



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2025-0044348  
(43) 공개일자 2025년03월31일

- (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 38/10 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)
  - C22C 38/16 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
  - H01F 1/147 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
  - C22C 38/02 (2013.01)
  - C21D 8/12 (2023.08)
- (21) 출원번호 10-2025-7006183
- (22) 출원일자(국제) 2023년09월20일  
  - 심사청구일자 2025년02월25일
- (85) 번역문제출일자 2025년02월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/034057
- (87) 국제공개번호 WO 2024/063085  
  - 국제공개일자 2024년03월28일
- (30) 우선권주장  
  - JP-P-2022-151497 2022년09월22일 일본(JP)

- (71) 출원인  
  - 닛폰세이테츠 가부시카이가이사
  - 일본 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
- (72) 발명자  
  - 후쿠치 미나코
  - 일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2쵸메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카이가이사 내
  - 나토리 요시아키
  - 일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2쵸메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카이가이사 내
  - 무라카와 텃슈
  - 일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우치 2쵸메 6방 1고 닛폰세이테츠 가부시카이가이사 내
- (74) 대리인  
  - 양영준, 최인호, 성재동

전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **무방향성 전자 강판**

**(57) 요약**

$\alpha$ - $\gamma$  변태가 발생할 수 있는 조성이며, Ti를 0.0010% 내지 0.0050% 함유하고, 강판 표면을 전자선 후방 산란 회절 구비 주사형 전자 현미경(SEM-EBSD)으로 측정했을 때의  $\{hk1\}\langle uvw \rangle$  방위(여유도  $10^\circ$  이내)의 결정립의 전체 시야에 대한 면적률을  $A_{hk1-uvw}$ 라고 표기했을 때,  $A_{411-011}$ 이 15% 이상이고, 석출물의 개수 밀도가  $0.5\text{개}/\mu\text{m}^2$  내지  $50\text{개}/\mu\text{m}^2$ 이다.

(52) CPC특허분류

*C22C 38/001* (2013.01)

*C22C 38/004* (2013.01)

*C22C 38/008* (2013.01)

*C22C 38/04* (2013.01)

*C22C 38/105* (2013.01)

*C22C 38/14* (2013.01)

*C22C 38/16* (2013.01)

*C22C 38/60* (2013.01)

*H01F 1/14775* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

질량%로,

C: 0.010% 이하,

Si: 1.50% 내지 4.00%,

sol.Al: 0.0001% 내지 1.0000%,

S: 0.010% 이하,

N: 0.0005% 내지 0.0100%,

Ti: 0.0010% 내지 0.0050%,

Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상: 총계로 2.50% 내지 5.00%,

Co: 0.000% 내지 1.000%,

Sn: 0.000% 내지 0.400%,

Sb: 0.000% 내지 0.400%, 및

P: 0.000% 내지 0.400%를 함유하고,

Mn 함유량(질량%)을 [Mn], Ni 함유량(질량%)을 [Ni], Cu 함유량(질량%)을 [Cu], Si 함유량(질량%)을 [Si], sol.Al 함유량(질량%)을 [sol.Al], P 함유량(질량%)을 [P]로 했을 때에, 이하의 (1) 식을 충족하고,

잔부가 Fe 및 불순물로 이루어지는 화학 조성을 갖고,

강판 표면을 전자선 후방 산란 회절 구비 주사형 전자 현미경(SEM-EBSD)으로 측정했을 때의 {hkl}<uvw> 방위(여유도 10° 이내)의 결정립의 전체 시야에 대한 면적률을 Ahkl-uvw라고 표기했을 때, A411-011이 15% 이상이고,

석출물의 개수 밀도가 0.5개/μm<sup>2</sup> 내지 50개/μm<sup>2</sup>

인 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강판.

$$(2 \times [Mn] + 2.5 \times [Ni] + [Cu]) - ([Si] + 2 \times [sol.Al] + 4 \times [P]) \geq 1.5\% \quad \dots (1)$$

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판에 관한 것이다. 본원은, 2022년 9월 22일에 일본에 출원된 일본 특허 출원 제 2022-151497호에 기초해 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

**배경기술**

[0002] 전자 강판은, 전기 기기의 코어(철심)의 소재로서 이용된다. 전기 기기는 예를 들어, 자동차에 탑재되는 구동 모터나, 에어컨이나 냉장고용으로 대표되는 각종 컴프레서용 모터, 나아가 가정용 또는 산업용의 발전기 등이다. 이러한 전기 기기에서는, 높은 에너지 효율, 소형화 및 고출력화가 요구된다. 그 때문에, 전기 기기의 코어로서 이용되는 전자 강판에는, 저철손 및 높은 자속 밀도가 요구된다. 해결책으로서 집합 조직 제어가 있으며, 지금까지 강판 판면 내에 자화 용이 축을 갖고, 자기 특성 향상에 유리하며, 또한 강판 제조의 필수 공정인 열간 압연 및 냉간 압연에 있어서의 압연 가공에 의해 비교적 용이하게 집적을 높이는 것이 가능한 조직(α 파이버)을 발달시키는 기술이 제안되어 있다. 구체적으로는, <110> 방향이 압연 방향(RD)에 대략 평행한 조직이 형성된다.

