을 가지는 결정립 10,000개 이상을 관찰하였을 때 측정되는 평균 결정립 입경(μm)이며 STD는 그 때의 표준 편차(μm)를 나타낸다.)

청구항 2

제1항에 있어서,

C:0.005 중량% 이하, S: 0.005 중량% 이하, N: 0.005 중량% 이하 및 Ti: 0.005 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함하는 무방향성 전기강판.

청구항 3

제1항에 있어서,

Sn: 0.2 중량% 이하 및 Sb: 0.2 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함하는 무방향성 전기강판.

청구항 4

제1항에 있어서,

Cu:0.05 중량% 이하, Ni:0.05 중량% 이하, Cr:0.05 중량% 이하, Zr:0.01 중량% 이하, Mo:0.01 중량% 이하 및 V:0.01 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함하는 무방향성 전기강판.

청구항 5

제1항에 있어서,

평균 결정립 입경([GS])은 90 내지 200 μm 인 무방향성 전기강판.

청구항 6

제1항에 있어서,

표준 편차([STD])는 60 내지 100 μm 인 무방향성 전기강판.

청구항 7

제1항에 있어서,

상온에서의 비저항(ρ)이 60 $\mu\Omega\text{cm}$ 이상인 무방향성 전기강판.

청구항 8

제1항에 있어서,

철손(W15/50)이 2.0W/Kg이하인 무방향성 전기강판.

청구항 9

제1항에 있어서,
하기 식 3 내지 식 5를 만족하는 무방향성 전기강판.

[식 3]

$$\text{철손}(W5/50)/\text{철손}(W15/50) \leq 0.15$$

[식 4]

$$\text{철손}(W10/50)/\text{철손}(W15/50) \leq 0.45$$

[식 5]

$$\text{자속밀도}(B1)/\text{자속밀도}(B50) \geq 0.65$$

청구항 10

중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015%, 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1을 만족하는 슬라브를 열간압연하여 열연판을 제조하는 단계;

상기 열연판을 냉간압연하여 냉연판을 제조하는 단계 및

상기 냉연판을 최종 소둔하는 단계를 포함하고,

상기 최종 소둔하는 단계에서, 소둔로 입측의 장력이 0.15 내지 0.31kgf/mm²이고, 소둔로 출측의 장력이 0.36 내지 0.62kgf/mm²이고, 균열 후 냉각 시 700℃까지의 냉각속도가 30℃/s이하인 무방향성 전기강판의 제조방법.

[식 1]

$$0.005 \leq ([P]+[As]) \leq 0.015$$

(식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 소둔로 출측의 장력(TS2) 및 상기 소둔로 입측의 장력(TS1)의 차이(TS2-TS1)가 0.20 내지 0.40 kgf/mm²인 무방향성 전기강판의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 일 실시예는 무방향성 전기강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명의 일 실시예는 As, P를 적절히 첨가하고, 집합 조직을 개선하여, 자성을 개선한 무방향성 전기강판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무방향성 전기강판은 주로 회전 기기인 모터 및 발전기 등과 정지기인 소형 변압기 등의 철심용 소재로 사용된다.

[0003] 최근 환경보존 및 에너지 절약에 대한 규제가 강화됨에 따라 전기적 에너지를 기계적 에너지로 또는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 바꾸어 주는 에너지 변환 기기인 모터나 발전기의 효율 향상에 대한 요구가 증대되고 있다. 무방향성 전기강판은 이러한 모터, 발전기 등의 회전 기기 및 소형 변압기등의 정지기에서 철심용 재료로 사용되는 소재이므로, 모터나 발전기의 효율 향상에 대한 요구는 무방향성 전기강판에 대한 특성 향상 요구로 이어지고 있다.

