



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0074009
(43) 공개일자 2012년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) C21D 8/12 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0135948
(22) 출원일자 2010년12월27일
심사청구일자 2011년03월21일

(71) 출원인
주식회사 포스코
경상북도 포항시 남구 동해안로 6261 (괴동동)
(72) 발명자
김재훈
경상북도 포항시 남구 동해안로6213번길 41, 동
촌생활관2동 205호 (동촌동)
김재관
경상북도 포항시 남구 지곡로 102, 9동 203호 (지
곡동, 낙원아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
홍성철

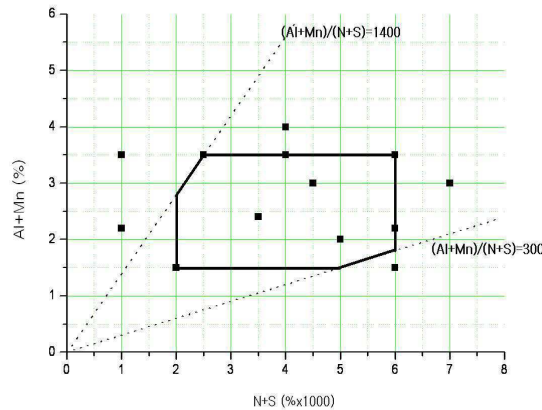
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 자성이 우수한 무방향성 전기강판 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 무방향성 전기강판에 관한 것으로, 중량%로 Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 구성되고, 상기 Al, Mn, N, S는 $\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5$, $0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006$, $300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400$ 의 조성식을 만족하도록 함유되며, 단면의 큐브 집합조직의 분율이 3% 이상이고, $<100>/ND$ 의 분율이 18%이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판 및 그 제조방법을 제공한다. 이에 따라 Al, Si, Mn, N, S의 첨가성분을 최적화하여 조대한 개재물을 분포밀도를 높임으로서 결정립 성장성과 자벽의 이동성을 향상시켜 자성이 우수하고, 경도가 낮아 고객사가 가공성과 생산성이 우수한 최고급 무방향성 전기강판을 제조할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

김용수

경상북도 포항시 북구 환호로 24, 환호해맞이그린
빌 201동 504호 (환호동)

이승곤

경상남도 창원시 대산면 유등리 820번지

특허청구의 범위

청구항 1

중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 이루어지고, 상기 Al, Mn, N, S는 하기의 조건식1 내지 3의 조성식을 만족하도록 함유되며, 단면의 큐브 집합조직의 분율이 3% 이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

$$\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5 \quad \text{----- 조건식1}$$

$$0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006 \quad \text{----- 조건식2}$$

$$300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400 \quad \text{----- 조건식3}$$

상기 [Al], [Mn], [N], [S]는 각각 Al, Mn, N, S의 함량(중량%)을 의미한다.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 Al, Si, Mn은 하기의 조건식4의 조성식을 만족하도록 함유되는 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

$$3.0 \leq \{[Al]+[Si]+[Mn]/2\} \leq 6.5 \quad \text{----- 조건식4}$$

상기 [Si]는 Si의 함량(중량%)을 의미한다.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 Al, Si, Mn은 하기의 조건식5의 조성식을 만족하도록 함유되는 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

$$1 \leq [Al]/[Mn] \leq 8 \quad \text{----- 조건식5}$$

청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3중 어느 한 항에 있어서,

단면 비커스 경도(Hv1)가 225이하인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

청구항 5

청구항 1 내지 청구항 3중 어느 한 항에 있어서,

강판 중에 질화물과 황화물의 단독 혹은 이들이 복합된 개재물이 형성되며, 평균크기가 300nm 이상인 개재물의 분포밀도는 0.02개/mm² 이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

청구항 6

청구항 1 내지 청구항 3중 어느 한 항에 있어서,

<100>//ND의 분율이 18% 이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

상기 <100>//ND는 <001>면이 강판 수직방향에 평행하게 놓여 있는 집합조직을 의미한다.

청구항 7

중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 이루어지고, 강판 중에 질화물과 황화물 단독 혹은 이들이 복합된 개재물이 형성되며, 평균크기가 300nm 이상인 개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 이상이고, 단면의 큐브 집합조직의 분율이 3% 이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

<100>//ND의 분율이 18% 이상인 자성이 우수한 무방향성 전기강판.

상기 <100>//ND는 <001>면이 강판 수직방향에 평행하게 놓여 있는 집합조직을 의미한다.

청구항 9

중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 이루어지고, 상기 Al, Mn, N, S는 $\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5$, $0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006$, $300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400$ 의 조성식을 만족하도록 함유되는 슬라브를 1,100~1,250℃의 온도로 가열한 다음 열간압연하되 열간마무리 압연은 800℃ 이상에서 실시하고, 열간압연된 열연판을 850~1,100℃의 온도범위에서 열연판 소둔하거나 혹은 열연판 소둔을 생략하고, 산세한 다음, 70~95%의 압하율로 냉간압연하고, 냉간압연된 냉연판을 750~1,100℃의 온도범위에서 최종소둔하되, 최종소둔 승온속도는 15~30℃/s로 제어하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

상기 [Al], [Mn], [N], [S]는 각각 Al, Mn, N, S의 함량(중량%)을 의미한다.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 슬라브는 Al, Si, Mn을 $3.0 \leq \{[Al]+[Si]+[Mn]/2\} \leq 6.5$ 의 조성식을 만족하도록 함유하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

상기 [Si]는 Si의 함량(중량%)을 의미한다.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 슬라브는 Al, Mn을 $1 \leq [Al]/[Mn] \leq 8$ 의 조성식을 만족하도록 함유하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 12

청구항 9 내지 청구항 11중 어느 한 항에 있어서,

최종소둔된 강판 중에 질화물과 황화물의 단독 혹은 이들이 복합된 개재물이 형성되며, 평균크기가 300nm 이상인 개재물의 분포밀도를 $0.02\text{개}/\text{mm}^2$ 이상으로 제어하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

청구항 13

청구항 9 내지 청구항 11중 어느 한 항에 있어서,

단면의 큐브 집합조직의 분율을 3% 이상으로 제어하고, <100>//ND의 분율을 18% 이상으로 제어하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

상기 <100>//ND는 <001>면이 강판 수직방향에 평행하게 놓여 있는 집합조직을 의미한다.

청구항 14

청구항 9 내지 청구항 11중 어느 한 항에 있어서,

0.3~0.5%의 Al을 첨가하여 탈산이 이루어지도록 한 다음, 잔여 합금원소를 투입하며, 잔여 합금원소 투입 후에 온도를 1,500~1,600℃로 유지하여 슬라브를 제조하는 자성이 우수한 무방향성 전기강판의 제조방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 무방향성 전기강판의 제조에 관한 것으로, 강의 첨가성분을 최적으로 설정하여 강중에 조대한 개재물의 분포밀도를 높이고 결정립의 성장성과 자벽의 이동성을 향상시킴으로써 자성을 향상시키고, 낮은 경도의 확보에 의하여 제품의 생산성 및 타발성을 개선시킨 최고급 무방향성 전기강판 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 본 발명은 회전기기의 철심재료로서 사용되는 무방향성 전기강판의 제조에 관한 것으로, 무방향성전기강판은 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 중요한 부품으로 자기적 특성이 매우 중요하다. 자기적 특성으로 주로 언급되는 것이 철손과 자속밀도이다. 철손은 에너지 변환과정에서 열로 사라지는 에너지이므로 낮을수록 좋으며, 자속밀도는 회전체의 동력원이라 할 수 있으므로 높을수록 에너지 효율에 유리하다.

