(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0087628
(43) 공개일자 2025년06월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
C21D 8/1222 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7015191
(22) 출원일자(국제) 2023년10월04일
심사청구일자 2025년05월09일
(85) 번역문제출일자 2025년05월09일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2023/036146
(87) 국제공개번호 WO 2024/095666
국제공개일자 2024년05월10일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-174800 2022년10월31일 일본(JP)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
(72) 발명자
오쿠보 토모유키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
자이젠 요시아키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이철

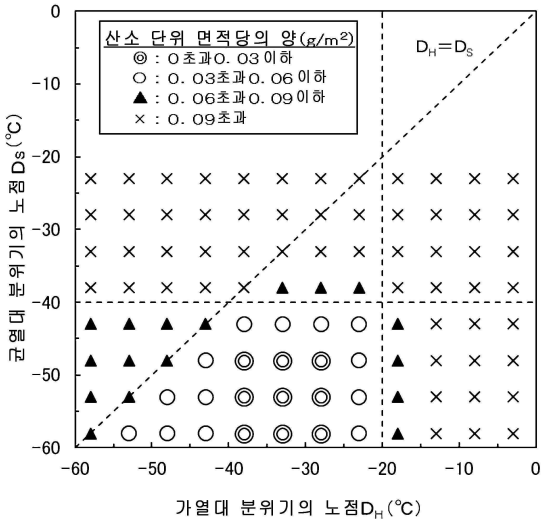
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **무방향성 전자 강판의 제조 방법**

(57) 요 약

mass%로, C: 0.005% 이하, Si: 3.0~5.0%, Al: 3.0% 이하, Mn: 3.0% 이하 및 Cu: 0.01~0.5%를 함유하는 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 냉간 압연하여 냉연판으로 한 후, 마무리 어닐링을 실시하고 무방향성 전자 강판을 제조할 때, 상기 마무리 어닐링의, 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_H를 −20℃ 이하, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역 및 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_S를 −40℃ 이하로 하고, 또한, 상기 노점 D_H와 노점 D_S가 $D_H > D_S$의 관계를 충족하도록 제어하고, 마무리 어닐링 후의 강판 표면의 산화를 억제함으로써, Si를 많이 함유하는 하이 그레이드재(材)에 있어서, 저철손의 무방향성 전자 강판을 안정적으로 얻는다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
C21D 8/1233 (2013.01)
C21D 8/1261 (2013.01)
C21D 8/1272 (2013.01)
C21D 9/46 (2013.01)
C22C 38/004 (2013.01)
C22C 38/008 (2013.01)
C22C 38/40 (2013.01)
C22C 38/60 (2013.01)
H01F 1/14775 (2013.01)
(72) 발명자
사이토 하야토
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
마루야마 시게히로
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이

명 세 서

청구범위

청구항 1

C: 0.005mass% 이하, Si: 3.0~5.0mass%, Al: 3.0mass% 이하, Mn: 3.0mass% 이하, P: 0.10mass% 이하, S: 0.005mass% 이하, N: 0.005mass% 이하, Cu: 0.01~0.5mass% 및 O: 0.005mass% 이하를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 1회의 냉간 압연 혹은 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연하여 냉연판으로 한 후, 가열대, 균열대 및 냉각대를 갖는 연속 어닐링 설비를 이용하여 마무리 어닐링을 실시하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서,

상기 마무리 어닐링의, 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로(爐) 내 분위기의 노점 D_H를 −20℃ 이하, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역 및 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_S를 −40℃ 이하로 하고, 또한, 상기 노점 D_H와 노점 D_S가 $D_H > D_S$의 관계를 충족하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 마무리 어닐링의 냉각대의 강판 온도가 균열 온도에서 500℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_C를 −40℃ 이하로 하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, 하기 A~J군 중 적어도 1군의 성분을 함유하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

기(記)

·A군; Sn: 0.005~0.20mass 및 Sb: 0.005~0.20mass% 중 적어도 1종

·B군; Ca: 0.001~0.010mass%, Mg: 0.0002~0.005mass% 및 REM: 0.001~0.05mass% 중 적어도 1종

·C군; Cr: 0.01~3.0mass%

·D군; Ni: 0.01~1mass%

·E군; Mo: 0~0.050mass% 및 B: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

·F군; Ti: 0~0.010mass%, Nb: 0~0.0050mass%, V: 0~0.050mass%, Pb: 0~0.0020mass%, Zr: 0~0.050mass%, Ta: 0~0.0020mass%, W: 0~0.050mass%, Se: 0~0.0050mass% 및 Bi: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

·G군; As: 0~0.020mass%

·H군; Zn: 0~0.010mass%

·I군; Co: 0~0.10mass%

·J군; Ge: 0~0.030mass% 및 Ga: 0~0.030mass% 중 적어도 1종

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 슬래브는, 전로(轉爐) 또는 전기로로부터 출강한 후, 추가로 성분 조정한 용강을 연속 주조하여 제조한 두

께가 30㎜ 이상 300㎜ 이하의 슬래브인 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 주로 회전기의 철심 재료에 사용되는 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 무방향성 전자 강판(규소 강판)은, 주로 모터의 철심 재료에 사용되는 연자성 재료로서, 강의 비(比)저항을 높여 철손(鐵損)을 저감하기 위해, 합금 원소로서 Si가 많이 첨가되어 있다. 무방향성 전자 강판은, 산업용의 유도 모터에 사용되는 케이스가 많기 때문에, 종래는 Si 함유량이 3.0mass% 미만이고, 판두께가 0.5㎜~0.35㎜의 소위 로우 그레이드재(材)가 다용되고 있었다. 이 그레이드는, 비(非)자성 원소인 Si의 함유량이 비교적 낮기 때문에, 자속 밀도가 높다는 특징이 있고, 유도 모터의 여자 전류와 동손(銅損)을 저감하는 데에 유리했다. 또한, 판두께가 비교적 두껍기 때문에, 철강 메이커에 있어서도, 연속 압연이나 연속 어닐링 라인에 있어서의 생산성이 높고, 염가로 제조할 수 있다는 이점도 있었다.

[0003] 한편, 최근, 기후 변동 대책으로서 CO_2 배출량을 삭감하기 위해, 자동차의 전동화가 급격하게 진행되고 있다. 전기 자동차는, 내연 기관을 대신하여 대형 모터에 의해 구동되기 때문에, 자동차의 전동화에는 대량의 전자 강판이 필요해진다. 또한, 전기 자동차의 구동 모터는, 소형·경량화가 요구되기 때문에, 계자(界磁) 방법으로서 강력한 희토류 영구 자석이 채용되고, 또한, 고출력화를 위해, 고속 회전이 지향되고 있다. 그 때문에, 전기 자동차의 구동 모터에서 발생하는 손실은, 동손보다도 철손이 지배적이고, 철심 재료인 전자 강판에는, 철손의 저감이 보다 강하게 요구되고 있다.

[0004] 상기의 이유로부터, 전기 자동차의 구동 모터에 이용되는 무방향성 전자 강판에는, 종래의 로우 그레이드재를 대신하여, Si 함유량이 3.0mass% 이상이고 판두께가 0.3㎜ 이하인 하이 그레이드재가 사용되고 있다. 이러한 전기 자동차용의 전자 강판에는, 매우 낮은 철손값이 요구되기 때문에, 제조 조건의 변동에 의한 근소한 철손의 편차도 제품 수율에 크게 영향을 준다. 그 때문에, 철손을 변동시키는 바와 같은 요인은 최대한 배제하지 않으면 안 된다.

[0005] 무방향성 전자 강판의 철손을 저감하는 기술로서, 예를 들면, 특허문헌 1에는, 마무리 어닐링의 냉각 과정에 있어서 판폭 중앙부의 온도가 600℃로 냉각될 때까지, 전체 판폭의 온도를 판폭 중앙부의 온도±20℃ 이내로 유지하면서 냉각함으로써 판폭 방향의 철손의 변동을 억제하는 기술이 제안되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 소63-047333호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 그런데, 무방향성 전자 강판을 제조하는 마무리 어닐링 설비에는, 통상, 판폭 방향의 냉각 가스의 유량을 조정하는 기구가 구비되어 있고, 오퍼레이터는 강판 온도를 균일화하도록 판폭 방향의 가스 유량을 조정하는 것이 가능하게 되어 있다. 그러나, 특허문헌 1에 기재된 방법, 즉 냉각 중의 강판의 판폭 방향의 온도를 균일화하는 기술만으로는, 무방향성 전자 강판의 철손을 안정적으로 저감할 수 없다는 문제가 있었다.

[0008] 본 발명은, 종래 기술이 갖는 상기의 문제점을 감안하여 이루어진 것으로서, 그 목적은, Si를 다량으로 함유하는 하이 그레이드재에 있어서, 철손이 종래보다도 낮은 무방향성 전자 강판을 안정적으로 제조하는 방법을 제안하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 발명자들은, 상기 과제를 해결하기 위해, 강 소재 중에 포함되는 불순물과 마무리 어닐링 조건이 철손 특성에 미치는 영향에 착안하여 예의 검토를 거듭했다. 그 결과, 종래 기술에서 Si를 많이 함유하는 하이 그레이드재의 철손을 충분히 저감할 수 없었던 이유는, 마무리 어닐링에 있어서 강판 표면에 산화물층이 형성되기 때문인 것, 그리고, 상기 마무리 어닐링에 있어서의 강판 표면의 산화물층의 형성을 억제하는, 즉, 강판 표면의 산화를 억제하기 위해서는, 강 성분으로서 Cu를 첨가함과 함께, 마무리 어닐링에 있어서의 가열대 및 균열대의 로(爐) 내 분위기의 노점을 적정하게 제어하는 것이 중요한 것을 발견하고, 본 발명을 개발하기에 이르렀다.