- [0004] 무방향성 전기강판의 대표적인 자기적 특성은 철손과 자속밀도이며, 무방향성 전기강판의 철손이 낮을수록 철심이 자회되는 과정에서 손실되는 철손이 감소하여 효율이 향상되며, 자속밀도가 높을수록 똑같은 에너지로 더 큰 자기장을 유도할 수 있으며 같은 자속밀도를 얻기 위해서는 적은 전류를 인가해도 되기 때문에 에너지 효율을 향상시킬 수 있다. 따라서 에너지 효율 향상을 위해서는 철손은 낮고 자속밀도는 높은 자성이 우수한 무방향성 전기강판 개발기술이 필수적이라고 할 수 있다.
- [0005] 무방향성 전기강판의 중요한 특성 중 철손을 낮추기 위한 가장 기본적인면서도 효율적인 방법으로는 비저항이 큰 원소인 Si, Al, Mn의 첨가량을 증가시키거나 강판의 두께를 얇게 하는 방법이 있다. 하지만 Si, Al, Mn 첨가량 증가는 강의 비저항을 증가시켜 무방향성 전기강판의 철손 중 와류손을 감소시킴으로써 철손을 저감하는 효과가 있지만 첨가비에 따라 그 효과가 상이하며 또한 합금원소 첨가량이 증가할수록 자속밀도가 열위되므로 우수한 철손과 자속밀도를 확보하기 위해서는 적정 첨가량 및 Si, Al, Mn 첨가량 사이의 첨가비를 적절히 제어해야 한다. 두께를 얇게 하는 방법 역시 철손 저감에 매우 효과적이거나 두께가 얇은 강판은 생산성 및 가공성이 떨어져 가공비가 크게 증가한다는 단점이 있다.
- [0006] 무방향성 전기강판의 철손은 낮추면서 자속밀도도 향상시키기 위한 방법으로 REM등 특수 첨가원소를 활용하여 집합조직을 개선하여 자기적 성질을 향상시키거나 온간압연, 2회 압연 2회 소둔 등 추가적인 제조 공정을 도입하는 기술 등도 보고되고 있다. 그러나 이러한 기술들은 모두 제조 원가의 상승을 야기하거나 대량 생산의 어려움이 따르기 때문에 자성이 우수하면서도 상업적으로 생산이 용이한 기술 개발이 필요하다고 할 수 있다. 또한 불순물의 첨가량을 극력으로 억제하고 Ca등의 원소를 첨가함으로써 개재물의 형성을 억제하고 제어하기 위한 기술들도 개발되고 있으나 이 역시 제조 원가의 상승을 야기시키고 그 효과를 명확히 확보하기 쉽지 않은 상황이다.
- [0007] 이러한 문제점을 해결하기 위한 지속적인 노력이 있었으며 많은 기술들이 개발되었다. 무방향성 전기강판에 대한 종래기술 중 최종 소둔 시 가열속도를 50℃/s이상으로 제어함으로써 집합조직을 향상시켜 우수한 자성을 확보할 수 있는 방법을 제시하였는데, 급속가열을 실시함에 따라 집합조직이 향상되는 결과와는 별개로 미세조직이 불균일해짐에 따라 자성이 열위해질 수 있는 부분은 고려되지 못하고 있다.
- [0008] 또한, 집합조직 향상을 통한 자성 개선을 위하여 강중의 산화물계 개재물 안의 MnO와 SiO₂의 조성 중량비 (MnO/SiO₂)를 조절하며 열간압연 시 마무리압연을 강철과 롤 사이의 마찰계수가 0.2이하이면서 마무리 압연 온도가 700℃이상의 페라이트 단상영역에서 실시 후 열연관 소둔, 냉간압연, 냉연관 소둔 하는 방법을 제시하였는데 이 때, 열연관 두께를 1.0mm이하로 제어하여야 하기 때문에 생산성이 떨어져 상업적인 생산이 어렵다는 한계를 가지고 있다.
- [0009] 또한 압연 방향의 자기 특성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조를 위하여 열간압연, 열연관 소둔, 냉간압연, 냉연관 소둔의 공정에 추가로 압하율 3~10%로 skin pass 압연을 하고 다시 소둔하는 공정을 제시하였다. 이 역시 추가 공정으로 인한 원가의 상승 문제를 가지고 있다.
- [0010] 또한, 강에 포함되는 특정 불순물 원소를 매우 낮은 레벨까지 감소시키고 스킨 패스공정을 추가함으로써 응력 제거 소둔 전에는 고강도의 강판, 소둔 시에는 결정립 성장의 용이성으로 인해 저철손의 강판을 얻을 수 있는 방법을 제시하였지만, 불순물의 극저관리를 위한 원가 상승이 야기되는 단점이 있다.
- [0011] 또한, Ca나 Mg 및 REM등 희토류 원소를 첨가함으로써 MnS의 석출을 억제하여 응력 제거 전에는 결정립이 작지만 응력 제거 소둔 시 결정립이 성장하여 우수한 철손을 가질 수 있는 기술을 제시하였다. 하지만 이 역시, 추가 원소의 첨가 및 제어를 위한 제조 원가의 상승이 동반되며 응력제거 소둔을 실시하지 않는 경우 그 효과를 확보하기 어렵다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 일 실시예에서는 무방향성 전기강판 및 그 제조 방법을 제공한다. 더욱 구체적으로 본 발명의 일 실시예에서는 As, P를 적절히 첨가하고, 집합 조직을 개선하여, 자성을 개선한 무방향성 전기강판 및 그 제조 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P: 0.002 내지 0.015% 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1 및 식 2를 만족한다.
- [0014] [식 1]
- [0015] $0.005 \leq ([P] + [As]) \leq 0.015$
- [0016] (식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)
- [0017] [식 2]
- [0018] $[STD] \leq 0.7 \times [GS]$
- [0019] ([GS]는 강관 표면에서 5 내지 500 μ m의 입경을 가지는 결정립 10,000개 이상을 관찰하였을 때 측정되는 평균 결정립 입경(μ m)이며 STD는 그 때의 표준 편차(μ m)를 나타낸다.)
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 C:0.005 중량% 이하, S: 0.005 중량% 이하, N: 0.005 중량% 이하 및 Ti: 0.005 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 Sn: 0.2 중량% 이하 및 Sb: 0.2 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 Cu:0.05 중량% 이하, Ni:0.05 중량% 이하, Cr:0.05 중량% 이하, Zr:0.01 중량% 이하, Mo:0.01 중량% 이하 및 V:0.01 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 평균 결정립 입경([GS])이 90 내지 200 μ m일 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 표준 편차([STD])가 60 내지 100 μ m일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 상온에서의 비저항(ρ)이 60 μ Ω cm 이상일 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 철손(W15/50)이 2.0W/Kg이하일 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 하기 식 3 내지 식 5를 만족할 수 있다.
- [0028] [식 3]
- [0029] $\text{철손}(W5/50) / \text{철손}(W15/50) \leq 0.15$
- [0030] [식 4]
- [0031] $\text{철손}(W10/50) / \text{철손}(W15/50) \leq 0.45$
- [0032] [식 5]
- [0033] $\text{자속밀도}(B1) / \text{자속밀도}(B50) \geq 0.65$
- [0035] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관 제조 방법은 중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015% 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1을 만족하는 슬라브를 열간압연하여 열연관을 제조하는 단계; 열연관을 냉간압연하여 냉연관을 제조하는 단계 및 냉연관을 최종 소둔하는 단계를 포함한다.
- [0036] [식 1]
- [0037] $0.005 \leq ([P] + [As]) \leq 0.015$
- [0038] (식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)
- [0039] 최종 소둔하는 단계에서, 소둔로 입측의 장력이 0.15 내지 0.31kgf/mm²이고, 소둔로 출측의 장력이 0.36 내지 0.62kgf/mm²이고, 균열 후 냉각 시 700 $^{\circ}$ C까지의 냉각속도가 30 $^{\circ}$ C/s이하일 수 있다.
- [0040] 최종 소둔하는 단계에서, 소둔로 출측의 장력(TS2) 및 소둔로 입측의 장력(TS1)의 차이(TS2-TS1)가 0.20 내지 0.40 kgf/mm²일 수 있다.