[0003] 통상적으로 무방향성 전기강판은 철손을 낮추기 위해서 Si를 주원소로 첨가한다. Si의 함량이 증가하면 자속 밀도가 감소하며, Si의 함량이 3%를 초과하면 가공성이 저하되어 냉간압연이 곤란해진다. 아울러 고객사에서 타발시 금형의 수명도 줄어든다. 따라서 Si의 함량을 저감하고 Al의 함량을 증가시켜 자기적 성질 및 기계적 성질을 개선하려는 시도가 이루어지고 있으나, 최고급 무방향성 전기강판으로서의 자성에는 미치지 못하고 있고 대량 생산 공정상의 어려움 때문에 아직 실용화되지 못하고 있다.

[0004] 한편, 무방향성 전기강판에서 좋은 자성을 얻기 위해서는 강중에 존재하는 미세한 개재물과 같은 C, S, N, Ti 등의 불순물을 극저로 제어하여 결정립의 성장성을 향상시킬 필요가 있다. 그러나 통상의 전기강판의 제조공정에서 불순물을 극저로 관리하는 것은 쉽지 않은 일이며, 제강단계에서 비용의 증가가 발생하는 단점이 있다.

[0005] 제강단계에서 제거되지 못한 불순물은 연속주조시에 슬라브내에 질화물이나 황화물의 형태로 존재하게 되고, 열간압연을 위하여 슬라브를 1,100℃ 이상의 온도로 재가열함에 따라 질화물이나 황화물과 같은 개재물은 재용해되었다가 열간압연 종료시에 다시 미세하게 석출되게 된다. 일반적인 무방향성 전기강판에서 석출되는 개재물인 MnS, AlN은 약 50nm 정도의 미세한 평균크기를 갖는 것으로 관찰되며, 이와 같이 생성된 미세한 개재물은 소둔시 결정립의 성장을 방해하여 히스테리시스 손실을 증가시킬 뿐만 아니라 자화시 자벽의 이동을 방해하여 투자율을 감소시킨다.

[0006] 그러므로 무방향성 전기강판의 제조공정에서는 이러한 미세한 개재물이 존재하지 못하도록 제강 단계에서부터 불순물을 적절히 제어하고, 남아있는 개재물들이 열간압연시에 재고용되어 더욱 미세하게 석출되는 것을 억제하는 것이 중요하다.

[0007] 집합조직의 측면에서 살펴보면, 무방향성 전기강판은 강판표면에 수직인 방향(ND)으로 자화가 용이한 방향인 <100>이 위치하는 것이 가장 이상적이며, 특히 도 3(a)에 도시된 바와 같이, 큐브(Cube) 집합조직({001}<100>)의 집적도가 높을수록 자기특성이 우수해진다. 반면에 도 3(b)에 도시된 바와 같이, <100>에 비해 자화가 용이하지 않은 <110>이 압연방향으로 배열된 α -fiber와, <100>에 비해 자화가 용이하지 않은 <111>방위가 압연수직방향으로 배열된 γ -fiber의 집적도는 낮은 것이 바람직하다.

[0008] 이러한 집합조직의 형성은 합금성분계, 재결정 온도조건, 결정립 크기 및 성장과 밀접한 관계가 있으며, 일반적인 무방향성 전기강판에는 냉간압연 및 결정립 성장시에 큐브 집합조직({001}<100>)과 같은 자성에 유리한 방위들의 분율이 감소하여 그 값은 3% 미만으로 줄어든다. 따라서 자성이 우수한 무방향성 전기강판을 제조하기 위해서는 큐브 집합조직의 집적도를 높일 수 있는 성분계의 개발과 재결정 소둔 조건의 설정이 매우 중요한 과제이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 바와 같은 종래기술이 갖는 제반 문제점을 해결하고자 창출된 것으로, 강의 합금원소인 Al, Si, Mn과, 불순물 원소인 N과 S의 성분비율을 최적의 조건으로 관리하여 강중에 조대한 개재물의 분포밀도를 높이고 미세한 개재물의 발생빈도는 낮춤으로써 결정립의 성장성과 자벽의 이동성을 향상시켜 우수한 자성을 나타내면서도 낮은 경도 특성으로 인하여 생산성 및 타발성이 우수한 최고급 무방향성 전기강판을 제공함을