- [0003] 특허문헌 1 내지 3에는, 모두 {100}<011> 방위를 발달시키는 방법이 개시되어 있으며, 변태 온도를 낮추고, 열간 압연 후에 급랭하여 조직을 미세화하는 것이 기재되어 있다.
- [0004] 구체적으로는, 특허문헌 1에는, 열간 압연 후 3초 이내에 200℃/sec 이상의 냉각 속도로 250℃ 이하까지 냉각하는 것, 열간 압연과, 냉간 압연 사이에 어닐링을 행하지 않고, 냉간 압연에 있어서의 누적 압하율을 88% 이상으로 하는 것이 기재되어 있다. 이에 의해, 강판 판면에 있어서 {100}<011> 방위에 집적한 전자 강판을 제조할 수 있다고 되어 있다.
- [0005] 또한, 특허문헌 2에는, Al을 0.6질량% 이상 3.0질량% 이하 포함하는 전자 강판의 제조 방법이 개시되어 있으며, 특허문헌 1에 기재된 방법과 마찬가지로의 공정에 의해, 강판 판면에 있어서 {100}<011> 방위가 집적된 전자 강판을 제조할 수 있는 것이 기재되어 있다.
- [0006] 한편, 특허문헌 3에는, 열간 압연에 있어서의 마무리 압연 온도를 Ac3 변태점 이상으로 하고, 열간 압연 후 3초 이내에 강판 온도를 250℃까지 냉각하거나, 또는, 마무리 압연 온도를 Ac3 변태점-50℃ 이하로 하고, 방랭 이상의 냉각 속도로 냉각하는 것이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 3에 기재된 제조 방법은 중간 어닐링을 끼워 2회의 냉간 압연을 행하는 것이며, 열간 압연과 1회째의 냉간 압연 사이에 어닐링을 행하지 않고, 2회째의 냉간 압연에서 누적 압하율을 5 내지 15%로 하고 있다. 이에 의해, 강판 판면에 있어서 {100}<011> 방위에 집적된 전자 강판을 제조할 수 있다고 되어 있다.
- [0007] 특허문헌 1 내지 3에 기재된 어느 방법도, 강판 판면에 있어서 {100}<011> 방위에 집적된 전자 강판을 제조할 때, 열간 압연에 있어서의 마무리 압연 온도를 Ac3점 이상으로 하는 경우에, 직후의 급랭이 필요하게 되어 있다. 급랭을 행하면 열간 압연 후의 냉각 부하가 높아진다. 조업 안정성을 고려한 경우, 냉간 압연을 실시하는 압연기의 부하는 억제할 수 있는 편이 바람직하다.
- [0008] 한편, 자기 특성을 향상시키기 위하여, {100} 방위로부터 20° 회전한 {411} 방위를 발달시키는 기술도 제안되어 있다. {411} 방위를 발달시키는 방법으로서, 특허문헌 4 내지 7에는, 모두 {411} 방위를 발달시키는 기술이 개시되어 있으며, 열간 압연판에 있어서의 입경을 최적화하거나, 열간 압연판의 집합 조직에 있어서의  $\alpha$  파이버를 강화하거나 하는 것이 기재되어 있다.
- [0009] 구체적으로는, 특허문헌 4에는, {411} 방위의 집적도보다 {211} 방위의 집적도 쪽이 높은 열간 압연판에 대하여 냉간 압연을 행하고, 냉간 압연에 있어서의 누적 압하율을 80% 이상으로 하는 것이 기재되어 있다. 이에 의해, 강판 판면에 있어서 {411} 방위에 집적한 전자 강판을 제조할 수 있다고 되어 있다.
- [0010] 또한, 특허문헌 5 및 6에는, 슬래브 가열 온도 700℃ 이상 1150℃ 이하, 마무리 압연의 개시 온도 650℃ 이상 850℃ 이하, 마무리 압연의 종료 온도 550℃ 이상 800℃ 이하로 하고, 또한, 냉간 압연에 있어서의 누적 압하율을 85 내지 95%로 하는 것이 기재되어 있다. 이에 의해, 강판 표면에 있어서 {100} 방위 및 {411} 방위에 집적한 전자 강판을 제조할 수 있다고 되어 있다.
- [0011] 한편, 특허문헌 7에는, 스트립 캐스팅 등에 의해 열간 압연 코일의 강판에서  $\alpha$  파이버를 강판 표층 근방까지 발달시키면, 그 후의 열간 압연판 어닐링으로 {h11}<1/h12> 방위, 특히 {100}<012> 내지 {411}<148> 방위가 재결정되는 것이 기재되어 있다.
- [0012] 본 발명자들이 상기의 기술을 검토한 바, 특허문헌 1 내지 3에 따라서 {100}<011> 방위를 강화하여 자기 특성을 개선하고자 하면, 열간 압연 직후의 급랭이 필요하여, 제조 부하가 높다는 문제점이 있는 것이 판명되었다. 또한 {100}<011> 방위를 강화한 강판을 코킹 코어의 소재로서 사용한 경우, 소재로부터 기대되는 정도의 코어 특성이 얻어지지 않는 경우가 있는 것을 인식하였다. 이 원인에 대하여 검토한 결과, {100}<011> 방위는 응력에 대한 자기 특성의 변화, 구체적으로는 압축 응력이 작용한 경우의 자기 특성의 열화(응력 감수성)가 크게 되어 있다고 생각되었다.
- [0013] 또한, 특허문헌 4 내지 7에 의한 기술에서는 {411} 방위는 발달하지만, 면 내 방위의 <011> 방위에의 집적이 약하고,  $\alpha$  파이버의 특징인 강판 압연 방향으로부터 45° 방향으로의 자기 특성이 충분히 높아지지 않은 것이 판명되었다. 면 내 방위가 <011> 방위에 정렬되지 않는, 즉  $\alpha$  파이버로부터의 어긋남이 큰 것은, 면 방위로서의 {411} 방위에의 집적을 저해하는 요인이 되고 있어, 자기 특성이 충분히 향상되지 않는 원인이 되고 있을 가능성도 생각되었다.
- [0014] 또한, 모터의 로터에 무방향성 전자 강판을 사용하는 경우에는, 고자속 밀도 뿐만 아니라, 고속 회전을 수반하기 때문에 고강도도 요구된다. 고강도와 함께 고자속 밀도를 실현하기 위해서는, 집합 조직 제어에 의한 자기

특성 향상에 유리한 {100}면의 발달이 검토되어 왔다. 종래 기술에서는, 95% 초과와 고압하울에서의 냉간 압연이나 침수 시간의 진공 어닐링이라는 특수한 프로세스를 통하여 발달시키고 있어, 공업 생산에 있어서는 비용저감이 요구되고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0015] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2017-145462호 공보
- (특허문헌 0002) 일본 특허 공개 제2017-193731호 공보
- (특허문헌 0003) 일본 특허 공개 제2019-178380호 공보
- (특허문헌 0004) 일본 특허 제4218077호 공보
- (특허문헌 0005) 일본 특허 제5256916호 공보
- (특허문헌 0006) 일본 특허 공개 제2011-111658호 공보
- (특허문헌 0007) 일본 특허 공개 제2019-183185호 공보

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0016] 본 발명은 상기의 문제점을 감안하여, 제조 부하가 높아지지 않도록 하여, 고강도와 고자속 밀도를 양립시킨 무방향성 전자 강판을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0017] 본 발명자들은, 상기 과제를 해결하고자 예의 검토를 행하였다. 이 결과, 화학 조성, 열간 압연 후의 입경, 냉간 압연에서의 압하율을 최적화하는 것이 중요한 것이 밝혀졌다. 구체적으로는,  $\alpha$ - $\gamma$  변태계의 화학 조성을 전제로 하여, 열간 압연 후에 소정의 조건으로 냉각하여 입경을 최적화하고, 또한 소정의 압하율로 냉간 압연하여, 중간 어닐링의 온도를 소정의 범위 내로 제어하고, 또한 적절한 압하율로 2회째의 냉간 압연을 실시한 후에 어닐링을 실시함으로써, 통상은 발달하기 어려운 {411}<011> 방위의 결정립을 발달시키기 쉽게 하는 것이 중요하다. 본 발명자들은, 이러한 지견에 기초하여 예의 검토를 더 거듭한 결과, 이하에 나타내는 발명의 제 양태에 상도하였다.