발명의 효과

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따르면, As, P를 적절히 첨가하고, 집합 조직을 개선함으로써, 자성이 향상된 무방향성 전기강판을 제공할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 제1, 제2 및 제3 등의 용어들은 다양한 부분, 성분, 영역, 층 및/또는 섹션들을 설명하기 위해 사용되나 이들에 한정되지 않는다. 이들 용어들은 어느 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션을 다른 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션과 구별하기 위해서만 사용된다. 따라서, 이하에서 서술하는 제1 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션은 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 제2 부분, 성분, 영역, 층 또는 섹션으로 언급될 수 있다.

[0043] 여기서 사용되는 전문 용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

[0044] 어느 부분이 다른 부분의 "위에" 또는 "상에" 있다고 언급하는 경우, 이는 바로 다른 부분의 위에 또는 상에 있을 수 있거나 그 사이에 다른 부분이 수반될 수 있다. 대조적으로 어느 부분이 다른 부분의 "바로 위에" 있다고 언급하는 경우, 그 사이에 다른 부분이 개재되지 않는다.

[0045] 또한, 특별히 언급하지 않는 한 %는 중량%를 의미하며, 1ppm 은 0.0001중량%이다.

[0046] 본 발명의 일 실시예에서 추가 원소를 더 포함하는 것의 의미는 추가 원소의 추가량 만큼 잔부인 철(Fe)을 대체하여 포함하는 것을 의미한다.

[0047] 다르게 정의하지는 않았지만, 여기에 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 보통 사용되는 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0048] 이하, 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0050] 본 발명의 일 실시예에서 첨가량 및 함유량을 제어해야 하는 중요 원소는 Si, Al, Mn과 P, As다. 철손을 낮추기 위한 가장 효율적인 방법은 Si, Al, Mn을 첨가함으로써 강의 비저항을 증가시키는 것이다. 하지만 Fe에 Si, Al, Mn등이 첨가되면 철손은 감소하지만 포화자속밀도 감소로 인한 자속밀도의 감소를 피할 수 없으며 Si, Al, Mn 첨가량이 많은 고합금계에서는 소재의 취성 증가에 의한 냉간압연성이 열위하게 되어 생산성 확보가 어렵다. 따라서, 저철손이면서도 고자속밀도의 특성을 가지면서 생산성을 확보하기 위해서는 Si, Al, Mn 첨가량 및 첨가비의 적절한 조합이 필요하다. P는 입계 및 표면 편석 원소로 집합조직을 개선하여 자성을 향상시킬 수 있는 원소로 알려져 있다. 본 발명을 통해 As 역시 P와 마찬가지로 편석 원소로서 자성을 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 하지만 위와 같은 편석원소의 경우 그 첨가량이 증가할수록 압연성을 열위하게 하므로 그 첨가량을 적절하게 제어해야 한다. 또한 P와 As는 소정의 점위내에서는 복합적으로 첨가될 경우, 그 효과가 보다 확실하게 나타나므로 자성 및 생산성의 관점에서 두 원소를 소정의 범위로 제어함이 역시 필요하다.

[0052] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015% 및 As:0.002 내지 0.01% 포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함한다.

[0053] 이하에서는 무방향성 전기강판의 성분 한정 이유부터 설명한다.

[0055] Si: 2.50 내지 4.00 중량%

[0056] 실리콘(Si)은 강의 비저항을 증가시켜서 철손 중 와류손실을 낮추기 위해 첨가되는 주요 원소이다. Si가 너무 적게 첨가되면, 저철손 특성을 얻기 어려울 수 있다. 한편 Si가 너무 많이 첨가되면, 자속밀도가 크게 감소하며, 취성증가로 인해 상업적인 공정으로 생산이 어려워 질 수 있다. 따라서, Si를 2.5 내지 4.0 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 2.7 내지 3.9 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 2.9 내지 3.7 중량% 포함할 수 있다.