목적으로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 무방향성 전기강관은 중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 구성되고, 상기 Al, Mn, N, S는 하기의 조건식1 내지 3의 조성식을 만족하도록 함유되며, 단면의 큐브 집합조직의 분율이 3% 이상이고, <100>//ND의 분율이 18%이상인 것을 특징으로 한다.
- [0011] $\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5$ ----- 조건식1
- [0012] $0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006$ ----- 조건식2
- [0013] $300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400$ ----- 조건식3
- [0014] 상기 [Al], [Mn], [N], [S]는 각각 Al, Mn, N, S의 함량(중량%), 상기 <100>//ND는 <001>면이 강관 수직방향에 평행하게 놓여 있는 집합조직을 의미한다.
- [0015] 본 발명의 무방향성 전기강관은 상기 Al, Si, Mn이 하기의 조건식4 내지 6의 조성식을 만족하도록 함유되는 것을 특징으로 한다.
- [0016] $3.0 \leq \{[Al]+[Si]+[Mn]/2\} \leq 6.5$ ----- 조건식4
- [0017] $0.3 \leq [Al]/[Si] \leq 1.3$ ----- 조건식5
- [0018] $1 \leq [Al]/[Mn] \leq 8$ ----- 조건식6
- [0019] 상기 [Si]는 Si의 함량(중량%)을 의미한다.
- [0020] 본 발명의 무방향성 전기강관은 중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 구성되고, 강관 중에 질화물과 황화물 단독 혹은 이들이 복합된 개재물이 형성되며, 평균크기가 300nm 이상인 개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 이상이고, 단면의 큐브 집합조직의 분율이 3% 이상, <100>//ND의 분율이 18%이상, 단면 비커스 경도(Hv1)가 225이하인 것을 특징으로 한다.
- [0021] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 무방향성 전기강관의 제조방법은 중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 구성되고, 상기 Al, Mn, N, S는 $\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5$, $0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006$, $300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400$ 의 조성식을 만족하도록 함유되는 슬라브를 1,100℃ 이상으로 가열한 다음 열간압연하되 열간마무리 압연은 800℃ 이상에서 실시하고, 열간압연된 열연관을 850~1,100℃의 온도범위에서 열연관 소둔하거나 혹은 열연관 소둔을 생략하고, 산세한 다음, 70~95%의 압하율로 냉간압연하고, 냉간압연된 냉연관을 750~1,100℃의 온도범위에서 최종소둔하되, 최종소둔 승온속도는 15~30℃/s로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0022] 본 발명의 무방향성 전기강관의 제조방법은 상기 슬라브에 Al, Si, Mn이 $3.0 \leq \{[Al]+[Si]+[Mn]/2\} \leq 6.5$, $0.3 \leq [Al]/[Si] \leq 1.3$, $1 \leq [Al]/[Mn] \leq 8$ 의 조성식을 만족하도록 함유되는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 본 발명의 무방향성 전기강관의 제조방법은 평균크기가 300nm 이상인 개재물의 분포밀도를 0.02개/mm² 이상으로 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 본 발명의 무방향성 전기강관의 제조방법은 0.3~0.5%의 Al을 첨가하여 탈산이 이루어지도록 한 다음, 잔여 합금원소를 투입하며, 잔여 합금원소 투입 후에 용강의 온도를 1,500~1,600℃로 유지하여 슬라브를 제조하는 것을 또 하나의 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명에 의하면 Al, Si, Mn의 합금원소와 N와 S의 불순물 원소의 성분비율을 적절히 관리하여 조대한 개재물의 분포밀도를 높임으로써 결정립의 성장성과 자벽의 이동성이 향상되어 자성이 우수하고, 매우 낮은 경도를 갖는 최고급 무방향성 전기강관을 안정적으로 제조할 수 있다. 또한 고객사 가공성과 생산성이 우수하며, 제품의 생산단가를 낮추어 원가를 절감하는 효과를 얻게 된다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 무방향성 전기강판중의 복합개재물을 나타낸 그림.
 도 2는 [N]+[S]를 가로축으로 하고, [Al]+[Mn]을 세로축으로 하여 평균크기가 300nm 이상인 거대한 복합개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 이상인지 여부를 기준으로 구분하여 나타낸 그래프.
 도 3은 자성에 유리한 집합조직과 자성에 불리한 집합조직을 나타낸 그림.
 도 4는 집합조직 조사를 위해 무방향성 전기강판의 단면(TD방향)을 EBSD(Electron back scattered diffraction)로 관찰하여 얻어진 방위분포함수(ODF, Orientation Distribution Function)를 나타낸 그림.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 상기의 기술적인 문제점을 해결하기 위하여 본 발명자는 강의 합금원소, 불순물 원소 및 각 원소간의 관계가 개재물의 형성에 미치는 종류별 영향과 이에 따라 자성과 가공성에 미치는 영향에 대하여 각각 조사한 결과, 강에 첨가되는 합금원소중에서 Al, Si, Mn과, 불순물 원소인 N, S의 함량을 적절히 조절하고 Al/Si와 Al/Mn, Al+Si+Mn/2, Al+Mn, N+S, (Al+Mn)/(N+S)의 비율을 최적으로 관리함으로써 강판의 경도를 저하시키고 강판 중에 평균크기 300nm 이상의 거대한 복합 개재물의 분포밀도를 높일 수 있으며, 이에 의하여 자기적 특성이 월등히 향상되고 제품의 생산성 및 타발성이 개선되는 사실에 주목하여 본 발명을 완성하였다.
- [0028] 본 발명은 중량%로, Al: 1.0~3.0%, Si: 2.3~3.5%, Mn: 0.5~2.0%, N: 0.001~0.004%, S: 0.0005~0.004%, 잔부 Fe 및 기타 불가피하게 혼입되는 불순물로 구성되고, 상기 Al, Mn, N, S는 $\{[Al]+[Mn]\} \leq 3.5$, $0.002 \leq \{[N]+[S]\} \leq 0.006$, $300 \leq \{([Al]+[Mn])/([N]+[S])\} \leq 1,400$, $3.0 \leq \{[Al]+[Si]+[Mn]/2\} \leq 6.5$, $0.3 \leq [Al]/[Si] \leq 1.3$, $1 \leq [Al]/[Mn] \leq 8$ 의 조성식을 만족하도록 함유시킴에 의하여 평균크기가 300nm 이상인 질화물과 황화물의 단독 혹은 이들이 복합된 개재물의 분포밀도를 0.02개/mm² 이상으로 높인 것을 특징으로 하며, 이에 따라 자성이 우수하면서도 단면 비커스 경도(Hv1) 225이하의 낮은 경도로 인해 우수한 가공성을 갖는 최고급 무방향성 전기강판을 제조할 수 있다.
- [0029] 또한 본 발명은 제강단계에서 0.3~0.5%의 Al을 먼저 첨가하여 탈산이 이루어지도록 한 다음, 잔여 합금원소를 투입하고, 잔여 합금원소 투입 후에 용강의 온도를 1,500~1,600℃로 유지하여 상기의 성분조성을 갖는 슬라브를 제조하고, 슬라브를 1,100~1,250℃의 온도로 가열한 다음 열간압연하되 열간마무리 압연은 800℃ 이상에서 실시하고, 열간압연된 열연판을 850~1,100℃의 온도범위에서 열연판 소둔하거나 이를 생략하고, 산세한 다음, 70~95%의 압하율로 냉간압연하고, 냉간압연된 냉연판을 750~1,100℃의 온도범위에서 최종소둔하되, 최종소둔 시 승온속도를 15~30℃/s로 하여 강판 단면에서의 큐브 집합조직 분율을 3% 이상으로 향상시킴으로써 자성과 가공성이 우수한 무방향성 전기강판을 제조함을 특징으로 한다.
- [0030] 강의 합금원소인 Al, Si, Mn에 대하여 설명하면 상기 합금원소들은 전기강판의 철손을 낮추기 위하여 첨가되는 원소이나, 그 첨가되는 함량이 증가함에 따라 자속밀도는 감소하게 되며 재료의 가공성이 열화해지므로, 이러한 합금성분들을 적절히 설정하여 철손은 물론 자속밀도를 개선시키고 경도도 적정수준으로 유지시켜야 한다.
- [0031] 아울러, Al과 Mn은 불순물 원소인 N, S와 결합하여 질화물이나 황화물 등의 개재물을 형성하게 된다. 이러한 개재물은 자성에 큰 영향을 미치게 되므로 자성의 열화가 최소화되도록 하는 개재물의 형성 빈도를 높일 필요성이 있다.
- [0032] 본 발명자는 Al과 Mn, Si, N, S가 특정 조건을 만족하도록 함유되면 질화물이나 황화물 등이 복합되어 이루어진 거대한 복합 개재물이 형성되는 것을 최초로 발견하였으며, 이러한 복합 개재물의 분포밀도를 조정함으로써 가공성을 열화시키는 합금원소들을 최소량 함유시킴에도 불구하고 자성이 월등히 향상되는 점에 착안하여 본 발명에 대하여 제안하게 된 것이다.
- [0033] 먼저, 본 발명을 구성하는 성분원소의 범위와 그 성분원소간의 함량비율을 한정된 이유에 대하여 설명한다.
- [0034] [Al: 1.0~3.0중량%]
- [0035] Al은 재료의 비저항을 높여 철손을 낮추며 질화물을 형성하는 역할을 하므로 첨가되며, 조대한 질화물이 형성될 수 있도록 1.0~3.0%로 첨가된다. Al이 1.0%미만으로 함유되면 개재물을 충분히 성장시킬 수 없으며, 3.0%를 초과하여 함유되면 가공성이 열화되고 제강과 연속주조 등의 모든 공정상에 문제를 발생시켜 통상의 공정

으로 생산할 수 없게 된다.