[0010] 상기 인식에 기초하는 본 발명은, C: 0.005mass% 이하, Si: 3.0~5.0mass%, Al: 3.0mass% 이하, Mn: 3.0mass% 이하, P: 0.10mass% 이하, S: 0.005mass% 이하, N: 0.005mass% 이하, Cu: 0.01~0.5mass% 및 O: 0.005mass% 이하를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 슬래브를 열간 압연하고, 열연판 어닐링하고, 1회의 냉간 압연 혹은 중간 어닐링을 사이에 두는 2회 이상의 냉간 압연하여 냉연판으로 한 후, 가열대, 균열대 및 냉각대를 갖는 연속 어닐링 설비를 이용하여 마무리 어닐링을 실시하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 있어서, 상기 마무리 어닐링의, 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_H를 −20℃ 이하, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열(均熱) 온도까지의 영역 및 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_S를 −40℃ 이하로 하고, 또한, 상기 노점 D_H와 노점 D_S가 $D_H > D_S$의 관계를 충족하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판의 제조 방법을 제안한다.

[0011] 본 발명의 상기 무방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 마무리 어닐링의 냉각대의 강판 온도가 균열 온도에서 500℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_C를 −40℃ 이하로 하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 본 발명의 상기 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 슬래브는, 상기 성분 조성에 더하여 추가로, 하기 A~J군 중 적어도 1군의 성분을 함유하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 기(記)

[0014] ·A군; Sn: 0.005~0.20mass 및 Sb: 0.005~0.20mass% 중 적어도 1종

[0015] ·B군; Ca: 0.001~0.010mass%, Mg: 0.0002~0.005mass% 및 REM: 0.001~0.05mass% 중 적어도 1종

[0016] ·C군; Cr: 0.01~3.0mass%

[0017] ·D군; Ni: 0.01~1mass%

[0018] ·E군; Mo: 0~0.050mass% 및 B: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

[0019] ·F군; Ti: 0~0.010mass%, Nb: 0~0.0050mass%, V: 0~0.050mass%, Pb: 0~0.0020mass%, Zr: 0~0.050mass%, Ta: 0~0.0020mass%, W: 0~0.050mass%, Se: 0~0.0050mass% 및 Bi: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

[0020] ·G군; As: 0~0.020mass%

[0021] ·H군; Zn: 0~0.010mass%

[0022] ·I군; Co: 0~0.10mass%

[0023] ·J군; Ge: 0~0.030mass% 및 Ga: 0~0.030mass% 중 적어도 1종

[0024] 또한, 본 발명의 상기 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 이용하는 상기 슬래브는, 전로(轉爐) 또는 전기로로부터 출강한 후, 추가로 성분 조정한 용강을 연속 주조하여 제조한 두께가 30㎜ 이상 300㎜ 이하의 슬래브인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 의하면, 철손이 매우 낮은 무방향성 전자 강판을 안정적으로 제조할 수 있다. 따라서, 본 발명에 의하면, 전기 자동차용의 구동 모터에 이용하여 적합한 철심 재료를 제공하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 마무리 어닐링 후의 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양이 철손 $W_{17/200}$에 미치는 영향을 나타내는 그래프

이다.

도 2는 마무리 어닐링 설비의, 가열대의 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_H와, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역 및 균열대의 로 내 분위기의 노점 D_S가 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 나타내는 그래프이다.

도 3은 Cu 함유량이 마무리 어닐링 후의 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 나타내는 그래프이다.

도 4는 마무리 어닐링 설비의 냉각대에 있어서의 분위기의 노점 D_C가 마무리 어닐링 후의 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] (발명을 실시하기 위한 형태)

[0028] 우선, 본 발명을 개발하는 계기가 된 실험에 대해서 설명한다.

[0029] <실험 1>

[0030] C: 0.0015mass%, Si: 3.32mass%, Mn: 0.51mass%, P: 0.009mass%, S: 0.0012mass%, Al: 0.63mass%, N: 0.0015mass%, Cu: 0.05mass% 및 O: 0.0012mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 슬래브를 열간 압연하여 판두께 1.8㎜의 열연판으로 했다. 이어서, 상기 열연판에, 균열 온도가 980℃의 열연판 어닐링을 실시하고, 산 세정하여 탈(脫)스케일하고, 냉간 압연하여, 판두께 0.25㎜의 냉연판으로 했다. 그 후, 가열대, 균열대 및 냉각대를 갖는 연속 어닐링 설비(마무리 어닐링 설비)를 이용하여, 가열 과정의 500℃에서 균열 온도까지의 사이의 승온 속도를 15℃/s로 하고, 균열 온도를 980℃, 균열 시간을 20s로 하는 마무리 어닐링을 실시했다. 이 때, 가열대 및 균열대의 로 내 분위기는 vol%비로 H_2:N_2=20:80의 혼합 가스로 하고, 균열대의 로 내 분위기의 노점은 −35℃로 했다. 또한, 냉각대의 로 내 분위기는 N_2 가스로 하고, 균열 온도에서 500℃까지의 사이의 냉각 속도는 15℃/s로 했다. 또한, 본 발명의 마무리 어닐링에 있어서의 상기 승온 속도 및 냉각 속도는, 각각 평균 승온 속도, 평균 냉각 속도이다(이후, 마찬가지).

[0031] 이렇게 하여 얻은 마무리 어닐링 후의 강판에 대해서, 철손 특성을 평가한 결과, 제조 타이밍에 의해 철손값이 크게 변동하고 있는 것을 알 수 있었다. 이 변동은, 특히, 자속 밀도가 높고, 주파수가 높은 측정 조건에서 현저했다. 그래서, 본 발명에서는, 특히 철손값의 변동이 현저했던 최대 자속 밀도 1.7T, 주파수 200Hz에 있어서의 철손 $W_{17/200}$에서 철손 특성을 평가하는 것으로 했다. 또한, 상기의 철손 측정 조건은, 모터의 여자 전류가 높고, 또한, 회전수가 높은 상태에 상당하고, 전기 자동차의 경우에서는, 예를 들면 비교적 고속으로 등판을 행하는 경우에 대응한다. 철손이 높으면, 모터 코어의 온도가 상승하여, 희토류 자석이 감자(減磁)해 버린다는 문제가 발생한다.

[0032] 발명자들은, 철손 $W_{17/200}$이 제조 타이밍에 의해 크게 변동하는 원인을 조사하기 위해, 마무리 어닐링 후의 강판에 대해서 산소 함유량의 분석을 행했다. 그리고, 얻어진 산소량으로부터 출강 시의 산소 함유량(0.0012mass%)을 뺀 후, 강판 표면(양면) 1㎡당의 산소량(단위: g/㎡)으로 환산했다. 또한, 본 발명에서는, 이 산소량을 「산소 단위 면적당의 양」이라고 칭한다.

[0033] 도 1에, 산소 단위 면적당의 양과 철손 $W_{17/200}$의 관계를 나타냈다. 이 도면으로부터, 철손값이 높은 강판에서는, 상기한 산소 단위 면적당의 양이 높아져 있고, 특히 산소 단위 면적당의 양이 0.06g/㎡ 초과의 영역에서 철손값이 높아져 있는 것을 알 수 있다. 그래서, 산소 단위 면적당의 양이 높은 강판의 단면을 SEM으로 관찰한 결과, 강판의 표층 부근에 Si나 Al의 산화물이 확인되어, 이들이 철손 증가의 원인이 되어 있는 것이라고 추정되었다.

[0034] 상기의 현상에 대해서, 발명자들은 이하와 같이 생각하고 있다. 통상의 상용 주파수대에 있어서의 철손 측정 조건($W_{15/50}$ 등)에서는, 표층 부근에 약간의 산화층이 있어도, 투자율이 낮기 때문에, 이 영역은 별로 여자되지 않아, 철손에 미치는 영향은 작다. 그러나, 최대 자속 밀도가 높은 측정 조건에서는, 강판 표층 부근의 투자율이 낮은 영역도 여자되고, 또한, 주파수가 높아지면 표피 효과로 강판 표면의 자속 밀도도 높아지기 쉽다. 그

때문에, $W_{17/200}$에서는 약간의 표층 산화물이라도 철손에 큰 악영향을 미치게 된다.

[0035] 그래서, 발명자들은, 철손의 증가를 억제하기 위해, 우선, 가열대, 균열대 및 냉각대를 갖는 연속 어닐링 설비를 이용한 마무리 어닐링 조건에 착안하여 추가로 검토를 거듭했다. 구체적으로는, 상기 마무리 어닐링 설비의 가열대와 균열대의 로 내 분위기를 따로따로 제어하는 것을 착상하고, 그 영향을 확인하는 실험을 행했다.

[0036] 상기의 실험 결과에 대해서, 가열대 및 균열대의 로 내 분위기의 노점이, 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향으로서 도 2에 나타냈다. 또한, 도면 중에 나타낸 노점 D_H는, 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점이고, 또한, 노점 D_S는, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역과 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점이다. 이 도면으로부터, 상기 노점 D_H가 −20℃ 이하, 노점 D_S가 −40℃ 이하, 또한, 상기 D_H와 D_S가, $D_H > D_S$의 관계를 충족하고 있을 때에, 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 0.06g/㎡ 이하로 저감할 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, 본 발명에서는, 이후, 상기한 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_H를 「가열대의 노점 D_H」, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역 및 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_S를 「균열대의 노점 D_S」라고 칭한다.