- [0058] Mn: 0.10 내지 1.00 중량%
- [0059] 망간(Mn)은 Si, Al등과 더불어 비저항을 증가시켜 철손을 낮추는 원소이면서 집합조직을 향상시키는 원소이다. Mn이 너무 적게 첨가될 경우, 미세한 황화물을 형성할 수 있다. Mn이 너무 많이 첨가될 경우 자속밀도가 크게 감소할 수 있다. 따라서, Mn을 0.10 내지 1.00 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.20 내지 0.95 중량% 포함할 수 있다.
- [0061] Al: 0.50 내지 1.50 중량%
- [0062] 알루미늄(Al)은 Si과 함께 비저항을 증가시켜 철손을 감소시키는 중요한 역할을 하며 또한 자기 이방성을 감소시켜 압연 방향과 압연수직 방향의 자성 편차를 감소시키기 때문에 첨가된다. Al이 너무 적게 첨가되는 경우, 전술한 효과를 충분히 얻을 수 없다. 반대로, Al이 너무 많이 첨가되는 경우, 자속밀도가 크게 감소할 수 있다. 따라서, Al을 0.50 내지 1.50 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.60 내지 1.30 중량% 포함할 수 있다.
- [0064] P: 0.002 내지 0.015 중량%
- [0065] 인(P)는 입계 및 표면 편석 원소로 강의 집합조직을 개선하는 효과를 가지고 있다. P가 너무 적게 첨가되는 경우, 전술한 효과를 충분히 얻을 수 없다. P가 너무 많이 첨가되는 경우, 편석효과로 인해 결정립 성장성도 억제되며 압연성이 열위되어 생산성이 떨어질 수 있다. 따라서, P를 0.002 내지 0.015 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.003 내지 0.013 중량% 포함할 수 있다.
- [0067] As:0.002 내지 0.010 중량%
- [0068] 비소(As, 아세닉) 역시 P와 마찬가지로 입계 및 표면 편석 원소로 강의 집합조직을 개선하는 효과를 가지고 있다. As가 너무 적게 첨가되는 경우, 전술한 효과를 충분히 얻을 수 없다. As가 너무 많이 첨가되는 경우, 결정립 성장성이 억제되며 압연성이 열위되어 생산성이 떨어질 수 있다. 따라서, As를 0.002 내지 0.010 중량% 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.002 내지 0.009 중량% 포함할 수 있다.
- [0069] 본 발명의 일 실시예에서 P, As는 하기 식 1을 만족한다.
- [0070] [식 1]
- [0071] $0.005 \leq ([P]+[As]) \leq 0.015$
- [0072] (식 1에서 [P] 및 [As]는 각각, P 및 As의 함량(중량%)를 나타낸다)
- [0073] P와 As는 입계 및 표면에 편석함으로써 강의 재결정 과정 시 집합조직 중 자성에 불리한 {111} 집합조직을 감소시켜 자성을 향상시키는 원소이다. 하지만 그 첨가량이 증가할수록 강의 냉간압연성도 열위해지므로 소정의 범위로 제한되어야 한다. 추가적으로 본 발명의 일 실시예에서 P와 As가 복합 첨가될 경우 자성 개선효과가 보다 크게 나타나는 것을 확인하였고 그 적정 첨가량의 범위에 대해 검토한 결과, 상기 P, As가 식 1을 만족할 경우, 그 효과를 확보할 수 있다는 점을 확인하였다. 더욱 구체적으로 식 1 값은 0.006 내지 0.015가 될 수 있다.
- [0075] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강관은 C:0.005 중량% 이하, S: 0.005 중량% 이하, N: 0.005 중량% 이하 및 Ti: 0.005 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
- [0076] C: 0.005중량% 이하
- [0077] 탄소(C)은 Ti, Nb등과 결합하여 탄화물을 형성하여 자성을 열위시키며 최종제품에서 전기 제품으로 가공 후 사용 시 자기시효에 의하여 철손이 높아져 전기기기의 효율을 감소시키기 때문에 0.005 중량% 이하로 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.003 중량% 이하로 포함할 수 있다.
- [0079] S: 0.005중량% 이하
- [0080] 황(S)는 자기적 특성에 유해한 MnS, CuS 및 (Cu,Mn)S 등의 황화물을 형성하는 원소이므로 가능한 한 낮게 첨가할 수 있다. 따라서 상한을 0.005 중량%로 제한할 수 있다. S를 너무 적게 포함할 경우, 오히려 집합조직 형성에 불리하며 미세한 황화물 형성이 촉진되어 자성이 저하될 수 있기 때문에, 0.001 중량% 이상 함유토록 하는 것도 고려할 수 있다. 즉, S를 더 포함하는 경우, 0.005 중량% 이하 더욱 구체적으로는 0.001 내지 0.005 중량% 포함할 수 있다.
- [0082] N: 0.005중량% 이하
- [0083] 질소(N)는 Al, Ti, Nb등과 강하게 결합함으로써 질화물을 형성하여 결정립성장을 억제하는 등 자성에 해로운 원

소이므로 적게 함유시킬 수 있다. 따라서, N을 더 포함하는 경우, 0.005 중량% 이하로 포함할 수 있다. 더욱 구체적으로 0.003 중량% 이하로 포함할 수 있다.

- [0085] Ti: 0.005중량% 이하
 - [0086] 티타늄(Ti)는 C, N과 결합함으로써 미세한 탄화물, 질화물을 형성하여 결정립성장을 억제하며 많이 첨가될 수록 증가된 탄화물과 질화물로 인해 집합 조직도 열위하게 되어 자성이 나빠지게 된다. 따라서, Ti를 더 포함하는 경우, 0.005 중량%이하로 제한한다. 더욱 구체적으로 0.003 중량% 이하로 포함할 수 있다.
 - [0088] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 Sn: 0.2 중량% 이하 및 Sb: 0.2 중량% 이하 중 1종 이상을 더 포함할 수 있다.
 - [0089] Sn, Sb는 집합 조직을 개선하는 효과가 있어, 추가적인 자성 개선을 위해 첨가할 수 있다. 단, 첨가량이 너무 많은 경우, 결정립 성장성을 억제시키고 생산성을 저하시키는 문제가 있어 그 첨가량이 각각 0.2중량% 이하로 제한할 수 있다.
 - [0091] Cu, Ni, Cr의 경우 불순물 원소들과 반응하여 미세한 황화물, 탄화물 및 질화물을 형성하여 자성에 유해한 영향을 미치므로 이들 함유량을 각각 0.05 중량%이하로 제한한다. 또한 Zr, Mo, V등도 강력한 탄질화물 형성 원소이기 때문에 가능한 첨가되지 않는 것이 바람직하며 각각 0.01중량%이하로 함유되도록 한다.
 - [0093] 잔부는 Fe 및 불가피한 불순물을 포함한다. 불가피한 불순물에 대해서는 제강 단계 및 방향성 전기강판의 제조 공정 과정에서 혼입되는 불순물이며, 이는 해당 분야에서 널리 알려져 있으므로, 구체적인 설명은 생략한다. 본 발명의 일 실시예에서 전술한 합금 성분 외에 원소의 추가를 배제하는 것은 아니며, 본 발명의 기술 사상을 해치지 않는 범위 내에서 다양하게 포함될 수 있다. 추가 원소를 더 포함하는 경우 잔부인 Fe를 대체하여 포함한다.
 - [0094] 불가피한 불순물로는 예컨대, B, Mg 등이 있을 수 있으며, B : 0.002 중량% 이하, Mg : 0.005 중량% 이하로 관리되어야 될 수 있다.
 - [0096] 본 발명의 일 실시예에서 결정립은 하기 식 2를 만족한다.
 - [0097] $[STD] \leq 0.7 \times [GS]$
 - [0098] ([GS]는 강판 표면에서 5 내지 500 μm 의 입경을 가지는 결정립 10,000개 이상을 관찰하였을 때 측정되는 평균 결정립 입경(μm)이며 STD는 그 때의 표준 편차(μm)를 나타낸다.)
 - [0099] 식 2는 결정립 입경이 평균에 가깝게 분포하는 것을 의미한다. 다만, 결정립이 커질수록 본포가 멀어질 수 밖에 없으며, 결정립의 입경에 비례하여, 표준 편차를 제한한다. 상기 2 값을 만족하지 못할 시, 결정립이 편차가 큰 것을 의미하고, 궁극적으로 자성이 열위된다. 더욱 구체적으로 $0.60 \times [GS] \leq [STD] \leq 0.68 \times [GS]$ 을 만족할 수 있다.
 - [0100] 표준 편차(STD)는 구체적으로 모표준 편차일 수 있다. 더욱 구체적으로 n개의 결정립에 대하여 하기 식으로 계산될 수 있다.
- $$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Gsi - Gs)^2}{n}}$$
- [0101]
 - [0102] Gs_i 는 i번째 결정립의 입경, Gs 는 평균 결정립 입경을 나타낸다.
 - [0103] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 평균 결정립 입경([GS])이 90 내지 200 μm 일 수 있다. 전술한 범위에서 자성이 더욱 향상된다.
 - [0104] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 표준 편차([STD])가 60 내지 100 μm 일 수 있다. 전술한 범위에서 자성이 더욱 향상된다.
 - [0105] 결정립 입경은 판면(ND면)을 기준으로 하며, 결정립 면적과 동일한 가상의 원을 가정하여, 그 원의 직경을 입경으로 한다.
 - [0106] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 철손(W15/50)이 2.0W/Kg이하일 수 있다.