- [0036] [Si: 2.3~3.5중량%]
- [0037] Si는 재료의 비저항을 높여 철손을 낮추어주는 역할을 하며, 2.3%미만으로 함유될 경우, 고주파 철손 저감 효과가 없으며, 3.5%를 초과하여 함유될 경우 재료의 경도가 상승하여 생산성 및 다발성이 열위해지므로 바람직하지 않다.
- [0038] [Mn: 0.5~2.0중량%]
- [0039] Mn은 재료의 비저항을 높여 철손을 개선하고 황화물을 형성시키는 역할을 하며, 0.5%이상으로 함유되어야 개재물 조대화 효과가 발휘된다. Mn이 2.0%를 초과하도록 함유되면 자성에 불리한 [111]집합조직의 형성을 조장하므로 Mn의 함량은 0.5~2.0%로 제한함이 바람직하다.
- [0040] [N: 0.001~0.004중량%]
- [0041] N은 불순물 원소로서, 제조공정중에 미세한 질화물을 형성하여 결정립 성장을 억제하여 철손을 열위시킨다. 따라서 질화물의 형성을 억제시켜야 하나 이를 위해서는 추가적으로 많은 비용과 공정시간을 필요로 하여 경제적이지 않으므로 후술되는 바와 같이 불순물 원소인 N과의 친화력이 큰 원소를 적극 이용하여 개재물을 조대하게 성장시켜 결정립 성장에 미치는 영향을 줄이는 방법이 보다 바람직하다. 이와 같이 개재물을 조대하게 성장시키기 위해서는 N를 0.001~0.004%범위로 제어하는 것이 필수이다. N이 0.004%를 초과하면 개재물의 조대화가 이루어지지 않아 철손이 증가되며, 보다 바람직하게는 N은 0.003%이하로 함유되도록 한다.
- [0042] [S: 0.0005~0.004중량%]
- [0043] S는 불순물 원소로서, 제조공정중에 미세한 황화물을 형성하여 결정립 성장을 억제하여 철손을 열위시킨다. 따라서 황화물의 형성을 억제시켜야 하나 이를 위해서는 추가적으로 많은 비용과 공정시간을 필요로 하여 경제적이지 않으므로 후술되는 바와 같이 불순물 원소인 S와의 친화력이 큰 원소를 적극 이용하여 개재물을 조대하게 성장시켜 결정립 성장에 미치는 영향을 줄이는 방법이 보다 바람직하다. 이와 같이 개재물을 조대하게 성장시키기 위해서는 S를 0.0005~0.004%범위로 제어하는 것이 필수이다. S가 0.004%를 초과하면 개재물의 조대화가 이루어지지 않아 철손이 증가되며, 보다 바람직하게는 S는 0.003%이하로 함유되도록 한다.
- [0044] 상기의 불순물 원소 외에도 C, Ti과 같은 불가피하게 혼입되는 불순물들이 포함될 수 있다. C는 자기시효를 일으키므로 0.004%이하, 바람직하게는 0.003%이하로 제한하는 것이 좋다. Ti는 무방향성 전기강판에 있어서 바람직하지 않은 결정방위인 [111]집합조직의 성장을 촉진하므로 0.004%이하, 보다 바람직하게는 0.002%이하로 제한하는 것이 좋다.
- [0045] 본 발명에서 Al과 Mn의 합계량인 [Al]+[Mn]은 3.5% 이하로 한정되는데, 이는 Al과 Mn의 합계량이 3.5%를 초과하면 자성에 불리한 [111]집합조직의 분율이 증가하여 자성이 열위해지기 때문이다. Al과 Mn의 합계량이 1.5%미만이 되면 질화물, 황화물 혹은 이 두가지의 복합개재물이 조대하게 형성되지 않아 자성이 열위해지나, 본 발명에서 Al은 1.0%이상으로 함유되고, Mn은 0.5%이상으로 함유되어 Al과 Mn의 합계량은 1.5% 이상이 되므로 자성의 열화가 방지된다.
- [0046] 본 발명에서 N과 S의 합계량인 [N]+[S]는 0.002~0.006%로 한정되는데, 이는 이 범위에서 개재물이 조대하게 성장되기 때문이다. N과 S의 합계량이 0.006%를 초과하면 미세한 개재물의 분율이 증가되어 자성이 열화된다.
- [0047] 본 발명에서 Al, Mn, N, S는 $300 \leq ([Al]+[Mn])/([N]+[S]) \leq 1,400$ 의 조성식을 만족하도록 함유된다. 여기서 [Al], [Mn], [N], [S]는 각각 Al, Mn, N, S의 함량(중량%)을 의미한다. 이 범위내에서는 개재물이 조대화되어 거대한 복합개재물의 분포밀도가 증가됨에 의하여 철손이 향상되나, 이 범위를 벗어나게 되면 개재물의 조대화가 되지 않고 거대한 복합개재물의 형성빈도가 낮으며 자성에 불리한 집합조직이 형성된다.
- [0048] 도 1은 본 발명의 무방향성 전기강판중의 복합개재물을 나타낸 그림이다.
- [0049] Al, Mn, N, S의 함량이 최적으로 관리되는 범위내에서 개재물은 통상재와 대비하여 수배이상 성장하여 300nm 이상의 평균크기를 갖는 조대한 복합개재물의 형성빈도가 높아지고, 그 결과 약 50nm 정도의 평균크기를 갖는 미세한 개재물이 줄어들게 되어 자성이 개선되며, 거대한 복합개재물의 분포밀도가 $0.02\text{개}/\text{mm}^2$ 이상인 경우 자성이 월등히 향상된다.
- [0050] 이러한 조대한 복합개재물의 형성은 제강단계에서 이루어지는 것으로 추정되는 것으로서, 이에 대한 정확한 생성 메커니즘은 아직 분명히 밝혀진 것은 아니나, 제강단계에서 초기 Al의 투입시 탈산작용에 의하여 Al계

산화물과 질화물이 형성되고, 추가적인 Al 및 Mn 등의 합금원소 첨가와 버블링시 본 발명에서 규명한 Al, Mn, Si, N, S의 성분비율을 만족하는 성분계에서는 Al계 산화물/질화물이 성장되고 이와 동시에 Mn계 황화물이 그 위에 석출되는 것에 기인하는 것으로 사료된다.