- [0018] (1)
- [0019] 질량%로,
- [0020] C: 0.010% 이하,
- [0021] Si: 1.50% 내지 4.00%,
- [0022] sol.Al: 0.0001% 내지 1.0000%,
- [0023] S: 0.010% 이하,
- [0024] N: 0.0005% 내지 0.0100%,
- [0025] Ti: 0.0010% 내지 0.0050%,
- [0026] Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상: 총계로 2.50% 내지 5.00%,
- [0027] Co: 0.000% 내지 1.000%,
- [0028] Sn: 0.000% 내지 0.400%,
- [0029] Sb: 0.000% 내지 0.400%, 및

- [0030] P: 0.000% 내지 0.400%를 함유하고,
- [0031] Mn 함유량(질량%)을 [Mn], Ni 함유량(질량%)을 [Ni], Cu 함유량(질량%)을 [Cu], Si 함유량(질량%)을 [Si], sol.Al 함유량(질량%)을 [sol.Al], P 함유량(질량%)을 [P]라고 했을 때, 이하의 (1) 식을 충족하고,
- [0032] 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어지는 화학 조성을 갖고,
- [0033] 강관 표면을 전자선 후방 산란 회절 구비 주사형 전자 현미경(SEM-EBSD)으로 측정했을 때의 {hkl}<uvw> 방위(여유도 10° 이내)의 결정립의 전체 시야에 대한 면적률을 Ahkl-uvw라고 표기했을 때, A411-011이 15% 이상이고,
- [0034] 석출물의 개수 밀도가 0.5개/ $\mu\text{m}^2$  내지 50개/ $\mu\text{m}^2$
- [0035] 인 것을 특징으로 하는 무방향성 전자 강관.

$$(2 \times [\text{Mn}] + 2.5 \times [\text{Ni}] + [\text{Cu}]) - ([\text{Si}] + 2 \times [\text{sol. Al}] + 4 \times [\text{P}]) \geq 1.5\% \quad \dots (1)$$

**발명의 효과**

[0037] 본 발명에 따르면, 제조 부하가 높아지지 않도록 하여, 고강도와 고자속 밀도를 양립시킨 무방향성 전자 강관을 제공할 수 있다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0038] 이하, 본 발명의 실시 형태에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0039] 먼저, 본 발명의 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관 및 그 제조 방법에서 사용되는 강재, 그리고 무방향성 전자 강관의 제조에 사용되는 냉간 압연 강관의 화학 조성에 대하여 설명한다. 이하의 설명에 있어서, 무방향성 전자 강관 또는 강재에 포함되는 각 원소의 함유량의 단위인 「%」는, 특별히 언급이 없는 한 「질량%」를 의미한다. 또한, 「내지」를 사용하여 표현되는 수치 범위는, 「내지」의 전후에 기재되는 수치를 하한값 및 상한값으로서 포함하는 범위를 의미한다.
- [0040] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관, 냉간 압연 강관 및 강재는, 페라이트-오스테나이트 변태(이하,  $\alpha$ - $\gamma$  변태)가 발생할 수 있는 화학 조성이며, C: 0.010% 이하, Si: 1.50% 내지 4.00%, sol.Al: 0.0001% 내지 1.0000%, S: 0.010% 이하, N: 0.0005% 내지 0.0100%, Ti: 0.0010% 내지 0.0050%, Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상: 총계로 2.50% 내지 5.00%, Co: 0.000% 내지 1.000%, Sn: 0.000% 내지 0.400%, Sb: 0.000% 내지 0.400%, 및 P: 0.000% 내지 0.400%를 함유하고, 잔부가 Fe 및 불순물로 이루어지는 화학 조성을 갖는다. 또한, Mn, Ni, Cu, Si, sol.Al 및 P의 함유량이 후술하는 소정의 조건을 충족한다. 불순물로서는, 광석이나 스크랩 등의 원재료에 포함되는 것, 제조 공정에 있어서 포함되는 것이 예시된다.

[0041] (C: 0.010% 이하)

[0042] C는, 미세한 탄화물이 석출하여 입성장을 저해함으로써 철손을 높이거나, 자기 시효를 야기하거나 한다. 따라서, C 함유량은 낮으면 낮을수록 좋다. 이러한 현상은, C 함유량이 0.010% 초과에서 현저하다. 이 때문에, C 함유량은 0.010% 이하로 한다. 또한, C 함유량의 하한은 특별히 한정하지 않지만, 정련 시의 탈탄 처리의 비용을 근거로 하여, 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0043] (Si: 1.50% 내지 4.00%)

[0044] Si는, 전기 저항을 증대시켜, 와전류손을 감소시키고, 철손을 저감하거나, 항복비를 증대시켜, 철심에의 편칭 가공성을 향상시키거나 한다. Si 함유량이 1.50% 미만이면, 이러한 작용 효과를 충분히 얻을 수 없다. 따라서, Si 함유량은 1.50% 이상으로 한다. 한편, Si 함유량이 4.00% 초과에서는, 자속 밀도가 저하되거나, 경도의 과도한 상승에 의해 편칭 가공성이 저하되거나, 냉간 압연이 곤란해지거나 한다. 따라서, Si 함유량은 4.00% 이하로 한다.

[0045] (sol.Al: 0.0001% 내지 1.0000%)

[0046] sol.Al은, 전기 저항을 증대시켜, 와전류손을 감소시키고, 철손을 저감한다. sol.Al은, 포화 자속 밀도에 대한 자속 밀도 B50의 상대적인 크기의 향상에도 기여한다. 여기서, 자속 밀도 B50이란, 5000A/m의 자장에 있어서의

자속 밀도이다. sol.Al 함유량이 0.0001% 미만이면, 이러한 작용 효과를 충분히 얻을 수 없다. 또한, sol.Al 에는 제강에서의 탈황 촉진 효과도 있다. 따라서, sol.Al 함유량은 0.0001% 이상으로 한다. 한편, sol.Al 함유량이 1.0000% 초과에서는, 자속 밀도가 저하되거나, 항복비를 저하시켜, 펀칭 가공성을 저하시키거나 한다. 따라서, sol.Al 함유량은 1.0000% 이하로 한다. 또한, sol.Al 함유량이 0.0100% 내지 0.1000%인 범위에서는, AlN이 석출되어 입성장을 저해하는 것에 의한 철손 열화값이 크기 때문에, 이 농도 범위는 피하는 것이 바람직하다.

[0047] (S: 0.010% 이하)

[0048] S는, 필수 원소가 아니며, 예를 들어 강 중에 불순물로서 함유된다. S는, 미세한 MnS의 석출에 의해, 어닐링에 있어서의 재결정 및 결정립의 성장을 저해한다. 따라서, S 함유량은 낮으면 낮을수록 좋다. 이러한 재결정 및 결정립 성장의 저해에 의한 철손의 증가 및 자속 밀도의 저하는, S 함유량이 0.010% 초과에서 현저하다. 이 때문에, S 함유량은 0.010% 이하로 한다. 또한, S 함유량의 하한은 특별히 한정하지 않지만, 정련 시의 탈황 처리의 비용을 근거로 하여, 0.0003% 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0049] (N: 0.0005% 내지 0.0100%)

[0050] N은 TiN이나 AlN 등의 미세한 석출물의 형성을 통하여 자기 특성을 열화시키므로, N 함유량은 0.0100% 이하로 한다. 또한, 석출물인 TiN이 부족하면, 강도가 부족하기 때문에, N 함유량은 0.0005% 이상으로 한다. 바람직하게는 N 함유량이 0.0010% 이상이다.

[0051] (Ti: 0.0010% 내지 0.0050%)

[0052] Ti는, 고용 강화 및 세립화 강화에 필요한 원소이다. Ti 함유량이 0.0010% 미만에서는 이러한 작용 효과가 충분히 얻어지지 않는다. 또한, Ti 함유량이 0.0050%를 초과하면, 미세한 석출물인 TiN을 많이 형성하여 자기 특성을 열화시킨다. 따라서, Ti 함유량은, 0.0010% 내지 0.0050%로 한다. 바람직하게는 Ti 함유량이 0.0010% 내지 0.0030%이다.