- [0107] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판은 하기 식 3 내지 식 5를 만족할 수 있다.
- [0108] [식 3]
- [0109] $\text{철손}(W_5/50)/\text{철손}(W_{15}/50) \leq 0.15$
- [0110] [식 4]
- [0111] $\text{철손}(W_{10}/50)/\text{철손}(W_{15}/50) \leq 0.45$
- [0112] [식 5]
- [0113] $\text{자속밀도}(B_1)/\text{자속밀도}(B_{50}) \geq 0.65$
- [0114] 철손($W_{5/50}$)은 50HZ의 주파수로 0.5T의 자속밀도를 유기하였을 때의 철손이다. 철손($W_{10/50}$)은 50HZ의 주파수로 1.0T의 자속밀도를 유기하였을 때의 철손이다. 철손($W_{15/50}$)은 50HZ의 주파수로 1.5T의 자속밀도를 유기하였을 때의 철손이다.
- [0115] 자속밀도(B_1)는 100A/m의 자기장에서 유도되는 자속밀도이다. 자속밀도(B_{50})는 5000A/m의 자기장에서 유도되는 자속밀도이다.
- [0116] 식 3 내지 식 5를 만족함으로써, 모터의 소재로 활용 시 특정 주파수 및 자장 영역에서만 우수한 특성을 나타내지 않고 주파수 및 자장의 변화에도 일정하게 우수한 효율을 나타낼 수 있다.
- [0118] 본 발명의 일 실시예에 의한 무방향성 전기강판의 제조방법은 슬라브를 열간 압연하여 열연판을 제조하는 단계; 열연판을 냉간압연하여 냉연판을 제조하는 단계 및 냉연판을 최종 소둔하는 단계를 포함한다.
- [0119] 먼저, 슬라브를 열간압연 한다.
- [0120] 슬라브의 합금 성분에 대해서는 진술한 무방향성 전기강판의 합금성분에서 설명하였으므로, 중복되는 설명은 생략한다. 무방향성 전기강판의 제조 과정에서 합금 성분이 실질적으로 변동되지 않으므로, 무방향성 전기강판과 슬라브의 합금 성분은 실질적으로 동일하다.
- [0121] 구체적으로 슬라브는 중량%로, Si: 2.5 내지 4.0%, Mn: 0.1 내지 1.0%, Al: 0.5 내지 1.5%, P:0.002 내지 0.015% 및 As:0.002 내지 0.01%포함하고, 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하고, 하기 식 1을 만족할 수 있다.
- [0122] 그 밖의 추가 원소에 대해서는 무방향성 전기강판의 합금성분에서 설명하였으므로, 중복되는 설명은 생략한다.
- [0123] 슬라브를 열간압연하기 전에 가열할 수 있다. 슬라브의 가열 온도는 제한되지 않으나, 슬라브를 1200℃이하로 가열할 수 있다. 슬라브 가열 온도가 너무 높으면, 슬라브 내에 존재하는 질화물, 탄화물, 황화물 등의 석출물이 재고용된 후 열간압연 및 소둔시 미세 석출되어 결정립 성장을 억제하고 자성을 저하시킬 수 있다.
- [0124] 열연판 두께는 2 내지 2.3mm가 될 수 있다. 열연판을 제조하는 단계에서 마무리 압연 온도는 800℃ 이상일 수 있다. 구체적으로 800 내지 1000℃ 일 수 있다. 열연판은 700℃ 이하의 온도에서 권취될 수 있다.
- [0125] 열연판을 제조하는 단계 이후, 열연판을 열연판 소둔하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이 때 열연판 소둔 온도는 950 내지 1150℃일 수 있다. 열연판소둔 온도가 너무 낮으면, 조직이 성장하지 않거나 미세하게 성장하여 냉간 압연 후 소둔 시 자성에 유리한 집합조직을 얻기가 쉽지 않다. 소둔온도가 너무 높으면 자결정립이 과도하게 성장하고 판의 표면 결함이 과다해 질 수 있다. 열연판 소둔은 필요에 따라 자성에 유리한 방위를 증가시키기 위하여 수행되는 것이며, 생략도 가능하다. 소둔된 열연판을 산세할 수 있다.
- [0126] 다음으로, 열연판을 냉간압연하여 냉연판을 제조한다. 냉간압연은 0.10mm 내지 0.50 mm의 두께로 최종 압연한다. 필요시 냉간압연하는 단계는 1회의 냉간압연 단계 또는 중간 소둔을 사이에 둔 2회 이상의 냉간압연 단계를 포함할 수 있다. 이 때, 중간 소둔 온도는 850 내지 1150℃일 수 있다.
- [0127] 냉간압연하는 단계에서 최종 압하율을 50% 내지 95%로 조절할 수 있다.
- [0128] 다음으로, 냉연판을 최종 소둔한다. 냉연판을 소둔하는 공정에서 소둔 온도는 통상적으로 무방향성 전기강판에 적용되는 온도면 크게 제한은 없다. 무방향성 전기강판의 철손은 결정립 크기와 밀접하게 연관된다. 무방향성 전기강판의 철손은 이력손실과 와류손실로 구분할 수 있는데, 이력손실은 결정립 입경이 클수록 감소하고 반대