- [0051] 도 2는 [N]+[S]를 가로축으로 하고, [Al]+[Mn]을 세로축으로 하여 평균크기가 300nm 이상인 거대한 복합개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 이상인지 여부를 기준으로 구분하여 나타낸 그래프이다.
- [0052] 도 2의 도시를 참조하면, Al과 Mn의 합계량인 [Al]+[Mn]이 3.5% 이하이고, N와 S의 합계량인 [N]+[S]이 0.002~0.006인공과 동시에, Al과 Mn의 합계량의 N와 S의 합계량에 대한 비율인 ([Al]+[Mn])/([N]+[S])가 300~1,400 인 본 발명의 범위(굵은선 내부)에서는 개재물이 조대화되고 평균크기가 300nm 이상인 거대한 복합개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 보다 높아 자성이 우수한 반면, 본 발명을 벗어나는 범위에서는 조대한 개재물이 형성되지 않고 평균크기가 300nm 이상인 거대한 복합개재물의 분포밀도가 0.02개/mm² 보다 낮으며 집합조직이 열위하여 자성이 저하됨을 알 수 있다.
- [0053] 조대한 개재물은 주로 질화물과 황화물이 복합되어 300nm 이상의 평균크기를 갖는 것으로 관찰되었으나, 여러 개의 질화물들이 복합되거나 여러 개의 황화물들이 복합되어 300nm 이상의 평균크기를 갖는 것도 이에 포함되며, 질화물이나 황화물이 단독으로 이루어져 300nm 이상으로 성장된 것도 이에 포함될 수 있다. 여기서, 개재물의 평균크기는 강판 단면에서의 개재물의 최장길이와 최단길이를 측정하고 이를 평균하여 구한 값으로 하였다.
- [0054] 본 발명에서 Al의 Si에 대한 비율인 [Al]/[Si]은 0.3~1.3으로 한정함이 바람직하다. 이는 Al의 Si에 대한 비율이 0.3~1.3인 경우 결정립의 성장성이 우수하고 재료의 경도가 낮아져 생산성 및 타발성이 향상되기 때문이다. [Al]/[Si]이 0.3미만에서는 개재물이 크게 성장되지 않아 결정립의 성장성이 나빠져 자성이 열위해지며, [Al]/[Si]이 1.3을 초과하면 재료의 집합조직이 나빠져 자속밀도가 열위해지게 된다.
- [0055] 본 발명에서 Al의 Mn에 대한 비율인 [Al]/[Mn]은 1~8로 한정함이 바람직하다. 이는 Al의 Mn에 대한 비율이 1~8인 경우 개재물의 성장성이 뛰어나 철손 특성이 우수하며, 반대로 이 범위에서 벗어나는 경우 개재물의 성장성이 떨어지고 자성에 유리한 집합조직의 분율이 감소되기 때문이다.
- [0056] 다음으로 비저항(고유저항)과 관련되는 합금성분의 비율한정에 대하여 설명한다. 최근 친환경 자동차의 수요가 급격히 증가함에 따라 고속으로 회전가능한 모터에 사용될 수 있는 제품이 요구되고 있다. 모터의 회전수가 증가하면 내부 철심에서의 손실중 와전류 손실의 분율이 급격히 증가하게 된다. 이 와전류 손실을 줄이기 위해서는 비저항을 늘려주어야 하며 47이상의 비저항을 확보하는 것이 바람직하다. 아울러 최근 냉연기술의 발전에도 불구하고 비저항이 87을 초과할 경우 합금원소의 첨가량이 증가되어 가공성이 불량해지고 통상적인 냉간압연으로는 생산이 불가능하므로 비저항은 87이하가 적절하다.
- [0057] 성분계와 고유저항의 관계는 다음의 실험식을 이용하여 구하였다.
- [0058]
$$\rho = 13.25 + 11.3([Al] + [Si] + [Mn])/2$$
 (ρ : 고유저항)
- [0059] 이 실험식에 의하면 비저항 47~87을 만족하기 위해서는 [Al]+[Si]+[Mn]/2를 3.0~6.5%로 관리하여야 한다.
- [0060] 이하에서는 본 발명에 따른 무방향성 전기강판의 제조방법에 대하여 설명한다. 본 발명에 따른 무방향성 전기강판의 제조방법은 제강단계에서 우선 전체 Al의 투입량 중에서 0.3~0.5%를 먼저 첨가하고, 강중의 탈산이 충분히 일어나도록 한 후에 잔여 합금원소들을 투입하는 것이 바람직하다. 합금원소 투입후에는 용강의 온도를 1,500~1,600℃로 유지시켜 강중의 개재물이 충분히 성장되도록 하여 제조한 후 이를 연속주조 공정에서 응고시켜 슬라브를 제조한다. 이어서 슬라브를 가열로에 장입하여 1,100℃ 이상 1,250℃ 이하의 온도로 재가열한다. 슬라브를 1,250℃를 초과하는 온도로 가열하게 되면 자성을 해치는 석출물이 재용해되어 열간압연후 미세하게 석출될 수 있으므로 1,250℃ 이하의 온도에서 슬라브를 가열한다.
- [0061] 슬라브가 재가열되면, 이어서 열간압연을 수행한다. 열간압연시 열간마무리 압연은 800℃ 이상의 온도에서 실시하는 것이 바람직하다.
- [0062] 열간압연된 열연판은 850~1,100℃의 온도에서 열연판 소둔한다. 열연판소둔 온도가 850℃ 미만이면 조직이 성장하지 않거나 미세하게 성장하여 자속밀도의 상승 효과가 적으며, 소둔온도가 1,100℃를 초과하면 자기특성이 오히려 열화되고, 판형상의 변형으로 인해 압연작업성이 나빠질 수 있으므로, 그 온도범위는 850~1,100℃로 제한한다. 보다 바람직한 열연판의 소둔온도는 950~1,100℃이다. 열연판 소둔은 필요에 따라 자성에 유리

한 결정방위를 증가시키기 위하여 수행되는 것이나, 열연판 소둔을 생략하는 것도 가능하다.

- [0063] 상기와 같이 열연판 소둔하거나 생략한 다음, 열연판을 산세하고, 소정의 판두께가 되도록 냉간압연한다. 냉간압연은 약 70~95%의 압하율로 실시할 수 있다. 본 발명은 냉간압연성에 영향을 미치는 Si, Mn, Al, P의 합금원소의 첨가량이 적절히 조절되어 냉간압연성이 우수하므로 높은 압하율의 적용이 가능하며, 따라서 1회의 냉간압연만으로 두께 0.15mm 정도의 박판으로 제조가 가능하다. 냉간압연시 필요에 따라 중간소둔을 포함한 2회의 냉간압연을 수행하거나, 2회의 소둔을 적용하는 방법도 가능하다.
- [0064] 냉간압연된 냉연판은 최종소둔을 실시한다. 최종소둔시 결정립경은 70~150 μ m가 되도록 하는 것이 자성 향상에 유리하다. 최종소둔 온도가 750 $^{\circ}$ C 미만이면 재결정이 충분히 발생하지 못하고, 최종소둔 온도가 1,100 $^{\circ}$ C를 초과하게 되면 표층부 산화층이 깊게 형성되어 자성이 저하되므로 최종소둔은 750~1,100 $^{\circ}$ C 온도에서 수행함이 바람직하다.
- [0065] 최종소둔시 균열온도까지의 승온속도는 15~30 $^{\circ}$ C/s로 하는 것이 좋다. 승온속도가 15 $^{\circ}$ C/s 미만에서는 자성에 불리한 집합조직인 <111>//ND, 즉 <001>면이 강관 수직방향(ND)에 평행하게 놓여 있는 집합조직의 분율이 증가하며, 승온속도가 30 $^{\circ}$ C/s를 초과하는 경우 공정비용이 과도하게 증가하기 때문이다.
- [0066] EBSD로 얻어진 ODF 분석시 공차를 15 $^{\circ}$ 를 기준으로 하였을 때, 상기와 같이 최종소둔된 강관 단면의 큐브 집합조직의 분율은 3% 이상으로 관찰되며, <100>//ND (<001>면이 강관 수직방향(ND)에 평행하게 놓여 있는 집합조직)의 분율은 18% 이상, <111>//ND의 분율은 25%이하로 된다.
- [0067] 최종소둔된 강관은 통상의 방법으로 절연피막 처리후 고객사로 출하된다. 절연피막 코팅시 통상적인 코팅재의 적용이 가능하며, 크롬계(Cr-type)나 무크롬계(Cr-free type)중 어느 것이든 제한되지 않고 사용가능하다.
- [0068] 이하, 실시예를 참조하여 본 발명을 구체적으로 설명한다. 이하의 실시예에서 특별히 언급되지 않은 한 성분 함량은 중량%로 나타낸 것이다.