[0037] 상기와 같이, 가열대의 노점 D_H>균열대의 노점 D_S의 관계를 충족하고 있는 경우에, 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 저감할 수 있는 이유에 대해서는, 발명자들은, 이하와 같이 생각하고 있다. 가열 초기의 분위기의 노점이 높은 경우에는, 강판 표면에 극히 얇은 배리어성이 높은 Si, Al 산화물이 형성되고, 이에 따라, 균열대에 있어서의 산화가 오히려 억제되게 되기 때문이라고 추정하고 있다.

[0038] <실험 2>

[0039] 다음으로, 발명자들은, 강판 중에 포함되는, 불순물이 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 조사하는 이하의 실험을 행했다.

[0040] 상기 <실험 1>과 동일한 성분 조성을 갖고(Cu를 제외함), 또한, Cu를 0.003~0.5mass%의 범위에서 여러 가지로 변화하여 함유하는 슬래브를 열간 압연하여 판두께 1.6㎜의 열연판으로 하고, 균열 온도 1020℃의 열연판 어닐링을 실시한 후, 산 세정하여 스케일을 제거했다. 이어서, 상기 산 세정 후의 열연판을 냉간 압연하여 판두께 0.25㎜의 냉연판으로 한 후, 가열 과정에 있어서의 500℃에서 균열 온도까지의 사이의 승온 속도를 25℃/s, 균열 온도를 1010℃, 균열 시간을 10s로 하는 마무리 어닐링을 실시했다. 이 때, 마무리 어닐링에 있어서의, 가열대 및 균열대의 로 내 분위기는 vol%비로 H_2:N_2=30:70의 혼합 가스로 하고, 가열대의 노점 D_H는 −35℃, 균열대의 노점 D_S는 −50℃로 했다. 또한, 냉각대의 로 내 분위기는 N_2 가스로 하고, 균열 온도에서 500℃까지의 사이의 냉각 속도는 −30℃/s로 했다.

[0041] 이어서, 상기 마무리 어닐링 후의 강판으로부터, 샘플재를 채취하여, <실험 1>과 마찬가지로 하여 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 측정했다. 도 3에, Cu 함유량이 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 나타냈다. 이 도면으로부터, Cu를 0.01mass% 이상 첨가함으로써, 마무리 어닐링에 있어서의 강판 표면의 산화가 현저하게 억제되는 것을 알 수 있었다.

[0042] 이 메커니즘은 아직 충분히 밝혀져 있지 않지만, Cu는 Fe보다도 산화되기 어려운 원소이기 때문에, 대기 산화나 산 세정에 의해 지철 표면에 농화하고, 마무리 어닐링에서 배리어성이 높은 산화막의 형성을 촉진하는 역할을 다하고 있다고 생각된다. 또한, 도 3에는 Cu: 0.10~0.50mass%의 결과는 나타나 있지 않지만, 상기 범위에서는 산소 단위 면적당의 양에 큰 변동은 없고, 0.005g/㎡ 정도였다.

[0043] <실험 3>

[0044] 이어서, 발명자들은, 마무리 어닐링의 냉각대에 있어서의 로 내 분위기의 노점이, 마무리 어닐링 후의 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양에 미치는 영향을 조사하는 이하의 실험을 행했다.

[0045] C: 0.0011mass%, Si: 3.54mass%, Mn: 0.56mass%, P: 0.005mass%, S: 0.0009mass%, Al: 0.81mass%, N: 0.0012mass%, Cu: 0.05mass% 및 O: 0.0006mass%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는 슬래브를 열간 압연하여 판두께 1.7㎜의 열연판으로 했다. 이어서, 상기 열연판에, 균열 온도 900℃의 열연판 어닐링을 실시하고, 산 세정하여 탈스케일한 후, 냉간 압연하여 판두께 0.25㎜의 냉연판으로

했다. 이어서, 상기 냉연판에, 가열 과정에 있어서의 500℃에서 균열 온도까지의 사이의 승온 속도를 30℃/s로 하고, 균열 온도를 1000℃, 균열 시간을 5s로 하는 마무리 어닐링을 실시했다. 이 때, 마무리 어닐링의 가열대, 균열대의 분위기는 vol%로 H_2:N_2=20:80의 혼합 가스로 하고, 가열대의 노점 D_H는 −35℃, 균열대의 노점 D_S는 −54℃로 했다. 또한, 냉각대의 분위기는 N_2 가스로 하고, 균열 온도에서 500℃까지의 사이의 냉각 속도를 15℃/s로 하고, 상기 냉각대의 로 내 분위기의 노점 D_C를 0℃～−70℃의 범위에서 여러 가지로 변화시켰다.

[0046] 이어서, 상기 마무리 어닐링 후의 강판으로부터, 샘플재를 채취하여, <실험 1>과 마찬가지로 하여 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 측정하고, 그 결과를 도 4에 나타냈다. 이 도면으로부터, 냉각대의 로 내 분위기의 노점 D_C가 −40℃를 초과하면, 산소 단위 면적당의 양이 급격하게 상승하고 있고, 상기 노점 D_C를 −40℃ 이하로 제어함으로써, 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 보다 저감할 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0047] 본 발명은, 상기의 인식에 기초하여, 추가로 검토를 거듭하여 개발한 것이다.

[0048] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 제조에 이용하는 강 소재(슬래브)가 가져야 하는 성분 조성에 대해서 설명한다.

[0049] C: 0.005mass% 이하

[0050] C는, 제품판 중에 다량으로 함유하고 있으면 자기(磁氣) 시효의 원인이 되어, 모터의 고온 장시간의 사용에 의해 탄화물이 석출되어 철손이 증가하는 원인이 된다. 그 때문에, C는 0.005mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.003mass% 이하이다.

[0051] Si: 3.0～5.0mass%

[0052] Si는, 강의 비저항을 높여 철손을 저감하는 원소이다. 전기 자동차용의 구동 모터에서는, 매우 낮은 철손이 요구되기 때문에, 3.0mass% 이상의 첨가를 필요로 한다. 그러나, 5.0mass%를 초과하면, 냉간 압연하는 것이 현저하게 곤란해지기 때문에, 상한은 5.0mass%로 한다. 바람직한 Si의 범위는 3.5～4.5mass%이다.

[0053] Mn: 3.0mass% 이하

[0054] Mn은, 열간 가공성을 개선하는 원소임과 함께, 강의 비저항을 높여, 철손을 저감하는 원소이기도 하다. 그 때문에, 필요에 따라서 첨가할 수 있다. 바람직하게는 0.01mass% 이상이다. 그러나, 3.0mass%를 초과하면, 오히려 자속 밀도가 저하하거나, 철손이 악화되거나 하기 때문에, 상한은 3.0mass%로 한다. 바람직한 Mn의 범위는 0.3～2.0mass%이다.

[0055] P: 0.10mass% 이하

[0056] P는, 강을 경화하여 취화시키는 원소이고, 특히 0.10mass%를 초과하면, 냉간 압연하는 것이 곤란해진다. 그 때문에, 본 발명에서는, P의 함유량은 0.10mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.03mass% 이하이다. 또한, P를, 강의 강도 향상이나 펀칭 가공성의 개선에 이용하는 경우는, 0.03～0.07mass%의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다.

[0057] S: 0.005mass% 이하

[0058] S는, 황화물을 형성하여 입(粒)성장을 저해하여, 철손을 증가시키는 유해 원소이다. 특히 0.005mass%를 초과하면, 상기 영향이 현저해지기 때문에, 0.005mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.003mass% 이하이다.

[0059] Al: 3.0mass% 이하

[0060] Al은, Si와 마찬가지로, 강의 비저항을 높여, 철손을 저감하는 원소이기 때문에, 필요에 따라서 첨가할 수 있다. 그러나, 3.0mass%를 초과하면, 냉간 압연하는 것이 현저하게 곤란해지기 때문에, 상한은 3.0mass%로 한다. 바람직하게는 0.3～2.0mass%의 범위이다.

[0061] N: 0.005mass% 이하

[0062] N은, 질화물을 형성하여 입성장을 저해하여, 철손을 증가시키는 유해 원소이다. 특히 0.005mass%를 초과하면, 상기 영향이 현저해지기 때문에, 0.005mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.003mass% 이하이다.

[0063] Cu: 0.01～0.5mass%

[0064] Cu는, 마무리 어닐링에 있어서의 강판 표면의 산화를 억제하여 철손의 상승을 억제하는 효과가 있다. 상기 효과는, 0.01mass% 이상의 첨가로 얻어진다. 그러나, 0.5mass%를 초과하면, 상기 효과가 포화하고, 합금 비용이 높아지는 것에 더하여, 열간 취성이 발생하기 쉬워진다. 그 때문에, Cu는 0.01~0.5mass%의 범위로 한다. 바람직하게는 0.02~0.2mass%의 범위이다.

[0065] 또한, Cu는, 원재료로부터 불가피적으로 혼입해 오는 트램프 엘리먼트(tramp element)의 일종이고, 제강 공정에서 투입하는 스크랩이 Cu원이 되는 것이 알려져 있다. 전기로에서 스크랩을 용해하여 슬래브를 제조하는 경우는, Cu를 첨가하지 않아도 Cu 함유량이 많아지기 때문에, 원료 비용을 저감할 수 있다. 또한, 전기로를 이용하는 방법은, CO_2의 배출량을 삭감하는 관점에서도 바람직하다.