로 와류손실은 결정립 크기가 클수록 증가하게 되어 이력손실과 와류손실의 합이 최소가 되는 적정 결정립 크기가 존재한다. 따라서 거시적인 관점에서는 최적 결정립 크기를 확보할 수 있는 소둔온도를 도출하고 적용하는 것이 중요하고 소둔온도는 900 내지 1100℃라면 적당하다. 온도가 너무 낮을 경우 결정립이 너무 미세하여 이력손실이 증가할 수 있다. 온도가 너무 높을 경우 결정립이 너무 조대하여 와류손이 증가하여 철손이 열위될 수 있다. 하지만 미시적인 관점에서 보면 동일한 결정립 크기라고 하더라도 미세조직이 보다 균일할수록 철손이 우수하다. 평균 결정립 입경은 유사하더라도 표준 편차가 크다면 철손을 열위하게 되므로 미세조직의 균일성을 확보하기 위하여 냉연관 소둔 시 900 내지 1100℃ 범위 내의 최고 온도 도달 후 냉각 시 700℃까지의 냉각속도가 30℃/s이하가 되도록 제어할 경우, 우수한 자성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 더욱 구체적으로 냉각 속도는 15 내지 30℃/s가 될 수 있다.

[0129] 또한, 본 발명의 일 실시예에서 최종 소둔 시 또 하나의 중요한 제어 인자는 소둔로 입측 및 출측의 소둔 장력 임을 확인하였다. 소둔 장력이 높을 경우, 판내 잔류응력이 남게 되어 자성을 열위시키는데, 고자장영역에서의 자성에는 크게 영향을 미치지 않지만 저자장영역에서는 잔류응력에 따라 자성이 크게 열위되는 현상을 관찰하였다. 고자장 영역에서의 특성 뿐 아니라 저자장 영역의 특성도 중요한데 일반적으로는 고자장 영역의 특성을 주로 확인하고 저자장 영역의 특성은 확인하지 않는 경향이 있다. 하지만 모터 소재로 사용 시 모터의 효율에는 고자장 뿐 아니라 저자장 영역에서의 특성도 중요하므로 저자장 영역의 특성도 개선할 필요가 있다.

[0130] 이를 위해 소둔로 입측의 장력이 0.15 내지 0.31kgf/mm²이고, 소둔로 출측의 장력이 0.36 내지 0.62kgf/mm²으로 제어할 경우, 잔류응력을 감소시킬 수 있고 고자장 뿐 아니라 저자장 영역에서의 특성도 개선할 수 있다.

[0131] 소둔로 출측의 장력(TS2) 및 상기 소둔로 입측의 장력(TS1)의 차이(TS2-TS1)가 0.20 내지 0.40 kgf/mm²일 수 있다. 전술한 범위로 조절할 경우, 전술한 효과를 더욱 향상시킬 수 있다.

[0133] 최종 소둔 후, 절연피막을 형성할 수 있다. 상기 절연피막은 유기질, 무기질 및 유기물 복합피막으로 처리될 수 있으며, 기타 절연이 가능한 피막제로 처리하는 것도 가능하다.

[0135] 이하에서는 실시예를 통하여 본 발명을 좀더 상세하게 설명한다. 그러나 이러한 실시예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이며, 본 발명이 여기에 한정되는 것은 아니다.

[0137] **실시예 1**

[0138] 표 1 및 표 2 및 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 성분으로 슬라브를 제조하였다. 이를 1180℃로 가열하고 열간압연하여, 판두께 2.3mm의 열연관을 제조하였다. 열간압연된 열연관은 1000℃에서 열연관 소둔 후, 산세하였다. 이후, 열연관을 냉간압연하여 두께를 0.35mm로 만들고 최종 소둔을 시행하였다.

[0139] 최종 소둔 온도는 하기 표 2에 정리하였으며, 소둔로 입측 장력은 0.25kgf/mm², 출측 장력은 0.55kgf/mm²으로 제어하였고 최고 온도에서 소둔 후 냉각 시 700℃까지의 냉각속도는 25℃/s로 실시하였다.

[0140] 각각의 시편에 대하여 미세조직을 관찰하여 결정립 크기를 분석하였고 Epstein sample 가공을 통해 철손 W5/50, W10/50, W15/50과 자속밀도 B1, B50을 측정하여 그 결과를 하기 표 2 및 표 3에 나타내었다.