실시예 1

- [0069] 실험실에서 진공용해하여 하기의 표 1에 나타낸 것과 같은 성분의 강괴를 제조하였다. 소재의 불순물 C, S, N, Ti는 모두 0.002%로 제어하였으며, 용강에 Al을 0.3~0.5% 첨가하여 개재물의 형성을 조장한 후, 나머지의 Al과 Si, Mn을 투입하여 강괴를 제조하였다. 각 소재는 1,150 $^{\circ}$ C로 가열하고 850 $^{\circ}$ C에서 열간마무리 압연하여 판두께 2.0mm의 열연판을 제작하였다. 열간압연된 열연판은 1,050 $^{\circ}$ C에서 4분간 소둔한 다음 산세하였다. 그 뒤 냉간압연하여 판두께를 0.35mm로 한 후 1,050 $^{\circ}$ C에서 38초간 최종소둔을 행하였다.
- [0070] 각각에 대한 개재물 크기와 개재물 분포밀도, 철손, 자속밀도 및 경도를 측정하여 하기 표 2에 나타내었다. 개재물의 관찰을 위한 샘플 제작은 철강재료에서 일반적인 방법인 레플리카법을 이용하였으며, 장치로는 투과 전자현미경을 사용하였다. 이때 가속전압은 200kV를 인가하였다.

표 1

[0071]

강종	Al	Si	Mn	C	S	N	Ti
A1	3.0	2.3	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A2	2.5	1.7	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A3	1.0	2.3	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A4	1.5	2.3	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A5	2.0	2.7	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A6	1.0	2.7	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A7	0.5	2.7	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A8	3.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A9	2.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
A10	1.5	3.0	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A11	3.0	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A12	1.5	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A13	3.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A14	2.5	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
A15	1.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002

표 2

[0072]

강종	Al/Si	Al/Mn	Al+Mn	N+S	(Al+Mn)/(N+S)	Al+Si+Mn/2	개재물 크기 (nm)	개재물 분포밀도 (1/mm ²)	철손 (W15/50; W/Kg)	자속밀도 (B50; Tesla)	경도 (Hv1)	비고
A1	1.3	3.0	4.0	0.0040	1000	5.8	250	0.01	2.0	1.62	225	비교예
A2	1.5	2.5	3.5	0.0040	875	4.7	200	0.01	2.3	1.63	195	비교예
A3	0.4	1.0	2.0	0.0040	500	3.8	300	0.10	2.2	1.67	200	발명예
A4	0.7	1.9	2.3	0.0040	575	4.2	400	0.20	2.2	1.66	205	발명예
A5	0.7	2.5	2.8	0.0040	700	5.1	500	0.15	2.0	1.67	200	발명예
A6	0.4	1.3	1.8	0.0040	450	4.1	450	0.09	2.1	1.66	195	발명예
A7	0.2	0.6	1.3	0.0040	325	3.6	50	0.01	2.5	1.66	190	비교예
A8	1.2	4.4	4.3	0.0040	1075	6.9	75	0.01	2.0	1.62	230	비교예
A9	0.8	3.1	3.3	0.0040	825	5.9	400	0.25	2.1	1.66	220	발명예
A10	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	5.0	600	0.10	2.1	1.67	225	발명예
A11	0.9	3.0	4.0	0.0040	1000	6.7	250	0.005	2.3	1.62	230	비교예
A12	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	5.2	400	0.15	2.0	1.66	220	발명예
A13	1.2	3.0	4.0	0.0040	1000	6.0	75	0.01	2.0	1.62	220	비교예
A14	1.0	2.5	3.5	0.0040	875	5.5	400	0.10	2.1	1.64	225	발명예
A15	0.4	1.0	2.0	0.0040	500	4.0	350	0.15	2.1	1.67	210	발명예

[0073]

본 발명의 범위에 속하는 강종 A3-A6, A9, A10, A12, A14, A15의 경우, 경도가 낮아 생산성 및 고객사 타발성이 우수하며, 크기 300nm 이상의 조대한 개재물이 관찰되고 그 분포밀도가 0.02(1/mm²)보다 높아 자성이 우수하다.

[0074]

반면, 강종A1, A8, A11, A13은 Al+Mn의 비율이 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다. 강종A2는 Al/Si 비율이 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다. 강종A7은 Al/Si, Al/Mn 비율 및 Al+Mn 함량이 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다. 강종 A8, A11은 Al+Si+Mn/2이 본 발명의 범위에서 벗어나 경도가 높아 생산성 및 타발성이 열위하였다.

실시예 2

[0075]

실험실에서 진공용해하여 하기의 표 3에 나타난 것과 같은 성분의 강괴를 제조하였다. 이 때 소재의 불순물 N, S의 함량을 다양하게 하여 성분을 조절하였으며, 용강에 Al을 0.3-0.5% 첨가하여 개재물의 형성을 조장한 후, 나머지의 Al과 Si, Mn을 투입하여 강괴를 제조하였다. 각 소재는 1,150℃로 가열하고 850℃에서 열간마무리 압연하여 판두께 2.0mm의 열연판을 제작하였다. 열간압연된 열연판은 1,050℃에서 4분간 소둔한 다음 산세하였다. 그 뒤 냉간압연하여 판두께를 0.35mm로 한 후 1,050℃에서 38초간 최종소둔을 행하였다.

[0076]

각각에 대한 개재물 크기와 개재물 분포밀도, 철손, 자속밀도 및 경도를 측정하여 하기 표 4에 나타내었다. 개재물의 관찰을 위한 샘플 제작은 철강재료에서 일반적인 방법인 레플리카법을 이용하였으며, 장치로는 투과전자현미경을 사용하였다. 이때 가속전압은 200kV를 인가하였다.

표 3

[0077]

강종	Al	Si	Mn	C	S	N	Ti
B1	1.0	2.3	0.5	0.0030	0.0010	0.0010	0.0020
B2	1.0	2.3	0.5	0.0030	0.0030	0.0030	0.0020
B3	1.0	2.5	1.0	0.0030	0.0020	0.0030	0.0020
B4	1.2	2.5	1.2	0.0030	0.0015	0.0020	0.0020
B5	1.2	2.7	1.0	0.0030	0.0005	0.0005	0.0020
B6	1.2	2.7	1.0	0.0030	0.0020	0.0040	0.0020
B7	2.0	2.7	2.0	0.0030	0.0020	0.0020	0.0020
B8	2.0	3.2	1.5	0.0030	0.0010	0.0015	0.0020
B9	2.0	3.2	1.5	0.0030	0.0020	0.0020	0.0020

B10	2.0	3.2	1.0	0.0030	0.0030	0.0040	0.0020
B11	2.0	3.2	1.5	0.0030	0.0030	0.0030	0.0020
B12	1.5	3.5	1.5	0.0030	0.0020	0.0025	0.0020
B13	2.5	3.5	1.0	0.0030	0.0005	0.0005	0.0020

표 4

[0078]