[0066] O: 0.005mass% 이하

[0067] O는, 산화물을 형성하여 입성장을 저해하여, 철손을 증가시키는 유해 원소이다. 특히 상기 영향은 0.005mass%를 초과하면 현저해지기 때문에, 0.005mass% 이하로 제한한다. 바람직하게는 0.003mass% 이하이다.

[0068] 본 발명에 이용하는 강 소재는, 상기한 성분 이외의 잔부는, 실질적으로 Fe 및 불가피적 불순물이다. 단, 본 발명에서는, 자기 특성이나 기계적 특성의 개선을 목적으로 하여, 추가로 하기의 A~J군 중으로부터 선택되는 적어도 1군의 성분을 함유해도 좋다.

[0069] A군; Sn: 0.005~0.20mass 및 Sb: 0.005~0.20mass% 중 적어도 1종

[0070] Sn 및 Sb는, 집합 조직을 개선하여 철손을 저감하는 데에 유효한 원소이다. 상기 효과는 각각 0.005mass% 이상의 첨가로 얻어진다. 그러나, 각각 0.20mass%를 초과하면, 상기 효과가 포화한다. 그 때문에, Sn 및 Sb는, 적어도 1종을 0.005~0.20mass%의 범위에서 첨가하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 각각 0.01~0.10mass%의 범위이다.

[0071] B군; Ca: 0.001~0.010mass%, Mg: 0.0002~0.005mass% 및 REM: 0.001~0.05mass% 중 적어도 1종

[0072] Ca, Mg 및 REM은, 안정적인 황화물을 형성하여, 미세한 황화물을 저감함으로써 입성장성을 개선하고, 철손을 저감하는 원소이다. 모두, 상기 하한값 미만에서는, 상기 효과가 충분히 얻어지지 않고, 한편, 상기 상한값을 초과하면 상기 효과가 포화한다. 그 때문에, Ca, Mg 및 REM은, Ca: 0.001~0.010mass%, Mg: 0.0002~0.005mass% 및 REM: 0.001~0.05mass% 중 적어도 1종을 함유하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, Ca: 0.002~0.005mass%, Mg: 0.0005~0.002mass% 및 REM: 0.005~0.03mass%의 범위이다.

[0073] C군; Cr: 0.01~3.0mass%

[0074] Cr은, 강의 비저항을 높여 철손을 저감하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 0.01mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 3.0mass%를 초과하는 첨가는, 철손을 악화할 뿐만 아니라, 원료 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한은 3.0mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.03~2.0mass%의 범위이다.

[0075] D군; Ni: 0.01~1mass%

[0076] Ni는, 강의 인성을 개선하는 원소이다. 상기 효과를 얻기 위해서는 0.01mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, 1mass%를 초과하면, 상기 효과가 포화할 뿐만 아니라, 원료 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한은 1mass%로 한다. 보다 바람직하게는 0.05~0.5mass%의 범위이다.

[0077] E군; Mo: 0~0.050mass% 및 B: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

[0078] Mo 및 B는, 모두 강의 취성 파괴를 억제하는 효과가 있다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는, Mo는 0.001mass% 이상, B는 0.0001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, Mo는, 첨가량이 0.050mass%를 초과하면 탄화물이 석출되어 철손이 증가하게 된다. 또한, B는, 첨가량이 0.0020mass%를 초과하면 질화물이 석출되어 철손이 증가하게 된다. 그 때문에, 첨가량의 상한값은, Mo: 0.050mass%, B: 0.0020mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 범위는, Mo: 0.010~0.030mass%, B: 0.0003~0.0010mass%이다.

[0079] F군; Ti: 0~0.010mass%, Nb: 0~0.0050mass%, V: 0~0.050mass%, Pb: 0~0.0020mass%, Zr: 0~0.050mass%, Ta: 0~0.0020mass%, W: 0~0.050mass%, Se: 0~0.0050mass% 및 Bi: 0~0.0020mass% 중 적어도 1종

[0080] Ti, Nb, V, Pb, Zr, Ta, W, Se 및 Bi는, 모두 강의 가공성을 개선하거나 고강도화에 기여하거나 하는 원소이기 때문에 적절히 첨가할 수 있다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는, Ti, V, Zr 및 W는, 각각 0.001mass% 이상, Nb, Pb, Ta, Se 및 Bi는, 각각 0.0001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, 상기 원소는, 모

두 철손을 증가하는 원소이기 때문에, 상한은, Ti: 0.010mass%, Nb: 0.0050mass%, V: 0.050mass%, Pb: 0.0020mass%, Zr: 0.050mass%, Ta: 0.0020mass%, W: 0.050mass%, Se: 0.0050mass% 및 Bi: 0.0020mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 범위는, Ti: 0.003~0.006mass%, Nb: 0.0005~0.0030mass%, V: 0.005~0.020mass%, Pb: 0.0003~0.0010mass%, Zr: 0.005~0.020mass%, Ta: 0.0003~0.0010mass%, W: 0.005~0.020mass%, Se: 0.0005~0.0030mass% 및 Bi: 0.0003~0.0010mass%이다.

[0081] G군; As: 0~0.020mass%

[0082] As는, 강의 경도를 높이는 효과가 있고, 기계 특성의 조정을 위해 첨가할 수 있다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는 0.001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, As는, 강을 취화시키는 원소이기도 하고, 특히 0.020mass%를 초과하면 취화가 현저해지기 때문에, 상한은 0.020mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.003~0.010mass%의 범위이다.

[0083] H군; Zn: 0~0.010mass%

[0084] Zn은, 개재물을 조대화(coarsening)시킴으로써 철손을 개선 효과가 있다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는 0.001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, Zn은, 증기압이 높아 0.010mass%를 초과하여 첨가하는 것은 제조 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한은 0.010mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는 0.002~0.006mass%의 범위이다.

[0085] I군; Co: 0~0.10mass%

[0086] Co는, 자속 밀도를 향상시키는 효과가 있는 원소이다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는 0.001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, Co는, 고가의 원소이고, 과잉인 첨가는 제조 비용의 상승을 초래하기 때문에, 상한은 0.10mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 범위는 0.01~0.05mass%이다.

[0087] J군; Ge: 0~0.030mass% 및 Ga: 0~0.030mass% 중 적어도 1종

[0088] Ge 및 Ga는, 집합 조직을 개선시키는 효과가 있기 때문에 첨가할 수 있다. 상기 효과를 확실히 얻기 위해서는, 각각 0.001mass% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 그러나, 어느 원소도 0.030mass%를 초과하여 첨가해도 상기 효과가 포화하기 때문에, 상한은 각각 0.030mass%로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직한 범위는 각각 0.003~0.010mass%이다.

[0089] 다음으로, 본 발명의 무방향성 전자 강판의 제조 방법에 대해서 설명한다.

[0090] 본 발명의 무방향성 전자 강판의 제조에 이용하는 강 소재(슬래브)는 공지의 방법으로 제조할 수 있다. 예를 들면, 전로나 전기로 등을 이용하여 얻은 용강에, 필요에 따라서 추가로 진공 탈가스 처리 등의 2차 정련을 실시하여, 상기한 본 발명에 적합하는 성분 조성으로 조정한 강을 용제한 후, 연속 주조법으로 두께가 30㎜ 이상 300㎜ 이하의 슬래브로 한다. 두께가 30㎜ 미만의 슬래브는, 연속 주조법으로 제조하는 것이 어렵고, 또한, 300㎜를 초과하는 슬래브는, 열간 압연하는 것이 곤란해진다. 바람직한 슬래브 두께는, 100~250㎜의 범위이다.

[0091] 또한, CO_2의 배출량을 삭감하는 관점에서는, 강 원료(철원)로서 고로선(高爐銑:pig iron)을 사용하지 않고, 스크랩을 이용하는 전기로법이 바람직하다. 또한, 스크랩을 전기로에서 용해하여 슬래브를 제조하는 경우는, 스크랩 중에 포함되는 Cu에 기인하여 Cu 함유량이 많아지기 때문에, Cu 첨가 비용을 저감할 수 있다는 이점도 있다. 또한, 철원으로서 스크랩 외에 직접 환원철을 이용해도 좋다.

[0092] 이어서, 상기 슬래브는, 소정의 온도로 가열하고, 열간 압연하여 열연판으로 한다. 여기에서, 상기 열간 압연에 앞서 행하는 슬래브의 가열 온도는 1000~1200℃의 범위로 하는 것이 바람직하다. 1200℃를 초과하면, 석출물의 일부가 고용되어 철손이 증가하게 된다. 한편, 1000℃ 미만에서는, 변형 저항이 높아져, 열간 압연하는 것이 곤란해진다.

[0093] 또한, 열연판의 두께는 1.0~3.0㎜의 범위로 하는 것이 바람직하다. 열연판의 두께가 1.0㎜ 미만에서는, 열간 압연 후의 강판 형상을 양호하게 유지하는 것이 어렵고, 한편, 3.0㎜를 초과하면, 냉간 압연하는 것이 어려워진다. 또한, 연속 주조기와 압연 설비를 일체화한 공지의 박(薄)슬래브 캐스터(thin slab caster)를 이용하여 열간 압연해도 좋다.