표 1

[0141]

강종	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	N	As
A1	0.0012	3.43	0.38	0.003	0.0025	0.87	0.0024	0.0031	0.003
A2	0.0027	3.04	1.23	0.003	0.0032	0.49	0.0019	0.0021	0.008
A3	0.0019	2.42	0.53	0.007	0.0022	1.07	0.0018	0.0009	0.005
A4	0.0034	3.25	0.37	0.005	0.0012	0.72	0.0008	0.0013	0.002
A5	0.0033	3.13	0.83	0.006	0.0027	0.62	0.0027	0.0013	0.009
A6	0.002	3.25	0.36	0.011	0.0024	1.12	0.0022	0.0031	0.012
A7	0.0031	3.36	0.23	0.009	0.0018	0.79	0.0036	0.0026	0.004
A8	0.0024	3.04	0.58	0.007	0.0038	1.06	0.0019	0.0022	0.006
A9	0.0028	2.52	0.79	0.013	0.0018	0.66	0.0011	0.003	0.007
A10	0.0024	2.91	0.84	0.003	0.002	0.96	0.0019	0.0032	0.008
A11	0.0029	3.24	0.67	0.001	0.0014	1.33	0.0009	0.002	0.001

표 2

[0142]

강종	비저항 ($\mu\Omega\text{cm}$)	[P]+[As] (%)	소둔온도 ($^{\circ}\text{C}$)	GS (μm)	STD (μm)	[STD]/ [GS]
A1	64	0.006	990	106	72	0.68
A2	60.1	0.011	1020	92	63	0.68
A3	55.8	0.012	1040	125	83	0.66
A4	60.3	0.007	970	101	63	0.62
A5	60.4	0.015	1040	147	89	0.61
A6	64.8	0.023	1000	82	65	0.79
A7	61.5	0.013	990	113	75	0.66
A8	62.9	0.013	1080	162	89	0.55
A9	53.8	0.02	970	89	67	0.75
A10	61.8	0.011	1050	134	84	0.63
A11	68.7	0.002	1070	144	88	0.61

표 3

[0143]

강종	W5/50 (W/Kg)	W10/50 (W/Kg)	W15/50 (W/Kg)	(W5/50)/ (W15/50)	(W10/50)/ (W15/50)	B1 (T)	B50 (T)	B1 /B50	비고
A1	0.28	0.77	1.86	0.15	0.41	1.14	1.67	0.68	발명예
A2	0.33	0.88	2.15	0.15	0.41	1.09	1.65	0.66	비교예
A3	0.28	0.94	2.27	0.12	0.41	1.09	1.65	0.66	비교예
A4	0.25	0.73	1.85	0.14	0.39	1.12	1.68	0.67	발명예
A5	0.24	0.83	1.93	0.12	0.43	1.13	1.68	0.67	발명예
A6	0.32	0.98	2.23	0.14	0.44	1.07	1.64	0.65	비교예
A7	0.25	0.78	1.84	0.14	0.42	1.14	1.68	0.68	발명예
A8	0.27	0.81	1.95	0.14	0.42	1.12	1.67	0.67	발명예
A9	0.35	1.02	2.36	0.15	0.43	1.08	1.64	0.66	비교예
A10	0.26	0.78	1.93	0.13	0.4	1.12	1.69	0.66	발명예
A11	0.32	0.89	2.12	0.15	0.42	1.07	1.65	0.65	비교예

[0144]

상기 표 1 내지 표 3에 나타난 바와 같이, 합금 성분 및 [STD]/[GS] 인자가 적절히 제어된 A1, A4, A5, A7, A8, A10 최종 소둔 후 철손(W15/50)이 2.0W/Kg이하이면서 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식과 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식도 모두 만족하는 매우 우수한 자성을 나타내었다.

[0145]

반면, A2는 Mn을 과량 포함하고, Al을 적게 포함하여, 그 결과 철손 W15/50 및 B50이 열위하게 나타났다.

[0146]

A3는 Si를 적게 포함하여 그 결과 철손 W15/50 및 B50이 열위하게 나타났다.

[0147]

A6은 As가 과량 포함되고, [P]+[As]을 만족하지 못하여, [STD]/[GS] 범위를 만족하지 못하였고, 그 결과 철손 W15/50 및 B50이 열위하게 나타났다.

[0148]

A9는 [P]+[As]을 만족하지 못하여, [STD]/[GS] 범위를 만족하지 못하였고, 그 결과 철손 W15/50 및 B50이 열위하게 나타났다.

[0149]

A11은 P 및 As가 너무 적게 포함하여, 철손 W15/50 및 B50이 열위하게 나타났다.

[0151]

실시예 2

[0152]

표 4 및 표 5 및 잔부 Fe 및 불가피한 불순물을 포함하는 성분으로 슬라브를 제조하였다. 이를 1160 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열하고 열간압연하여, 판두께 2.1mm의 열연판을 제조하였다. 열간압연된 열연판은 1020 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열연판 소둔 후, 산세하였다. 이후, 열연판을 냉간압연하여 두께를 0.35mm로 만들고 최종 소둔을 시행하였다.

[0153]

최종 소둔 온도, 소둔로 입측 장력, 소둔로 출측 장력, 최고 온도에서 소둔 후 냉각 시 700 $^{\circ}\text{C}$ 까지의 냉각속도는 하기 표 5에 정리하였다.

[0154] 각각의 시편에 대하여 미세조직을 관찰하여 결정립 크기를 분석하였고 Epstein sample 가공을 통해 철손 W5/50, W10/50, W15/50과 자속밀도 B1, B50을 측정하여 그 결과를 하기 표 5 및 표 6에 나타내었다.