[0053] (Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상: 총계로 2.50% 내지 5.00%)

[0054] 이들 원소는, α-γ 변태를 발생시키기 위하여 필요한 원소이기 때문에, 이들 원소 중 적어도 1종을 총계로 2.50% 이상 함유시킬 필요가 있다. 한편, 총계로 5.00%를 초과하면, 고비용이 되고, 자속 밀도가 저하되는 경우도 있다. 따라서, 이들 원소 중 적어도 1종을 총계로 5.00% 이하로 한다.

[0055] 또한, α-γ 변태가 발생할 수 있는 조건으로서, 이하의 조건을 더 충족하는 것으로 한다. 즉, Mn 함유량(질량%)을 [Mn], Ni 함유량(질량%)을 [Ni], Cu 함유량(질량%)을 [Cu], Si 함유량(질량%)을 [Si], sol.Al 함유량(질량%)을 [sol.Al], P 함유량(질량%)을 [P]라고 했을 때, 질량%로, 이하의 (1) 식을 충족하는 것으로 한다.

$$(2 \times [Mn] + 2.5 \times [Ni] + [Cu]) - ([Si] + 2 \times [sol.Al] + 4 \times [P]) \geq 1.5\% \quad \dots (1)$$

[0056] 상술한 (1) 식을 충족하지 않는 경우에는, α-γ 변태가 발생하지 않기 때문에, 자속 밀도가 낮아진다.

[0058] (Co: 0.000% 내지 1.000%)

[0059] Co는 α-γ 변태를 발생시키기 위하여 유효한 원소이기 때문에, 필요에 따라서 함유시켜도 되지만, 과잉으로 포함되면 고비용이 되고, 자속 밀도가 저하되는 경우도 있다. 따라서, Co 함유량은 1.000% 이하로 한다.

[0060] (Sn: 0.000% 내지 0.400%, Sb: 0.000% 내지 0.400%)

[0061] Sn이나 Sb는 냉간 압연, 재결정 후의 집합 조직을 개선하여, 그 자속 밀도를 향상시킨다. 그 때문에, 이들 원소를 필요에 따라서 함유시켜도 되지만, 과잉으로 포함되면 강을 취화시킨다. 따라서, Sn 함유량, Sb 함유량은 모두 0.400% 이하로 한다. 이상과 같이 자기 특성 등의 추가의 효과를 부여하는 경우에는, 0.020% 내지 0.400%의 Sn, 및 0.020% 내지 0.400%의 Sb로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상을 함유하는 것이 바람직하다.

[0062] (P: 0.000% 내지 0.400%)

[0063] P는 재결정 후의 강관의 경도를 확보하기 위하여 함유시켜도 되지만, 과잉으로 포함되면 강의 취화를 초래한다. 따라서, P 함유량은 0.400% 이하로 한다. 자기 특성 등의 추가의 효과를 부여하는 경우에는, 0.020% 내지

0.400%의 P를 함유하는 것이 바람직하다.

- [0064] 다음으로, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관의 특정 방위 입자의 면적률의 측정 방법에 대하여 설명한다. 특정 방위 입자의 면적률은, OMI Analysis 7.3(TSL사제)을 사용하여, 하기 측정 조건으로 관찰한 전자선 후방 산란 회절(EBSD: Electron Back Scattering Diffraction) 구비 주사형 전자 현미경(SEM: Scanning Electron Microscope)에 의한 측정 영역 중에서 목적으로 하는 특정 방위를 추출(틀러런스는 10° 로 설정, 이하 여유도 10° 이내로 표기)한다. 그 추출한 면적을, 측정 영역의 면적으로 나누어, 백분율을 구한다. 이 백분율을 특정 방위 입자의 면적률로 한다. 이하, 「{hkl}<uvw> 방위(여유도 10° 이내)의 결정 방위를 갖는 결정립의 측정 영역에 대한 면적률」, 「{hkl} 방위(여유도 10° 이내)의 결정 방위를 갖는 결정립의 측정 영역에 대한 면적률」을, 각각 단순히 「{hkl}<uvw>율」, 「{hkl}율」이라고도 칭하는 경우가 있다. 이하, 결정 방위의 기술에 있어서는 여유도 10° 이내인 것으로 한다.
- [0065] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강관에 있어서는, 강관 표면을 SEM-EBSD로 측정했을 때 {411}<011>률을 15% 이상으로 한다. {411}<011>률이 15% 미만이면, 우수한 자기 특성을 얻을 수 없다. 따라서, {411}<011>률은 15% 이상, 바람직하게는 25% 이상으로 한다.
- [0066] 또한, 각 방위 입자의 면적률을 구하는 측정 조건의 상세는, 다음과 같다.
- [0067] · 측정 장치: SEM의 형번 「JSM-6400(JEOL사제)」, EBSD 검출기의 형번 「HIKARI(TSL사제)」를 사용
- [0068] · 스텝 간격: 0.3 $\mu$ m(중간 어닐링 후, 스킨 패스 압연 후), 또는 5.0 $\mu$ m(마무리 어닐링 후)
- [0069] · 배율: 1000배(중간 어닐링 후, 스킨 패스 압연 후), 또는 100배(마무리 어닐링 후)
- [0070] · 측정 대상: 강관의 C 방향 중앙의 Z면(관 두께 방향으로 강관을 절단한 절단면)의 중심층(관 두께 1/2부)
- [0071] · 측정 영역: L 방향 1000 $\mu$ m 이상 또한 C 방향 1000 $\mu$ m 이상의 영역
- [0072] 또한, 강관 표면을 SEM-EBSD로 측정했을 때  $\phi$ 1=0 내지 90° ,  $\Phi$ =20° 중에서  $\phi$ 1=0 내지 10° 에 최대 강도를 갖고, 또한  $\phi$ 1=0° ,  $\Phi$ =0 내지 90° 중에서  $\Phi$ =5 내지 35° 에 최대 강도를 갖는 것이 바람직하다.  $\phi$ 1=0 내지 90° ,  $\Phi$ =20° 중에서  $\phi$ 1=0 내지 10° 에 최대 강도를 갖는 것은, {411}<uvw> 방위 중에서 {411}<011> 방위 부근에 최대 강도를 갖는 것과 동의이다. {411}<011> 방위는 {411}<148> 등과 비교하여 45° 방향 자기 특성이 우수하다.  $\phi$ 1=0 내지 90° ,  $\Phi$ =20° 중에서  $\phi$ 1=0 내지 5° 에 최대 강도를 가지면 보다 바람직하다.
- [0073] 한편, 강관 표면을 SEM-EBSD로 측정했을 때  $\phi$ 1=0° ,  $\Phi$ =0 내지 90° 중에서  $\Phi$ =5 내지 35° 에 최대 강도를 갖는 것은, {hkl}<011> 방위 중에서 {411}<011> 방위 부근에 최대 강도를 갖는 것과 동의이다. {411}<011> 방위는 자기 특성이 우수하고, 또한 {100}<011> 방위와 비교하여 응력 감수성이 낮기 때문에, 코킹 코어 등에서의 자성 열화가 적다.  $\phi$ 1=0° ,  $\Phi$ =0 내지 90° 중에서  $\Phi$ =20 내지 30° 에 최대 강도를 가지면 보다 바람직하다.
- [0074] 여기서, 강관에 있어서는 특정 방위 범위 내의 최대 강도의 판정 방법에 대하여 설명한다. SEM-EBSD에 의한 측정 영역에서, OMI Analysis 7.3을 사용하여, 하기 조건으로 방위 분포 함수(ODF: Orientation Distribution Function)를 작성한다. 그리고, 작성한 ODF의 데이터를 출력하여, 특정 방위 범위( $\phi$ 1,  $\Phi$ 의 각도로 범위를 규정) 내에서 ODF value가 최대가 되는 곳을 최대 강도로 한다.
- [0075] 또한, 강관에 있어서는 특정 방위의 ODF 강도의 판정 방법에 대하여 설명한다. SEM-EBSD에 의한 측정 영역에서, OMI Analysis 7.3을 사용하여, 하기 조건으로 ODF를 작성한다. 그리고, 작성한 ODF의 데이터를 출력하고, 특정 방위( $\phi$ 1,  $\Phi$ 의 각도로 방위를 규정)의 ODF value를 ODF 강도로 한다.
- [0076] 또한, ODF의 작성 조건의 상세는 다음과 같다.
- [0077] · Series Rank [L]: 16
- [0078] · Gaussian Half-Width[degrees]: 5
- [0079] · Sample Symmetry: Triclinic(None)
- [0080] · Bunge Euler Angles:  $\phi$ 1=0 내지 90° ,  $\phi$ 2=45° ,  $\Phi$ =0 내지 90°
- [0081] 또한, SEM-EBSD로 측정했을 때의 전체 시야에 대한 특정 방위(여유도 10° 이내)를 갖는 결정립의 면적률에 대하여, 이하와 같이 표기한다. {hkl}<uvw> 방위(여유도 10° 이내)의 결정 방위를 갖는 결정립의 전체 시야에 대한 면적률을 Ahkl-uvw, {hkl} 방위(여유도 10° 이내)의 결정 방위를 갖는 결정립의 전체 시야에 대한 면적률