[0094] 이어서, 상기 열연판에 열연판 어닐링을 실시한다. 열연판 어닐링의 균열 온도는, 800~1100℃의 범위로 하는 것이 바람직하다. 800℃ 미만에서는, 열연판의 재결정이 불충분해져, 자기 특성의 개선 효과가 충분히 얻어지

지 않는다. 한편, 1100℃를 초과하면, 자기 특성의 개선 효과가 포화해 버린다. 보다 바람직하게는 900～1050℃의 범위이다.

[0095] 이어서, 상기 열연판 어닐링 후의 강판은, 산 세정 등으로 탈스케일한 후, 냉간 압연하여, 최종 판두께(제품 판두께)의 냉연판으로 한다. 상기 최종 판두께는, 0.30㎜ 이하로 하는 것이 바람직하다. 0.30㎜를 초과하면 와전류손이 높아져, 우수한 철손이 얻어지지 않는다. 보다 바람직하게는 0.25㎜ 이하이다. 한편, 판두께가 얇아질수록 철손은 저감하지만, 압연 라인 등에서의 생산성이 크게 저하하기 때문에, 판두께의 하한은 0.10㎜ 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0096] 또한, 냉간 압연에 이용하는 압연기는, 리버스 압연기나 텐덤 압연기 등, 공지의 설비를 이용할 수 있다. 또한, 자기 특성의 개선이나 냉연 부하를 저감하는 관점에서, 복수회의 냉간 압연으로 하고, 그 사이에서 중간 어닐링을 실시해도 좋다. 중간 어닐링의 균열 온도는 900～1100℃의 범위 내로 하는 것이 바람직하다. 900℃ 미만에서는, 자기 특성의 개선 효과가 작고, 1100℃ 초과에서는, 자기 특성 개선 효과가 포화해 버린다.

[0097] 이어서, 상기의 최종 판두께로 한 냉연판은, 가열대, 균열대 및 냉각대로 이루어지는 연속 어닐링 설비(마무리 어닐링 설비)를 이용하여 마무리 어닐링을 실시한 후, 필요에 따라서 절연 피막을 피성하여 제품판으로 한다. 여기에서, 상기 마무리 어닐링은, 균열 온도가 900～1100℃, 균열 시간이 1～120s의 조건으로 행하는 것이 바람직하다. 균열 온도가 900℃ 미만에서는, 입성장이 불충분해져, 우수한 철손이 얻어지지 않는다. 한편, 1100℃를 초과하면, 철손 저감 효과가 포화할 뿐만 아니라, 열 에너지 비용의 상승을 초래한다. 또한, 균열 시간이 1s 미만에서는, 판폭 방향의 온도 분포를 균일화하는 것이 어렵고, 또한, 120s를 초과하면 철손 저감 효과가 포화한다. 또한, 마무리 어닐링 설비의 가열대, 균열대 및 냉각대의 로 내 분위기는, 공지의 비산화성의 분위기 가스를 이용할 수 있다. 예를 들면, H_2 가스, N_2 가스, Ar 가스, CO 가스나, 상기한 가스 2종 이상으로 이루어지는 혼합 가스 등을 적합하게 이용할 수 있다.

[0098] 여기에서, 본 발명에 있어서 중요한 것은, 마무리 어닐링 설비의 가열대 및 균열대의 분위기의 노점 제어를 적절히 행할 필요가 있다는 것이다. 구체적으로는, 가열대의 노점 D_H, 즉, 가열대의 강판 온도가 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 분위기의 노점을 －20℃ 이하, 균열대의 노점 D_S, 즉, 가열대의 강판 온도가 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역과 균열대에 있어서의 분위기의 노점을 －40℃ 이하로 하고, 또한 상기 노점 D_H와 D_S가 $D_H > D_S$의 관계를 충족하고 있는 것이 필요하다. 각 영역의 분위기의 노점이 상기 상한값을 초과하면, 강판 표면이 산화하여, 철손이 증가해 버린다. 또한, $D_H \leq D_S$가 된 경우에는, 가열 중에 배리어성이 높은 산화막이 형성되지 않게 되어, 고온역에서 내부 산화가 촉진되기 때문에, 역시 철손이 증가해 버린다. 또한, 각각의 온도 영역 내에서 노점에 변동이 있는 경우에는, 각 온도 영역의 노점의 최고값을 D_H, D_S로 한다.

[0099] 또한, 가열대의 노점 D_H의 바람직한 범위는 －40℃ 이상 －25℃ 이하이다. 또한, 가열대의 노점 D_H가 상기 바람직한 범위 내에 있는 경우, 균열대의 노점 D_S의 바람직한 범위는 －40℃ 이하이다. 또한, D_H 및 D_S의 하한값은 특별히 규정하지 않지만, 공업용 가스를 이용하는 연속 어닐링 라인에서는, 분위기의 노점을 －70℃보다 낮게 내리는 것은 곤란하기 때문에, －70℃ 정도로 하는 것이 바람직하다.

[0100] 또한, 마무리 어닐링의 냉각대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_C의 제어도 중요하고, 상기 노점 D_C는, －40℃ 이하로 제어하는 것이 바람직하다. 여기에서, 상기 노점 D_C는, 강판 온도가 균열 온도에서 500℃까지 냉각하는 영역의 로 내 분위기의 노점으로 한다. 노점 D_C를 －40℃ 이하로 제어함으로써, 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양을 안정적으로 저감할 수 있기 때문에, 철손을 보다 저감할 수 있다. 노점 D_C는, 보다 바람직하게는 －45℃ 이하, 추가로 바람직하게는 －50℃ 이하이다. 또한, 상기 영역 내에서 노점에 변동이 있는 경우에는, 그 영역 내의 노점의 최고값을 D_C라고 간주한다.

[0101] 상기와 같이 하여 마무리 어닐링을 실시한 강판은, 그 후, 필요에 따라서 절연 피막을 피성하여 제품판으로 한다. 상기 절연 피막은, 무기, 유기, 무기와 유기의 혼합의 어느 것이라도 좋고, 특별히 제한은 없다.

[0102] 실시예

[0103] 고로선을 철원으로서 전로로부터 출강한 용강에, 진공 탈가스 처리 장치를 이용하여 2차 정련하여, 표 1에 나타낸 여러 가지의 성분을 함유하고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물로 이루어지는 성분 조성으로 조정한 강을 용제

한 후, 연속 주조법으로 두께가 140㎜의 슬래브를 제조했다. 또한, 스크랩을 철원으로서 전기로로부터 출강한 용강에 대해서도, 상기와 마찬가지로 하여 슬래브를 제조했다(표 1의 No. 19). 이어서, 상기 슬래브를 1100℃의 온도로 30min간 가열한 후, 열간 압연하여 판두께 1.6㎜의 열연판으로 하고, 980℃×30s의 열연판 어닐링을 실시했다. 이어서, 상기 열연판 어닐링 후의 강판을 산 세정하여 스케일을 제거한 후, 1회의 냉간 압연으로 최종 판두께 0.25㎜의 냉연판으로 했다. 단, 표 1의 No. 18의 강판은, 1회째의 냉간 압연으로 중간 판두께 1.1㎜까지 압연한 후, 1100℃×30s의 중간 어닐링을 실시한 후, 2회째의 냉간 압연을 하여 최종 판두께의 냉연판으로 했다.

[0104] 이어서, 상기 냉연판에, 가열대, 균열대 및 냉각대를 갖는 연속 어닐링 설비를 이용하여, 동일하게 표 1에 기재의 조건으로 마무리 어닐링을 실시하여, 제품판으로 했다. 상기 마무리 어닐링에 있어서는, 가열대 및 균열대의 분위기를 vol%비로 H_2:N_2=30:70의 혼합 가스로 하고, 500℃에서 균열 온도까지의 사이의 승온 속도를 20℃/s로 하고, 표 1에 나타낸 균열 온도까지 가열하여, 상기 균열 온도로 10s간 보존유지한 후, 냉각했다. 상기 냉각은, 질소 가스 분위기하에서 행하고, 균열 온도에서 500℃까지의 사이의 냉각 속도는 20℃/s로 했다. 이때, 가열대의 500℃에서 800℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_H, 가열대의 800℃ 초과에서 균열 온도까지의 영역과 균열대에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_S 및, 냉각대의 균열 온도에서 500℃까지의 영역에 있어서의 로 내 분위기의 노점 D_C를 표 1에 나타내는 바와 같이 여러 가지로 변화시켰다.

[0105] 이렇게 하여 얻은 마무리 어닐링 후의 강판(제품판)으로부터, 길이 방향을 압연 방향으로 하는, 폭: 30㎜×길이: 280㎜의 시험편을 채취하여, 엡스타인(Epstein) 시험으로 철손 $W_{17/200}$을 측정하고, 철손 $W_{17/200}$이 15.5W/kg 이하인 것을 발명예, 15.5W/kg 초과를 비교예로 했다. 또한, 마무리 어닐링 후의 강판(제품판)에 대해서 화학 분석으로 산소 함유량을 측정하고, 이를 전술한 방법으로 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양으로 환산했다.

[0106] 상기 측정의 결과를 표 1에 병기했다. 이 결과로부터, 본 발명의 조건을 충족하여 제조한 강판은, 모두 강판 표면의 산소 단위 면적당의 양이 낮고, 양호한 철손값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 표 1의 No. 20의 강판은, 전기로에서 출강한 강으로부터 제조한 것이지만, Cu를 특별히 첨가하는 일 없이, 스크랩으로부터 혼입한 Cu에서 0.045mass%의 Cu 함유량이 얻어지고 있고, 본 발명의 효과가 얻어지고 있다. 또한, No. 19의 강판은, 냉간 압연의 도중에서 중간 어닐링을 실시한 것이지만, 집합 조직의 개선에 의해, 철손값이 보다 개선되어 있다.