표 4

[0155]

강종	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	N	As
B1	0.0036	2.97	0.41	0.006	0.0038	0.99	0.0017	0.0022	0.005
B2	0.0015	3.64	0.43	0.007	0.0022	0.75	0.0035	0.0029	0.005
B3	0.0041	2.78	0.59	0.01	0.0016	1.1	0.0012	0.0013	0.003
B4	0.0029	3.49	0.54	0.005	0.0021	0.79	0.0032	0.0042	0.002
B5	0.0039	3.3	0.92	0.008	0.0021	0.59	0.001	0.0027	0.006
B6	0.0028	2.56	0.2	0.016	0.0033	1.48	0.005	0.0035	0.006
B7	0.0033	3.38	0.25	0.01	0.0029	0.8	0.0023	0.0016	0.007
B8	0.0019	2.91	0.55	0.003	0.0018	0.96	0.0023	0.0031	0.009
B9	0.0036	2.63	0.73	0.004	0.0025	1.24	0.0015	0.0031	0.002
B10	0.0041	3.34	0.23	0.009	0.0031	0.85	0.0034	0.0013	0.004
B11	0.0029	3.14	0.56	0.003	0.0037	1.05	0.001	0.0019	0.001
B12	0.0018	2.78	0.93	0.006	0.0038	0.92	0.002	0.0022	0.003

표 5

[0156]

강종	비저항 ($\mu\Omega\text{cm}$)	[P]+[As] (%)	소둔 온도 ($^{\circ}\text{C}$)	입측 장력 (kgf / mm^2)	출측 장력 (kgf / mm^2)	냉각속도 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)	GS (μm)	STD (μm)	[STD] /[GS]
B1	60.4	0.011	1070	0.29	0.49	23	164	97	0.59
B2	65.4	0.012	980	0.47	0.68	37	102	73	0.72
B3	60.5	0.013	1040	0.24	0.39	21	126	81	0.64
B4	64.7	0.007	980	0.19	0.55	29	107	67	0.63
B5	62.5	0.014	1040	0.3	0.52	24	143	93	0.65
B6	60.2	0.022	1020	0.4	0.52	36	97	77	0.79
B7	62	0.017	1050	0.43	0.77	24	104	70	0.67
B8	60.1	0.012	1000	0.19	0.47	26	111	76	0.68
B9	61.2	0.006	1050	0.16	0.66	37	119	86	0.72
B10	62	0.013	1010	0.28	0.44	18	109	70	0.64
B11	63.8	0.004	970	0.17	0.7	42	82	68	0.83
B12	60.4	0.009	990	0.36	0.42	42	95	72	0.76

표 6

[0157]

강종	W5/50 (W/Kg)	W10/50 (W/Kg)	W15/50 (W/Kg)	(W5/50)/ (W15/50)	(W10/50)/ (W15/50)	B1 (T)	B50 (T)	B1 /B50	비고
B1	0.23	0.79	1.81	0.13	0.44	1.14	1.68	0.68	발명예
B2	0.35	1.02	2.16	0.16	0.47	1.06	1.65	0.64	비교예
B3	0.25	0.75	1.85	0.13	0.41	1.13	1.67	0.68	발명예
B4	0.28	0.78	1.88	0.15	0.41	1.11	1.67	0.66	발명예
B5	0.27	0.83	1.92	0.14	0.43	1.13	1.68	0.67	발명예
B6	0.4	1.12	2.33	0.17	0.48	1.04	1.65	0.63	비교예
B7	0.34	1	2.15	0.16	0.47	1.03	1.64	0.63	비교예
B8	0.23	0.78	1.89	0.12	0.41	1.16	1.67	0.69	발명예
B9	0.37	1.14	2.38	0.16	0.48	1.02	1.64	0.62	비교예
B10	0.23	0.8	1.87	0.12	0.43	1.13	1.67	0.68	발명예
B11	0.37	1.05	2.19	0.17	0.48	1.05	1.64	0.64	비교예
B12	0.43	1.12	2.4	0.18	0.47	1.05	1.64	0.64	비교예

- [0158] 상기 표 4 내지 표 6에 나타난 바와 같이, 합금 성분, 제조 공정 조건 및 결정립 입경 특성을 모두 만족한 B1, B3, B4, B5, B8, B10은 최종 소둔 후 철손(W15/50)이 2.0W/Kg이하이면서 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식도 모두 만족하는 매우 우수한 자성을 나타내었다.
- [0159] 반면, B2는 소둔로 입측 장력, 출측의 장력 및 냉각 속도 조건을 만족하지 못하였고 [STD]/[GS]가 적절히 형성되지 못하여, 그 결과, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였을 뿐만 아니라 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0160] B6은 P의 성분, [P]+[As]를 만족하지 못하였고 소둔로 입측 장력과 냉각속도를 만족하지 못하여 [STD]/[GS]가 적절히 형성되지 못하고, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였을 뿐만 아니라 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0161] B7은 [P]+[As]를 만족하지 못하였고, 소둔로 입측 장력, 출측 장력의 범위를 벗어나, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였을 뿐만 아니라 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0162] B9는 소둔로 출측의 장력 및 냉각속도를 만족하지 못하였고 그 결과 [STD]/[GS]가 적절히 형성되지 못하였다. 그 결과, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였고 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0163] 한편, B11은 As의 성분 첨가량 범위 및 [P]+[As]를 만족하지 못하였고 소둔로 출측 장력과 냉각속도를 만족하지 못하여 [STD]/[GS]가 적절히 형성되지 못하고, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였을 뿐만 아니라 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0164] 마지막으로 B12는 소둔로 입측의 장력 및 냉각속도를 만족하지 못하였고 그 결과 [STD]/[GS]가 적절히 형성되지 못하였다. 그 결과, 철손(W5/50)/철손(W15/50) ≤ 0.15과 철손(W10/50)/철손(W15/50) ≤ 0.45의 철손 관계식 및 자속밀도(B1)/자속밀도(B50) ≥ 0.65의 자속밀도 관계식을 만족하지 못하였고 철손 W15/50 및 자속밀도 B50도 열위하게 나타났다.
- [0166] 본 발명은 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 제조될 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.