Ahk1이라고 표기한 경우, 이하의 (2) 식 및 (3) 식의 양쪽을 충족하는 것으로 한다.

$$A411-011/A411-148 \geq 1.1 \quad \dots (2)$$

$$A411-011/A100-011 \geq 2 \quad \dots (3)$$

또한, 자기 특성은 {411} 방위의 결정 방위를 갖는 결정립이 많으면 우위가 되지만, {111} 방위의 결정 방위를 갖는 결정립이 많으면 열위가 된다. 따라서, {411}율이 {111}율을 상회하는 것이 바람직하고, 보다 바람직하게는 {411}율이 {111}율의 2배 이상으로 한다.

다음으로, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판에 있어서의 석출물의 개수 밀도에 대하여 설명한다. 여기서 석출물은 주로 TiN과 같은 미세 석출물이며, 그 이외로서는 AlN이나 MnS 등의 미세 석출물도 포함된다. 이 석출물의 개수 밀도가 0.5개/ $\mu\text{m}^2$ 보다도 작으면, 강도가 부족하다. 한편, 석출물이 증가하고, 석출물의 개수 밀도가 50개/ $\mu\text{m}^2$ 보다도 크면, 석출물인 TiN이 과잉이 되어 자기 특성이 열화된다. 그 때문에, 무방향성 전자 강판에 있어서의 석출물의 개수 밀도는 0.5개/ $\mu\text{m}^2$  내지 50개/ $\mu\text{m}^2$ 로 한다.

석출물의 개수 밀도의 측정은, 예를 들어 투과형 전자 현미경(TEM)을 사용하여 추출 레플리카법에 의해 샘플을 관찰하여 개수 밀도를 산출함으로써 행한다. 구체적으로는, 투과형 전자 현미경을 사용하여 강판 표면으로부터 판 두께 t에 대하여 1/2 깊이 위치의 표면을 추출 레플리카법에 의해 관찰하고, 동일 샘플에 있어서 5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 의 시야 중의 석출물의 개수를 계측한다. 단, 관찰 시는 개수 밀도의 계산에 더하지 않는 조대 석출물(원 상당 직경 1 $\mu\text{m}$  이상)을 시야에 포함하지 않도록 한다. 그리고, 동일 샘플에 있어서 10 시야 이상으로 석출물의 개수를 계측하고, 그 평균값을 석출물의 개수 밀도로서 산출한다. 또한, 석출물의 개수를 계측할 때에는, 화상 해석 소프트웨어를 사용해도 된다.

다음으로, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 두께에 대하여 설명한다. 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 판 두께는 특별히 한정되지 않는다. 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 바람직한 판 두께는, 0.25 내지 0.50mm이다. 통상, 판 두께가 얇아지면, 철손은 낮아지지만, 자속 밀도가 낮아진다. 이 점을 근거로 하면, 판 두께가 0.25mm 이상이면, 철손이 보다 낮고, 또한, 자속 밀도가 보다 높아진다. 또한, 판 두께가 0.50mm 이하이면 낮은 철손을 유지할 수 있다. 판 두께의 보다 바람직한 하한값은 0.30mm이다.

또한, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판은, 우수한 자기 특성으로서, 압연 방향에 대하여 45° 방향의 자속 밀도 B50이 1.70T 이상, 압연 방향에 대하여 45° 방향의 철손 W10/400이 14W/kg 이하인 것이 바람직하다. 또한, 강도에 관해서는, 인장 강도가 600MPa 이상인 것이 바람직하다.

또한, 인장 강도는, 무방향성 전자 강판의 압연 방향을 길이 방향으로 한 JIS5호 시험편을 채취하고, JIS Z2241: 2011에 준거한 인장 시험을 행함으로써 구한다.

상술한 무방향성 전자 강판은, 마무리 어닐링이 행해짐으로써 제조되는 무방향성 전자 강판의 특징이다. 이후는, 마무리 어닐링을 행하기 전(스킨 패스 압연을 행한 후)의 무방향성 전자 강판의 특징을 설명한다.

본 실시 형태에 관한 스킨 패스 압연 후(마무리 어닐링 전)의 무방향성 전자 강판은, 이하의 GOS(Grain Orientation Spread)값(Gs)을 갖고 있다. 여기서, GOS값은 동일한 입자 내에서의 모든 측정점(픽셀) 간의 방위차를 평균한 것이며, 변형이 많은 결정립에서는 GOS값은 높아진다. 스킨 패스 압연 후에 있어서, GOS값 Gs가 작은, 즉 저변형 상태이면, 다음 공정의 마무리 어닐링에 있어서, 별징에 의한 입성장을 발생하기 쉽다. 따라서, 스킨 패스 압연 후의 GOS값 Gs의 상한을 3.0으로 한다. 한편, GOS값 Gs가 0.8 미만이면 변형량이 너무 작아져, 별징에 의한 입성장에 걸리는 마무리 어닐링 시간이 길어진다. 따라서, 스킨 패스 압연 후의 GOS값 Gs는 0.8 이상 3.0 이하로 한다.

여기서, 강판에 있어서의 Gs의 산출 방법에 대하여 설명한다. 상기의 결정 방위를 규정했을 때의 SEM-EBSD 데이터를 사용하여 OIM Analysis 7.3으로 해석함으로써, GOS값의 개수 평균값을 구하고, 그것을 Gs로 한다.