[0107] [표 1-1]

강판 No.	강판의 화학 성분 (mass%)											마무리 어닐링 조건				강판 특성	
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	O	그 외	균열 온도 (℃)	분위기 노점 (℃)			산소 단위 면적당의 양 (g/m^2)	철손 $W_{17/200}$ (W/kg)	비고
												D_{11}	D_S	D_C			
1	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-35	-35	-58	0.091	15.9	비교예
2	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-58	-55	-57	0.063	15.6	비교예
3	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-46	-41	-57	0.065	15.6	비교예
4	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-38	-35	-56	0.089	15.8	비교예
5	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1020	-45	-56	-55	0.041	15.3	발명예
6	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-34	-57	-57	0.005	15.0	발명예
7	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-55	-68	-68	0.032	15.2	발명예
8	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-38	-68	-65	0.004	15.0	발명예
9	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	930	-36	-55	-56	0.008	15.1	발명예
10	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-25	-56	-57	0.018	15.1	발명예
11	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-36	-57	-42	0.016	15.1	발명예
12	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-37	-55	-36	0.025	15.2	발명예
13	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1010	-35	-48	-25	0.038	15.3	발명예
14	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-21	-62	-56	0.023	15.2	발명예
15	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	990	-18	-52	-58	0.095	15.9	비교예
16	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1010	-33	-42	-58	0.028	15.2	발명예
17	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-30	-36	-57	0.095	15.8	비교예
18	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-53	-35	-56	0.088	15.7	비교예
19	0.0015	3.32	0.52	0.01	0.0014	0.62	0.0011	0.052	0.0011	—	1000	-37	-56	-58	0.006	14.8	발명예
20	0.0016	3.35	0.48	0.01	0.0015	0.63	0.0022	0.015	0.0013	—	990	-34	-57	-57	0.006	15.0	발명예
21	0.0018	2.85	0.42	0.02	0.0019	0.35	0.0018	0.061	0.0008	—	980	-35	-55	-57	0.012	15.6	비교예
22	0.0012	3.02	0.51	0.01	0.0013	0.61	0.0016	0.042	0.0015	—	1000	-38	-55	-56	0.011	15.3	발명예
23	0.0013	3.65	0.61	—	0.0008	0.73	0.0012	0.043	0.0006	—	1010	-38	-54	-57	0.008	14.5	발명예
24	0.0011	4.13	0.32	0.01	0.0011	0.81	0.0015	0.055	0.0009	—	1000	-37	-53	-57	0.005	14.1	발명예
25	0.0013	4.85	0.25	—	0.0013	0.34	0.0012	0.052	0.0015	—	1000	-38	-61	-57	0.004	13.9	발명예

[0108]

[0109] [표 1-2]

강판 No.	강판의 화학 성분 (mass%)											마무리 어닐링 조건				강판 특성		비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	O	그 외	균열 온도 (℃)	분위기 노점(℃) D_H	D_S	D_C	산소 단위 면적당의 양 (g/m^2)	철손 $W_{17/50}$ (W/kg)	
26	0.0015	5.2	0.35	0.01	0.0005	0.54	0.0012	0.042	0.0008	—	냉간 압연 시에 파단하여, 제품화할 수 없음						비교예
27	0.0014	3.22	0.56	0.01	0.0016	1.82	0.0005	0.041	0.0005	—	1000	-33	-56	-56	0.013	14.4	발명예
28	0.0012	3.13	0.51	0.01	0.0013	2.95	0.0006	0.045	0.0004	—	1000	-32	-55	-57	0.009	14.0	발명예
29	0.0013	3.12	0.44	0.01	0.0011	3.26	0.0006	0.058	0.0007	—	냉간 압연 시에 파단하여, 제품화할 수 없음						비교예
30	0.0021	3.26	1.65	0.01	0.0013	0.53	0.0011	0.051	0.0005	—	1000	-36	-53	-57	0.008	14.6	발명예
31	0.0018	3.18	2.95	—	0.0011	0.52	0.0012	0.048	0.0008	—	1000	-38	-55	-56	0.009	15.0	발명예
32	0.0013	3.13	3.26	0.01	0.0015	0.56	0.0019	0.048	0.0012	—	1000	-35	-59	-57	0.015	15.8	비교예
33	0.0015	3.26	0.82	0.07	0.0013	0.62	0.0021	0.042	0.0011	—	990	-36	-58	-56	0.011	15.2	발명예
34	0.0012	3.31	0.35	0.11	0.0012	0.61	0.0015	0.043	0.0015	—	냉간 압연 시에 파단하여, 제품화할 수 없음						비교예
35	0.0013	3.32	0.49	0.02	0.0015	0.62	0.0016	0.048	0.0047	—	1000	-34	-55	-56	0.011	15.3	발명예
36	0.0013	3.35	0.51	0.01	0.0015	0.61	0.0012	0.051	0.0062	—	1000	-35	-56	-57	0.013	15.8	비교예
37	0.0011	3.32	0.54	0.01	0.0048	0.59	0.0013	0.049	0.0013	—	990	-36	-55	-58	0.012	15.3	발명예
38	0.0011	3.32	0.53	0.01	0.0058	0.63	0.0011	0.046	0.0012	—	1010	-34	-58	-56	0.015	15.9	비교예
39	0.0015	3.33	0.54	0.01	0.0017	0.62	0.0046	0.049	0.0016	—	1000	-37	-57	-58	0.012	15.3	발명예
40	0.0015	3.36	0.54	0.02	0.0013	0.59	0.0059	0.054	0.0015	—	1000	-36	-58	-56	0.011	15.8	비교예
41	0.0048	3.31	0.55	0.01	0.0012	0.60	0.0014	0.053	0.0012	—	1000	-35	-57	-55	0.010	15.1	발명예
42	0.0013	3.34	0.51	0.01	0.0022	0.62	0.0013	0.004	0.0009	—	1010	-38	-59	-55	0.071	15.8	비교예
43	0.0012	3.32	0.52	0.01	0.0016	0.61	0.0011	0.011	0.0008	—	1020	-38	-57	-57	0.035	15.2	발명예
44	0.0016	3.31	0.49	0.01	0.0011	0.63	0.0012	0.025	0.0016	—	1000	-37	-58	-56	0.019	15.1	발명예
45	0.0011	3.33	0.58	0.01	0.0004	0.61	0.0015	0.042	0.0009	Sn : 0.03	1010	-35	-55	-58	0.006	14.9	발명예
46	0.0018	3.32	0.55	0.01	0.0006	0.62	0.0016	0.048	0.0011	Sb : 0.06	1000	-36	-56	-56	0.005	14.8	발명예
47	0.0008	3.35	0.52	0.01	0.0012	0.63	0.0012	0.045	0.0012	Ca : 0.005	1000	-38	-55	-57	0.006	14.9	발명예
48	0.0012	3.33	0.53	0.01	0.0015	0.65	0.0016	0.046	0.0018	REM : 0.02	1010	-34	-53	-57	0.008	14.9	발명예
49	0.0016	3.34	0.55	0.01	0.0013	0.62	0.0015	0.053	0.0006	Mg : 0.0008	990	-35	-55	-55	0.005	14.9	발명예
50	0.0013	3.33	0.54	0.01	0.0016	0.63	0.0013	0.051	0.0012	Cr : 1.51	1000	-41	-56	-56	0.011	14.3	발명예

[0110]

[0111] [표 1-3]