강종	Al/Si	Al/Mn	Al+Mn	N+S	(Al+Mn)/(N+S)	Al+Si+Mn/2	개재물 크기 (nm)	개재물 분포밀도 (1/mm ²)	철손 (W15/50; W/Kg)	자속밀도 (B50; Tesla)	경도 (Hv1)	비고
B1	0.4	2.0	1.5	0.0020	750	3.6	350	0.15	2.2	1.67	190	발명예
B2	0.4	2.0	1.5	0.0060	250	3.6	75	0.01	2.3	1.65	190	비교예
B3	0.4	1.0	2.0	0.0050	400	4.0	400	0.20	2.1	1.67	190	발명예
B4	0.5	1.0	2.4	0.0035	686	4.3	450	0.08	2.1	1.67	195	발명예
B5	0.4	1.2	2.2	0.0010	2200	4.4	50	0.01	2.3	1.65	200	비교예
B6	0.4	1.2	2.2	0.0060	367	4.4	350	0.20	2.2	1.67	200	발명예
B7	0.7	1.0	4.0	0.0040	1000	5.7	250	0.01	2.1	1.63	220	비교예
B8	0.6	1.3	3.5	0.0025	1400	6.0	450	0.12	2.0	1.65	225	발명예
B9	0.6	1.3	3.5	0.0040	875	6.0	550	0.09	2.0	1.65	225	발명예
B10	0.6	2.0	3.0	0.0070	429	5.7	250	0.01	2.2	1.63	220	비교예
B11	0.6	1.3	3.5	0.0060	583	6.0	500	0.15	2.0	1.65	225	발명예
B12	0.4	1.0	3.0	0.0045	667	5.8	600	0.20	2.1	1.65	225	발명예
B13	0.7	2.5	3.5	0.0010	3500	6.5	50	0.01	2.1	1.62	225	비교예

[0079]

본 발명의 범위인 Al/Si, Al/Mn, Al+Mn의 조건을 만족하고 N과 S의 합계량이 0.0020~0.0060으로 관리되는 강종B1, B3, B4, B6, B8, B9, B11, B12의 경우, 경도가 낮아 생산성 및 고객사 타발성이 우수하며, 크기 300nm 이상의 조대한 개재물이 관찰되고 그 분포밀도가 0.02(1/mm²)보다 높아 자성이 우수하다.

[0080]

반면, 강종B5, B10, B13의 경우, N+S가 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다. 강종B7은 Al+Mn이 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다. 강종B2, B5, B13은 (Al+Mn)/(N+S)가 본 발명의 범위에서 벗어나 300nm 이상의 크기를 갖는 개재물이 관찰되지 않았으며, 철손과 자속밀도가 열위하였다.

실시예 3

[0081]

실험실에서 진공용해하여 하기의 표 5에 나타낸 것과 같은 성분의 강괴를 제조하였다. 이때 용강에 Al을 0.3~0.5% 첨가하여 개재물의 형성을 조장한 후, 나머지의 Al과 Si, Mn을 투입하여 강괴를 제조하였다. 각 소재는 1,150℃로 가열하고 850℃에서 열간마무리 압연하여 판두께 2.0mm의 열연판을 제작하였다. 열간압연된 열연판은 1,050℃에서 4분간 소둔한 다음 산세하였다. 그 뒤 냉간압연하여 판두께를 0.35mm로 한 후 결정립경이 70~150μm가 되도록 최종소둔을 행하였다. 최종소둔시 승온속도는 표 6에 나타낸 바와 같이 다양하게 변화시켰다. 이와 같이 얻어진 각 샘플에 대하여 큐브 집합조직 분율, <100>/ND 분율, 철손 및 자속밀도를 측정하여 하기 표 6에 나타내었다. 집합조직의 분율은 15° 이내의 소경각경계에 해당하는 결정립을 포함한 값으로부터 구하였다.

표 5

[0082]

강종	Al	Si	Mn	C	S	N	Ti
C1	1.5	2.3	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C2	1.5	2.3	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C3	1.5	2.3	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C4	1.5	2.3	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C5	2.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C6	2.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002

C7	2.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C8	2.5	3.0	0.8	0.002	0.002	0.002	0.002
C9	1.5	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C10	1.5	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C11	1.5	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C12	1.5	3.2	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C13	3.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C14	3.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C15	3.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002
C16	3.0	2.5	1.0	0.002	0.002	0.002	0.002

표 6

[0083]

강종	Al/Si	Al/Mn	Al+Mn	N+S	(Al+Mn)/(N+S)	승온 속도 (°C/sec)	Cube 분율 (%)	<100> //ND 분율(%)	철손 (W15/50; W/Kg)	자속밀도 (B50; Tesla)	비고
C1	0.7	1.9	2.3	0.0040	575	10	2.5	18	2.2	1.66	비교예
C2	0.7	1.9	2.3	0.0040	575	20	3.1	21	2.1	1.66	발명예
C3	0.7	1.9	2.3	0.0040	575	25	3.3	23	2.1	1.66	발명예
C4	0.7	1.9	2.3	0.0040	575	30	3.5	25	2.1	1.67	발명예
C5	0.8	3.1	3.3	0.0040	825	10	2.8	17	2.1	1.66	비교예
C6	0.8	3.1	3.3	0.0040	825	20	3.2	19	2.1	1.67	발명예
C7	0.8	3.1	3.3	0.0040	825	25	3.5	21	2.1	1.67	발명예
C8	0.8	3.1	3.3	0.0040	825	30	3.9	20	2.1	1.67	발명예
C9	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	10	2.8	20	2.0	1.66	비교예
C10	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	20	3.2	22	2.0	1.66	발명예
C11	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	25	3.7	25	2.0	1.67	발명예
C12	0.5	1.5	2.5	0.0040	625	30	4.0	23	2.0	1.67	발명예
C13	1.2	3.0	4.0	0.0040	1000	10	2.3	17	2.0	1.62	비교예
C14	1.2	3.0	4.0	0.0040	1000	20	2.5	18	2.0	1.63	비교예
C15	1.2	3.0	4.0	0.0040	1000	25	2.2	17	2.0	1.63	비교예
C16	1.2	3.0	4.0	0.0040	1000	30	2.8	18	2.0	1.63	비교예

[0084]

최종소둔 승온속도를 본 발명의 범위인 15~30°C/sec로 제어한 강종C2~C4, C6~C8, C10~C12는 큐브 집합조직의 분율이 3.0% 이상이고, <100>//ND 분율이 18% 이상이었으며, 자성이 우수하였다.

[0085]

최종소둔 승온속도가 본 발명의 범위에서 벗어나는 강종C1, C5, C9는 큐브 집합조직의 분율이 3.0% 미만으로서, 자성이 열위하였다. 강종C13~16은 Al+Mn이 본 발명의 범위에서 벗어나 큐브 집합조직의 분율이 3.0% 미만으로서, 자성이 열위하였다.

[0086]

도 4는 강판의 단면(TD방향)을 EBSD(Electron back scattered diffraction)로 관찰하고 그 결과 얻어진 방위 분포함수(ODF, Orientation Distribution Function)를 나타낸 그림으로서, 체심입방구조 금속의 대표적인 집합조직의 위치를 ODF 중 $\Phi 2=45^\circ$ section 에 도식적으로 나타낸 것이다.