또한, 스킨 패스 압연 후(마무리 어닐링 전)의 무방향성 전자 강판에 있어서는,  $\alpha$  파이버율이 클수록 마무리 어닐링 후의 자기 특성이 우위가 된다. 여기서,  $\alpha$  파이버율의 측정 방법에 대하여 설명한다. 본 실시 형태에서는  $\alpha$  파이버는 {hk1}<011> 방위로 한다. SEM-EBSD에 의한 측정 영역에서, OMI Analysis 7.3을 사용하여, {hk1}<011> 방위를 추출(여유도 10° 이내)한다. 그 추출한 면적을, 측정 영역의 면적으로 나누어, 백분율을 구한다. 이 백분율을  $\alpha$  파이버율로 한다.

- [0094] 스킨 패스 압연 후(마무리 어닐링 전)의 무방향성 전자 강판에 있어서,  $\alpha$  파이버율은 20% 이상으로 하고, 바람직하게는 25% 이상이다.
- [0095] 또한, 스킨 패스 압연 후(마무리 어닐링 전)의 무방향성 전자 강판에 있어서는, {100}<011> 방위의 ODF 강도를 15 이하로 한다. 여기서, {100}<011> 방위의 ODF 강도는 상기의 결정 방위를 규정했을 때의 SEM-EBSD 데이터를 사용하여 작성한 ODF의  $\phi 1=0^\circ$ ,  $\Phi=0^\circ$  의 ODF Value이다. {411}<011> 방위는 자기 특성이 우수하고, 또한 {100}<011> 방위와 비교하여 응력 감수성이 낮기 때문에, 코킹 코어 등에서의 자성 열화가 적다. 스킨 패스 압연 후(마무리 어닐링 전)의 {100}<011> 방위의 ODF 강도를 15 이하로 함으로써, 계속되는 마무리 어닐링 후의 {411}<011> 방위를 강화할 수 있다.
- [0096] 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판은, 코어를 형성함으로써, 자기 특성(고자속 밀도 및 저철손)이 요구되는 용도에 널리 적용 가능한데, 로터 등 특히 고강도도 함께 요구되는 용도에 적용할 수 있다.
- [0097] 다음으로, 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 제조 방법의 일례에 대하여 설명한다. 본 실시 형태에서는, 열간 압연, 냉간 압연, 중간 어닐링, 2회째의 경압하 냉간 압연(이하, 스킨 패스 압연), 마무리 어닐링을 행한다.
- [0098] 열간 압연에서는, 상술한 화학 조성을 충족하는 강재에 대하여 열간 압연을 실시하여 열간 압연판을 제조한다. 열간 압연 공정은, 가열 공정과, 압연 공정을 구비한다.
- [0099] 강재는, 예를 들어 통상의 연속 주조에 의해 제조되는 슬래브이며, 상술한 조성의 강재는 주지의 방법으로 제조된다. 예를 들어, 전로 또는 전기로 등에서 용강을 제조한다. 제조된 용강에 대하여 탈가스 설비 등에서 2차 정련하여, 상기 화학 조성을 갖는 용강으로 한다. 용강을 사용하여 연속 주조법 또는 조괴법에 의해 슬래브를 주조한다. 주조된 슬래브를 분괴 압연해도 된다.
- [0100] 가열 공정에서는, 상술한 화학 조성을 갖는 강재를 1100 내지 1200℃로 가열하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 강재를 가열로 또는 균열로에 장입하여, 노 내에서 가열한다. 가열로 또는 균열로에서의 상기 가열 온도에서의 유지 시간은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들어 30 내지 200시간이다.
- [0101] 압연 공정에서는, 가열 공정에 의해 가열된 강재에 대하여, 복수회 패스의 압연을 실시하여, 열간 압연판을 제조한다. 여기서, 「패스」란, 한 쌍의 워크롤을 갖는 1개의 압연 스탠드를 강판이 통과하여 압하를 받는 것을 의미한다. 열간 압연은 예를 들어, 일렬로 배열된 복수의 압연 스탠드(각 압연 스탠드는 한 쌍의 워크롤을 가짐)를 포함하는 탠덤 압연기를 사용하여 탠덤 압연을 실시하여, 복수회 패스의 압연을 실시해도 되고, 한 쌍의 워크롤을 갖는 리버스 압연을 실시하여, 복수회 패스의 압연을 실시해도 된다. 생산성의 관점에서, 탠덤 압연기를 사용하여 복수회의 압연 패스를 실시하는 것이 바람직하다.
- [0102] 압연 공정은, 전단의 조압연과 후단의 마무리 압연으로 이루어지고, 본 실시 형태에서는 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율은 20% 이상으로 한다. 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율을 20% 이상으로 함으로써, 전위 밀도를 충분히 증대시켜 석출 사이트를 증가시킬 수 있다. 그 결과, 무방향성 전자 강판에 있어서의 석출물의 개수 밀도를 상술한 범위로 제어할 수 있다. 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율이 20% 미만이면, 전위 밀도가 불충분해지기 때문에, 무방향성 전자 강판에 있어서의 석출물의 개수 밀도를 상술한 범위로 제어할 수 없다. 따라서, 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율은 20% 이상으로 하고, 바람직하게는 30% 이상, 더욱 바람직하게는 35% 이상으로 한다. 또한, 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율이 클수록 석출물의 개수 밀도도 증가하는 경향이 있지만, 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율이 너무 크면 생산성이 저하되는 점에서, 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율만에 의해 석출물의 개수 밀도가 50개/ $\mu\text{m}^2$ 를 초과하는 것은 현실적으로는 일어나지 않는다. 여기서, 마무리 압연의 최종 패스에서의 압하율은, 다음과 같이 정의된다.

$$\text{압하율}(\%) = (1 - \text{마무리 압연에서의 최종 패스의 압연 후의 판 두께} / \text{마무리}$$

$$\text{압연에서의 최종 패스의 압연 전의 판 두께}) \times 100$$

- [0103]
- [0104] 압연 공정(조압연 및 마무리 압연)에서의 압연은,  $\gamma$  영역 또는  $\alpha + \gamma$  2상 영역(Ar1점 이상)의 온도에서 행한다. 즉, 마무리 압연의 최종 패스를 통과할 때의 온도(마무리 압연 온도 FT(℃))가 Ar1점 이상이 되도록 열간 압연을 행한다. 또한, 마무리 압연 온도 FT가 Ac3점 이하가 되도록 열간 압연을 행하는 것이 바람직하다. 마무리 압연 온도 FT가 Ac3점 이하가 되도록 열간 압연을 행함으로써, 후술하는 냉각 등과 어울려 결정립 내에 바람직하게 변형을 도입할 수 있고, 결과적으로 A411-011을 높일 수 있다. 마무리 압연 온도 FT가 Ac3점 초과

이면, 결정립 내에 바람직하게 변형을 도입할 수 없어, 결과적으로 원하는 A411-011을 얻을 수 없는 경우가 있다.