강판 No.	강판의 화학 성분 (mass%)											마무리 어닐링 조건				강판 특성		비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	O	그 외		균열 온도 (℃)	분위기 노점(℃)			산소 단위 면적당의 양 (g/m^2)	철손$W_{17/200}$ (W/kg)	
													D_U	D_S	D_C			
51	0.0014	3.33	0.53	0.01	0.0011	0.62	0.0012	0.048	0.0005	Ni : 0.12		1010	-36	-53	-55	0.008	15.1	발명예
52	0.0015	3.32	0.55	0.01	0.0012	0.61	0.0013	0.103	0.0012	—		1010	-35	-56	-57	0.003	15.0	발명예
53	0.0010	3.31	0.53	0.01	0.0015	0.63	0.0016	0.304	0.0013	—		1000	-36	-54	-57	0.002	14.9	발명예
54	0.0011	3.32	0.52	0.01	0.0009	0.61	0.0011	0.496	0.0008	—		1000	-37	-55	-58	0.001	14.9	발명예
55	0.0013	3.29	0.50	0.01	0.0010	0.60	0.0015	0.510	0.0012	—		열간 압연 시에 파단하여, 제품화할 수 없음						비교예
56	0.0011	3.33	0.50	0.01	0.0013	0.58	0.0012	0.054	0.0006	Mo : 0.021		1000	-35	-58	-58	0.005	14.9	발명예
57	0.0010	3.34	0.48	0.01	0.0014	0.61	0.0017	0.051	0.0006	Ti : 0.004		1000	-34	-58	-57	0.004	15.2	발명예
58	0.0012	3.30	0.52	0.01	0.0012	0.60	0.0012	0.051	0.0008	Nb : 0.0005		1000	-35	-57	-58	0.006	15.3	발명예
59	0.0010	3.34	0.53	0.01	0.0008	0.61	0.0016	0.051	0.0008	V : 0.011		1000	-35	-57	-57	0.009	15.1	발명예
60	0.0008	3.29	0.51	0.01	0.0014	0.60	0.0015	0.054	0.0007	As : 0.006		1000	-34	-58	-58	0.005	15.0	발명예
61	0.0013	3.34	0.50	0.01	0.0013	0.59	0.0014	0.051	0.0006	Pb : 0.0004		1000	-36	-57	-58	0.008	15.2	발명예
62	0.0008	3.33	0.50	0.01	0.0012	0.59	0.0014	0.053	0.0009	B : 0.0004		1000	-35	-59	-57	0.005	15.1	발명예
63	0.0012	3.30	0.50	0.01	0.0014	0.60	0.0018	0.049	0.0005	Zr : 0.006		1000	-35	-57	-57	0.006	15.2	발명예
64	0.0013	3.33	0.48	0.01	0.0010	0.62	0.0018	0.049	0.0009	Ta : 0.0003		1000	-35	-58	-58	0.006	15.3	발명예
65	0.0012	3.31	0.48	0.01	0.0007	0.63	0.0012	0.051	0.0006	W : 0.007		1000	-35	-58	-57	0.006	15.0	발명예
66	0.0010	3.31	0.51	0.01	0.0013	0.59	0.0015	0.051	0.0008	Co : 0.04		1000	-35	-57	-59	0.008	14.9	발명예
67	0.0010	3.34	0.49	0.01	0.0013	0.59	0.0014	0.049	0.0006	Sc : 0.002		1000	-35	-58	-57	0.007	15.2	발명예
68	0.0011	3.28	0.49	0.01	0.0010	0.61	0.0013	0.052	0.0007	Bi : 0.0004		1000	-35	-56	-58	0.008	15.3	발명예
69	0.0011	3.27	0.51	0.01	0.0010	0.60	0.0012	0.053	0.0009	Ge : 0.0004		1000	-36	-57	-59	0.006	14.9	발명예
70	0.0012	3.34	0.49	0.01	0.0009	0.62	0.0017	0.052	0.0007	Ga : 0.005		1000	-35	-57	-58	0.008	14.9	발명예
71	0.0013	3.29	0.52	0.01	0.0010	0.59	0.0011	0.12	0.0008	Cr : 0.20, Ni : 0.13		1000	-35	-58	-57	0.004	14.9	발명예
72	0.0009	3.28	0.52	0.01	0.0015	0.60	0.0013	0.30	0.0008	Sn : 0.04, Ca : 0.003		1000	-35	-57	-57	0.003	14.8	발명예
73	0.0010	3.35	0.50	0.01	0.0010	0.62	0.0019	0.30	0.0007	Cr : 0.21, Ni : 0.04, Sn : 0.01		1000	-35	-57	-58	0.002	14.8	발명예
74	0.0009	3.35	0.53	0.01	0.0011	0.58	0.0015	0.29	0.0010	Cr : 0.05, Ni : 0.02, Sb : 0.02		1000	-34	-59	-57	0.003	14.8	발명예
75	0.0009	3.33	0.51	0.01	0.0012	0.59	0.0019	0.29	0.0007	Cr : 0.18, Ni : 0.05, Ca : 0.003		1000	-35	-58	-56	0.003	14.9	발명예

[0112]

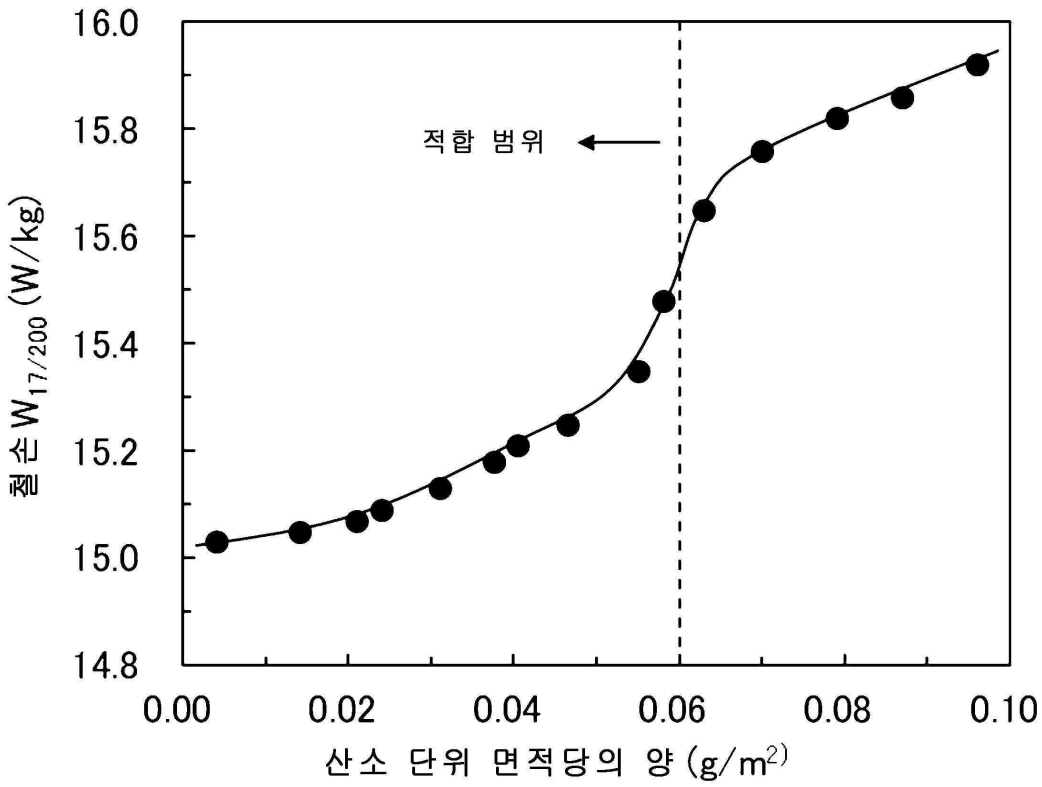
[0113] [표 1-4]

강판 No.	강판의 화학 성분 (mass%)											마무리 어닐링 조건				강판 특성		비고
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	O	그 외	균열 온도 (℃)	분위기 노점(℃)			산소 단위 면적당의 양 (g/m^2)	철손$W_{17/200}$ (W/kg)	
												D_H	D_S	D_C			
76	0.0012	3.30	0.49	0.01	0.0011	0.61	0.0013	0.31	0.0006	Cr : 0.25, Ni : 0.11, Mg : 0.001	1000	-34	-57	-58	0.003	14.8	발명예
77	0.0011	3.29	0.50	0.01	0.0012	0.61	0.0012	0.31	0.0008	Cr : 0.30, Ni : 0.18, REM : 0.02	1000	-34	-56	-58	0.002	14.8	발명예
78	0.0013	3.35	0.52	0.01	0.0012	0.61	0.0012	0.30	0.0007	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.23, Mo : 0.011	1000	-34	-58	-57	0.003	15.0	발명예
79	0.0010	3.32	0.53	0.01	0.0009	0.61	0.0013	0.31	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.24, Ti : 0.003	1000	-36	-57	-59	0.002	15.1	발명예
80	0.0009	3.34	0.48	0.01	0.0007	0.62	0.0014	0.31	0.0006	Sn : 0.03, Cr : 0.24, Ni : 0.25, Nb : 0.0003	1000	-34	-58	-58	0.002	15.2	발명예
81	0.0011	3.31	0.51	0.01	0.0015	0.60	0.0015	0.29	0.0006	Sn : 0.03, Cr : 0.24, Ni : 0.25, V : 0.005	1000	-35	-58	-59	0.003	15.0	발명예
82	0.0012	3.28	0.49	0.01	0.0011	0.61	0.0019	0.30	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.23, As : 0.003	1000	-34	-57	-59	0.002	14.9	발명예
83	0.0009	3.34	0.53	0.01	0.0013	0.62	0.0018	0.30	0.0005	Sn : 0.03, Cr : 0.24, Ni : 0.24, Pb : 0.0007	1000	-34	-59	-58	0.003	15.2	발명예
84	0.0008	3.33	0.51	0.01	0.0015	0.58	0.0012	0.29	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.25, B : 0.0006	1000	-34	-57	-57	0.002	15.1	발명예
85	0.0012	3.29	0.50	0.01	0.0013	0.60	0.0016	0.31	0.0005	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.22, Zr : 0.003	1000	-35	-57	-56	0.002	15.1	발명예
86	0.0013	3.32	0.51	0.01	0.0007	0.63	0.0017	0.30	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.26, Ni : 0.24, Ta : 0.0005	1000	-36	-58	-59	0.003	15.2	발명예
87	0.0013	3.34	0.53	0.01	0.0012	0.61	0.0016	0.31	0.0010	Sn : 0.03, Cr : 0.21, Ni : 0.24, W : 0.012	1000	-35	-58	-57	0.002	15.1	발명예
88	0.0011	3.28	0.51	0.01	0.0011	0.61	0.0017	0.30	0.0007	Sn : 0.03, Cr : 0.23, Ni : 0.25, Co : 0.009	1000	-35	-58	-58	0.003	14.9	발명예
89	0.0013	3.28	0.49	0.01	0.0013	0.60	0.0019	0.30	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.26, Ni : 0.23, Se : 0.001	1000	-36	-57	-57	0.002	15.0	발명예
90	0.0010	3.33	0.50	0.01	0.0007	0.61	0.0014	0.30	0.0009	Sn : 0.03, Cr : 0.24, Ni : 0.23, Bi : 0.0002	1000	-36	-57	-58	0.003	15.1	발명예
91	0.0008	3.28	0.49	0.01	0.0012	0.60	0.0018	0.31	0.0007	Sn : 0.03, Cr : 0.25, Ni : 0.24, Ge : 0.002	1000	-34	-58	-58	0.003	14.9	발명예
92	0.0013	3.33	0.49	0.01	0.0007	0.59	0.0016	0.30	0.0008	Sn : 0.03, Cr : 0.24, Ni : 0.25, Ga : 0.008	1000	-35	-59	-58	0.002	14.9	발명예