[0087]

이와 같이 집합조직 데이터로부터 ODF를 구하는 이유는 관찰된 집합조직을 정량적으로 해석하기 위한 것이며, ODF중 $\Phi 2=45^\circ$ section을 나타내는 것은 체심입방구조를 갖는 금속의 대표적인 집합조직인 Cube({001}<100>), Rotated Cube({001}<110>), α -fiber(<110>//RD), γ -fiber(<111>//ND)를 모두 나타낼 수 있기 때문이다. 도 4에 나타낸 집합조직의 위치는 이상적인 위치이고, 등고선을 사용하여 집합조직의 강도를 표현하게 되며, 통상 공차는 15° 이내를 나타낸다.

[0088]

무방향성 전기강판에서는 Cube({001}<100>)과 Rotated Cube({001}<110>) 집합조직을 포함하고 있는 <100>//ND의 분율이 많을수록 자기특성에 유리하다. 반면에 α -fiber(<110>//RD), γ -fiber(<111>//ND)는 자화가 용이하지 않은 자화곤란축을 포함하고 있으므로 그 분율이 낮을수록 자기특성에 유리하다.

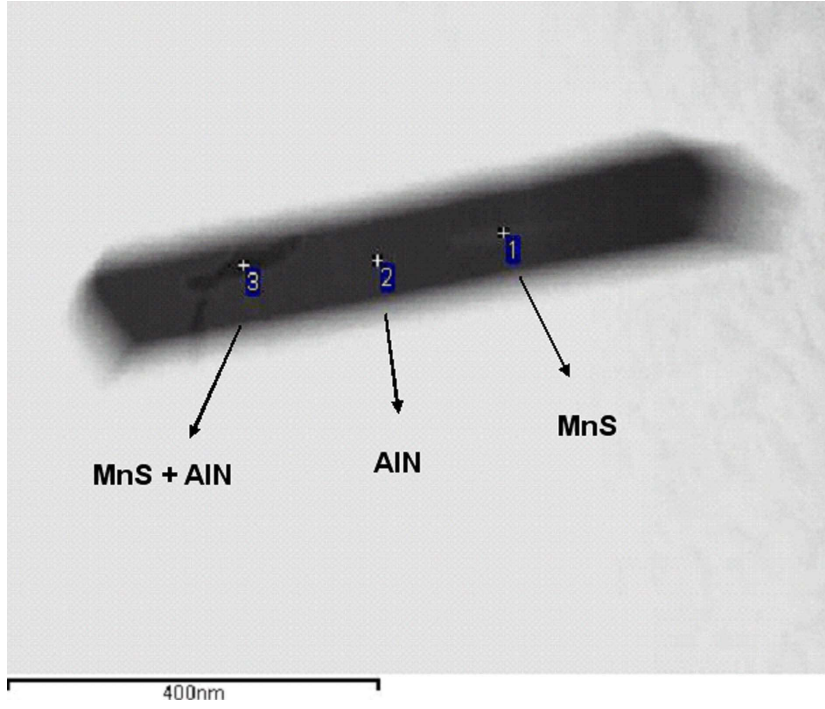
[0089]

도 4의 도시로부터, 본 발명의 무방향성 전기강판의 집합조직의 최대강도가 본 발명의 범위에서 벗어나는 비교예의 집합조직의 최대강도보다 높은 것을 알 수 있다. 이로부터 본 발명의 무방향성 전기강판은 결정립 성

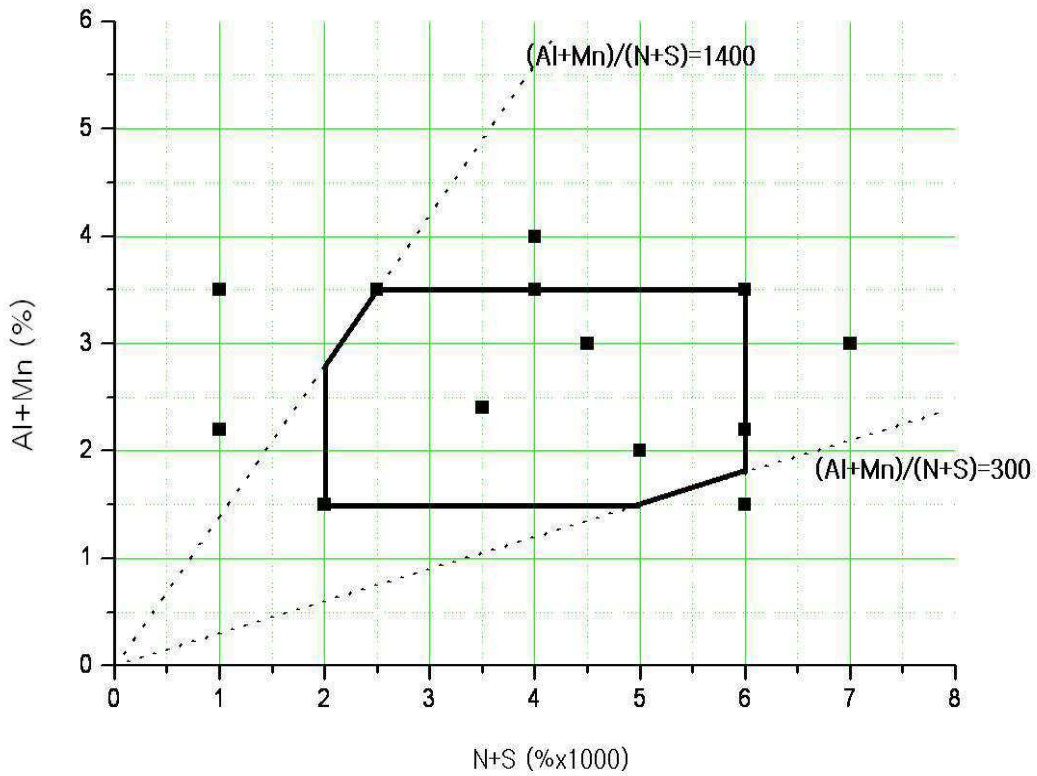
장시에 자기특성에 유리한 집합조직, 특히 큐브(Cube) 집합조직을 많이 갖게 되어 자기 특성이 우수함을 알 수 있다.

도면

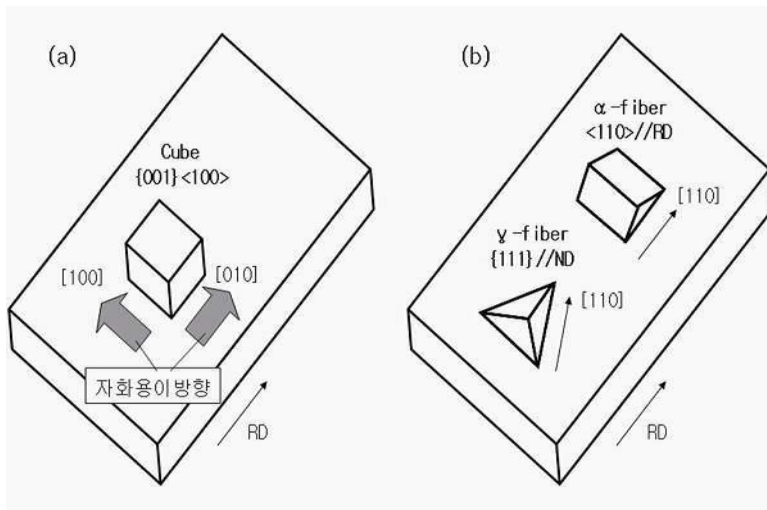
도면1



도면2



도면3



도면4