- [0105] 또한, Ar1점은, 1°C/초의 평균 냉각 속도로 냉각 중인 강관의 열팽창 변화로부터 구할 수 있다. 또한, Ac3점, 후술하는 Ac1점은, 1°C/초의 평균 가열 속도로 가열 중인 강관의 열팽창 변화로부터 구할 수 있다.
- [0106] 여기서, 마무리 압연 온도 FT란, 열간 압연 공정 중의 상기 압연 공정에 있어서, 최종 패스의 압하를 행하는 압연 스탠드 출구측에서의 강관의 표면 온도(°C)를 의미한다. 마무리 압연 온도 FT는, 예를 들어 최종 패스의 압하를 행하는 압연 스탠드 출구측에 설치된 측온계에 의해, 측온 가능하다. 또한, 마무리 압연 온도 FT는, 예를 들어 강관 전체 길이를 압연 방향으로 10등분하여 10구분으로 한 경우에 있어서, 선단의 1구분과, 후단의 1구분을 제외한 부분의 측온 결과의 평균값을 의미한다.
- [0107] 그 후, 압연 공정 후의 냉각에 의해 오스테나이트로부터 페라이트로 변태함으로써 고변형이며 적절하게 미세한 결정립이 얻어진다. 냉각 조건으로서, 마무리 압연의 최종 패스를 통과하여 0.1초 후 이후에 냉각을 개시하고, 3초 후에 열간 압연판의 표면 온도가 300°C 이상 Ar1점 이하가 되도록 직후 급랭하지 않도록 한다. 이렇게 직후 급랭을 회피함으로써, 특수한 급랭 장치가 불필요해져, 제조(비용) 상의 장점도 된다. 과도하게 미세화되지 않는 적절한 결정 입경에 있어서, 그 후 냉간 압연을 실시하면, 중간 어닐링 후에 α 파이버가 발달하고, 계속되는 스킨 패스, 마무리 어닐링 후에 통상은 발달하기 어려운 {411}<011> 방위를 발달시킬 수 있다.
- [0108] 또한, 열간 압연판의 집합 조직은, 직후 급랭하면 미세결정 오스테나이트가 변태한 조직으로, 직후 급랭을 생략하면 부분 재결정 오스테나이트가 변태한 조직으로 된다고 추정된다. 마무리 압연 후에 직후 급랭한 경우에는, 그 후의 마무리 어닐링 후의 조직에 있어서 {100}<011> 방위에 집적하고, 마무리 압연 후에 직후 급랭을 생략한 경우에는, 그 후의 마무리 어닐링 후의 조직에 있어서 {411}<011> 방위에 집적한다. 따라서, {411}<011> 방위를 강화하기 위해서는 부분 재결정 오스테나이트를 변태시키는 것이 중요하다고 생각된다.
- [0109] 여기서, 냉각 조건으로서, 냉간 압연 전의 열간 압연판에서의 평균 결정 입경이 3 내지 10μm가 되게 되는 조건으로 하는 것이 바람직하다. 결정립이 너무 조대화하면, 냉간 압연, 중간 어닐링 후에 α 파이버가 발달하기 어려워져, 원하는 {411}<011>를 얻어지지 않는 경우가 있다. 또한, 과도하게 미세화하면 원하는 {411}<011>를 얻어지지 않는다. 따라서, 냉간 압연 전의 열간 압연판에서의 평균 결정 입경을 3 내지 10μm로 하기 위해서는, 마무리 압연의 최종 패스를 통과하고 나서 3초 이내에 Ar1점 이하의 온도로 한다. 입경의 측정 방법은, 예를 들어 절단법으로 측정한다.
- [0110] 또한, 마무리 압연의 최종 패스를 통과하고 나서 3초 후의 열간 압연판의 표면 온도는, 다음 방법으로 측정한다. 전자 강관의 열간 압연 설비 라인에서는, 열간 압연기의 하류에, 냉각 장치 및 반송 라인(예를 들어 반송 롤러)이 배치되어 있다. 열간 압연기의 최종 패스를 실시하는 압연 스탠드의 출구측에는, 열간 압연판의 표면 온도를 측정하는 측온계가 배치되어 있다. 또한, 압연 스탠드의 하류에 배치된 반송 롤러에도, 복수의 측온계가 반송 라인을 따라 배열되어 있다. 냉각 장치는, 최종 패스를 실시하는 압연 스탠드의 하류에 배치되어 있다. 수랭 장치의 입구측에는, 측온계가 배치되어 있다. 냉각 장치는 예를 들어, 주지의 수랭 장치여도 되고, 주지의 강제 공랭 장치여도 된다. 바람직하게는, 냉각 장치는 수랭 장치이다. 수랭 장치의 냉각액은, 물이어도 되고, 물과 공기의 혼합 유체여도 된다.
- [0111] 열간 압연판 온도는, 열간 압연 설비 라인에 배치되어 있는 측온계로 측정한다. 그리고, 마무리 압연의 최종 패스를 통과하고 나서 3초 후의 온도를 구한다.
- [0112] 그 후, 열간 압연판 어닐링은 행하지 않고 권취하고, 열간 압연판에 대하여 냉간 압연을 행한다. 또한, 여기서 말하는 열간 압연판 어닐링이란, 예를 들어, 승온 온도가 Ac1점 이하이며, 300°C 이상인 열처리를 의미한다.
- [0113] 열간 압연판에 대하여, 열간 압연판 어닐링을 실시하지 않고, 열간 압연판에 대하여 냉간 압연을 행한다. 냉간 압연은 예를 들어, 일렬로 배열된 복수의 압연 스탠드(각 압연 스탠드는 한 쌍의 워크롤을 가짐)를 포함하는 탠덤 압연기를 사용하여 탠덤 압연을 실시하여, 복수회 패스의 압연을 실시해도 된다. 또한, 한 쌍의 워크롤을 갖는 센지미어 압연기 등에 의한 리버스 압연을 실시하여, 1회 패스 또는 복수회 패스의 압연을 실시해도 된다. 생산성의 관점에서, 탠덤 압연기를 사용하여 복수회 패스의 압연을 실시하는 것이 바람직하다.
- [0114] 냉간 압연에서는, 냉간 압연 도중에 어닐링 처리를 실시하지 않고 냉간 압연을 실시한다. 예를 들어, 리버스 압연을 실시하여, 복수회의 패스로 냉간 압연을 실시하는 경우, 냉간 압연의 패스와 패스 사이에 어닐링 처리를 끼우지 않고 복수회 패스의 냉간 압연을 실시한다. 또한, 리버스식의 압연기를 사용하여, 1회의 패스만으로 냉간 압연을 실시해도 된다. 또한, 탠덤식의 압연기를 사용한 냉간 압연을 실시하는 경우, 복수회의 패스(각 압

연 스탠드에서의 패스)로 연속하여 냉간 압연을 실시한다.