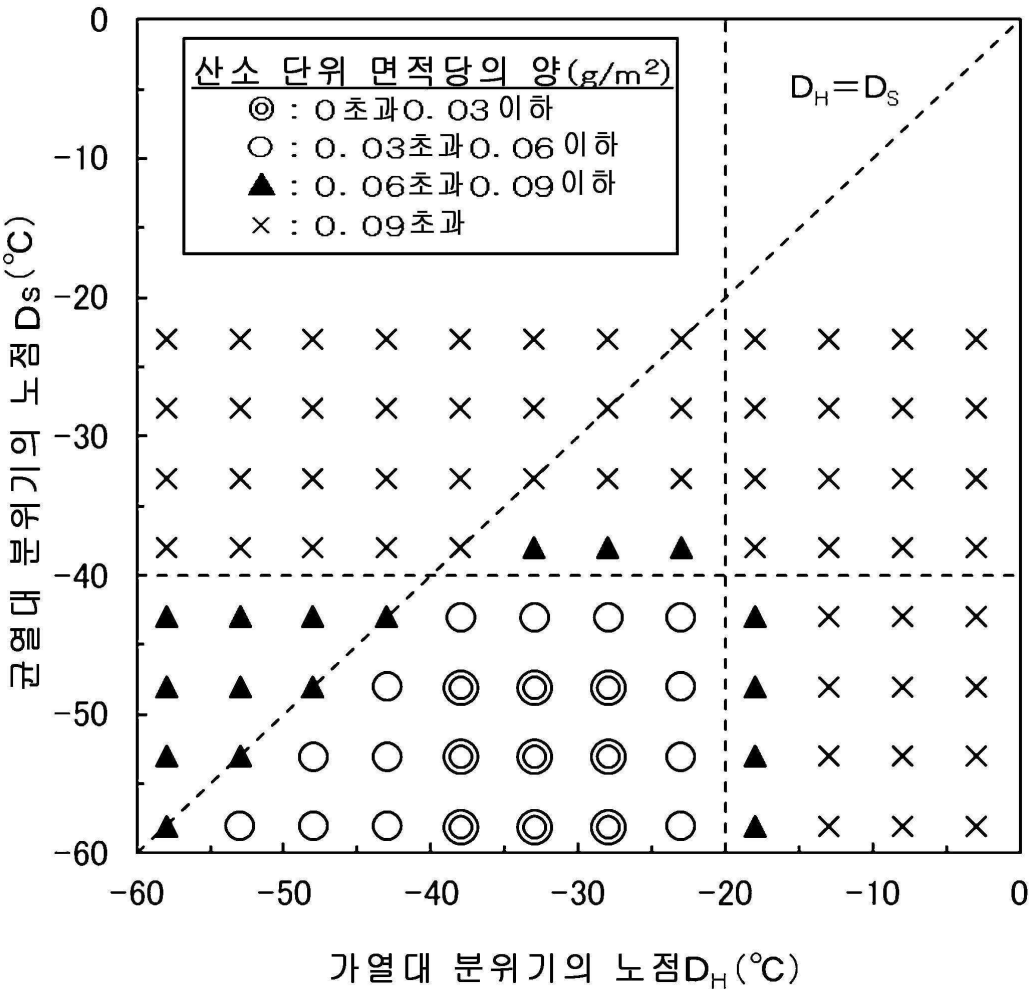
[0114]

도면

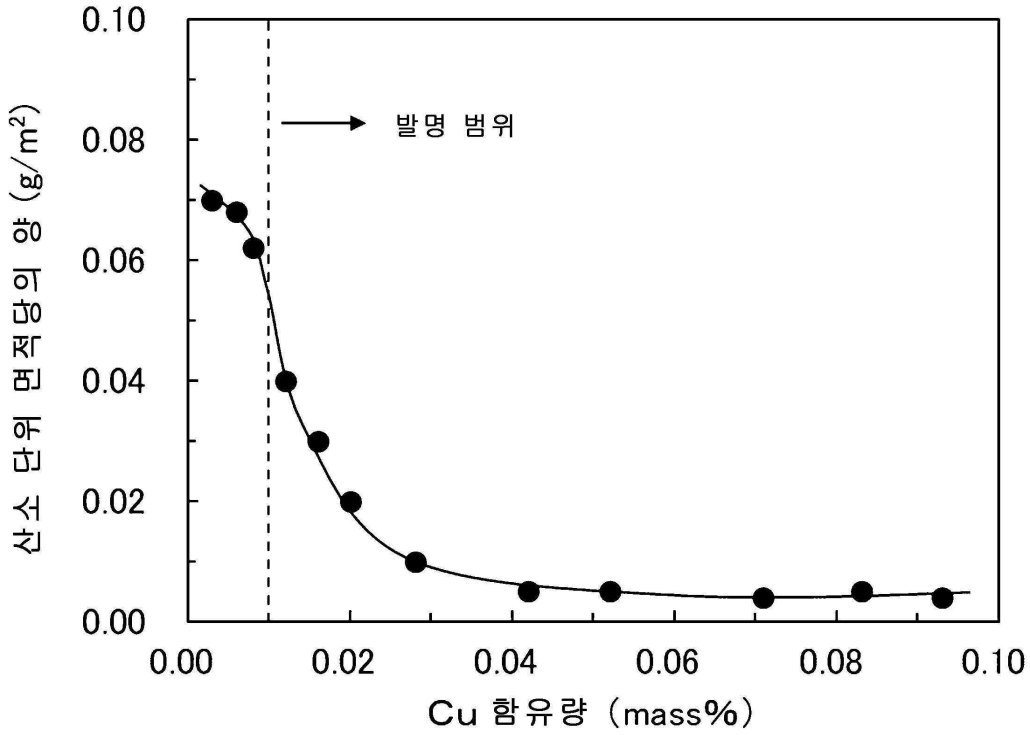
도면1


16.0
15.8
15.6
15.4
15.2
15.0
14.8
철손 $W_{17/200}$ (W/kg)
적합 범위
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
산소 단위 면적당의 양 (g/m^2)

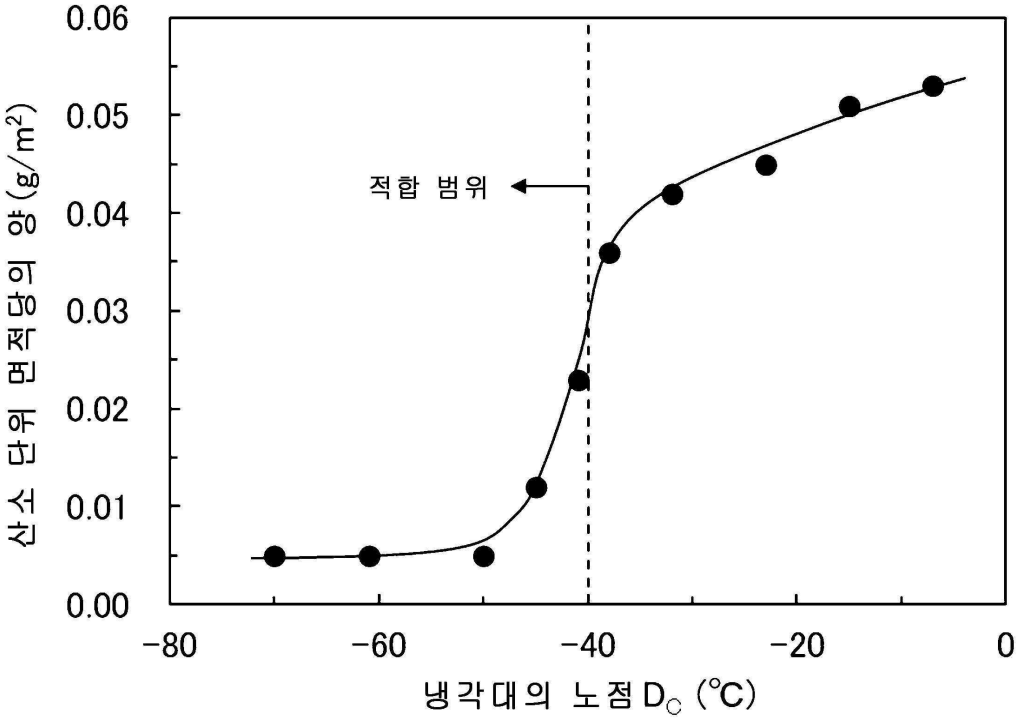
도면2


산소 단위 면적당의 양(g/m²)
◎ : 0초과0.03이하
○ : 0.03초과0.06이하
▲ : 0.06초과0.09이하
× : 0.09초과
$D_H=D_S$
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
가열대 분위기의 노점 Ds(℃)
가열대 분위기의 노점D_H(℃)

도면3


0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
산소 단위 면적당의 양 (g/m²)
발명 범위
0.00
0.02
0.04
0.06
0.08
0.10
Cu 함유량 (mass%)

도면4


0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
산소 단위 면적당의 양(g/m²)
적합 범위
-80
-60
-40
-20
0
냉각대의 노점 D_C (℃)