[0115] 본 실시 형태에서는, 냉간 압연에 있어서의 압하율 RR1(%)을 75 내지 95%로 하는 것이 바람직하다. 여기서, 압하율 RR1은, 다음과 같이 정의된다.

$$\text{압하율 RR1(\%)} = (1 - \frac{\text{냉간 압연에서의 최종 패스의 압연 후의 판 두께}}{\text{냉간 압연에서의 1패스째의 압연 전의 판 두께}}) \times 100$$

[0116]

[0117] 냉간 압연이 종료되면, 계속하여 중간 어닐링을 행한다. 본 실시 형태에서는, 중간 어닐링 온도 T1(°C)을 Ac1 점 이하로 제어하는 것이 바람직하다. 중간 어닐링의 온도가 Ac1점을 초과하면, 강관의 조직의 일부가 오스테나이트로 변태해 버려, 강관 중의 변형이 과잉으로 저감되어 버린다. 또한, 중간 어닐링의 온도가 너무 낮으면, 재결정이 발생하지 않고, 계속되는 스킨 패스 압연 및 마무리 어닐링 시에 {411}<011> 방위 입자가 충분히 성장하지 않아, 자속 밀도가 높아지지 않는 경우가 있다. 따라서, 중간 어닐링 온도 T1(°C)은 600°C 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0118] 여기서, 중간 어닐링 온도 T1(°C)은, 어닐링로의 추출구 근방에서의 판온(강관 표면의 온도)으로 한다. 어닐링로의 판온은, 어닐링로 추출구에 배치된 측온계에 의해 측정할 수 있다.

[0119] 또한, 중간 어닐링 공정에서의 중간 어닐링 온도 T1에서의 유지 시간은 당업자에게 주지의 시간이면 된다. 중간 어닐링 온도 T1에서의 유지 시간은, 예를 들어 5 내지 60초지만, 중간 어닐링 온도 T1에서의 유지 시간은 이에 한정되지 않는다. 또한, 중간 어닐링 온도 T1까지의 승온 속도도 주지의 조건이면 된다. 중간 어닐링 온도 T1까지의 승온 속도는, 예를 들어 10.0 내지 20.0°C/초지만, 중간 어닐링 온도 T1까지의 승온 속도는 이에 한정되지 않는다.

[0120] 중간 어닐링 시의 분위기는 특별히 한정되지 않지만, 중간 어닐링 시의 분위기에는, 예를 들어 20% H<sub>2</sub>를 함유하고, 잔부가 N<sub>2</sub>로 이루어지는 분위기 가스(건조)를 사용한다. 중간 어닐링 후의 강관의 냉각 속도는 특별히 한정되지 않고, 냉각 속도는, 예를 들어 5.0 내지 60.0°C/초이다.

[0121] 이상과 같은 조건으로 중간 어닐링까지 종료되면, 얻어지는 냉간 압연 강관은 SEM-EBSD로 측정했을 때의 α 파이버율(여유도 10° 이내)이 15% 이상이 된다. 이렇게 스킨 패스 압연 전의 단계에서 α 파이버율(여유도 10° 이내)을 15% 이상으로 하기 위해서는, α-γ 변태계의 조성(Mn, Ni, Cu의 γ 포머 원소가 고농도, 이하, 고Mn 등으로 표기)으로 하고, 열간 압연으로부터 중간 어닐링까지를 상술한 조건으로 하는 것이 필요하며, 특히 마무리 압연 후의 냉각 조건이 중요하다. {411}<011> 방위를 생성하기 쉬운 α 파이버는, 부분 재결정 오스테나이트로부터 페라이트로 변태시켜, 열간 압연 후의 평균 결정 입경을 3 내지 10μm로 한 열간 압연관을 냉간 압연하고, 그 후 중간 어닐링함으로써 발달한다. 상술한 바와 같이, 직후 급랭하면 미세결정 오스테나이트가 변태한 조직으로 되어, 부분 재결정 오스테나이트가 변태한 조직으로는 되지 않게 된다. 이렇게 제조된 냉간 압연 강관에 대하여 후술하는 조건으로 스킨 패스 압연, 나아가 마무리 어닐링을 행함으로써 본 발명의 무방향성 전자 강관이 된다.

[0122] 중간 어닐링이 종료되면, 다음으로 스킨 패스 압연을 행한다. 구체적으로는, 중간 어닐링 공정 후의 냉간 압연 강관에 대하여, 상온, 대기 중에 있어서, 압연(냉간 압연)을 실시한다. 여기에서의 스킨 패스 압연은, 예를 들어 상술한 센지미어 압연기로 대표되는 리버스 압연기, 또는, 탠덤 압연기를 사용한다.

[0123] 스킨 패스 압연에서는, 도중에 어닐링 처리를 실시하지 않고 압연을 실시한다. 예를 들어, 리버스 압연을 실시하여, 복수회의 패스로 스킨 패스 압연을 실시하는 경우, 패스 사이에 어닐링 처리를 끼우지 않고 복수회의 압연을 실시한다. 또한, 리버스식의 압연기를 사용하여, 1회의 패스만으로 스킨 패스 압연을 실시해도 된다. 또한, 탠덤식의 압연기를 사용한 스킨 패스 압연을 실시하는 경우, 복수회의 패스(각 압연 스탠드에서의 패스)로 연속하여 압연을 실시한다.

[0124] 이상과 같이, 본 실시 형태에서는, 열간 압연 및 냉간 압연에 의해 강관에 변형을 도입한 후, 중간 어닐링에 의해 강관에 도입된 변형을 일단 저감시킨다. 그리고, 스킨 패스 압연을 실시한다. 이에 의해, 냉간 압연에 의해 과잉으로 도입된 변형을 중간 어닐링에 있어서 저감하면서, 중간 어닐링을 실시함으로써, 강관 판면 중에 있어서 {111} 입자가 우선적으로 재결정을 일으키는 것을 억제하여, {411}<011> 결정 방위 입자를 잔존시킨다. 그리고, 스킨 패스 압연에 있어서 강관 중의 각 결정립에 적절한 변형량을 도입하여, 다음 공정의 마무리 어닐링에 있어서, 별징에 의한 입성장이 발생하기 쉬운 상태로 한다.

[0125] 본 실시 형태에서는, 스킨 패스 압연에 있어서의 압하율 RR2를 5 내지 20%로 한다. 여기서, 압하율 RR2는, 다음과 같이 정의된다.

$$\text{압하율 RR2(\%)} = \frac{\text{스킨 패스 압연에서의 최종 패스의 압연 후의 판 두께}}{\text{스킨 패스 압연에서의 1패스째의 압연 전의 판 두께}} \times 100$$

[0126] 스킨 패스 압연에서의 1패스째의 압연 전의 판 두께) × 100

[0127] 여기서, 압하율 RR2가 5% 미만이면 변형량이 너무 작아져, 벌징에 의한 입성장에 걸리는 마무리 어닐링 시간이 길어진다. 또한, 압하율 RR2가 20%를 초과하면 변형량이 너무 커져, 벌징이 아닌 통상의 입성장이 일어나고, 마무리 어닐링에서 {411}<148>이나 {111}<011>이 성장해 버린다. 따라서, 압하율 RR2를 5 내지 20%로 한다.

[0128] 스킨 패스 압연에서의 패스 횟수는 1회 패스만(즉, 1회의 압연만)이어도 되고, 복수회 패스의 압연이어도 된다.

[0129] 상술한 바와 같이 α-γ 변태계의 조성(고Mn 등)의 강판에 있어서 중간 어닐링으로 재결정시키고, 이상과 같은 조건으로 스킨 패스 압연을 행함으로써, 상술한 GOS값, 및 α 파이버율이 얻어진다.

[0130] 스킨 패스 압연 후에 있어서는, 750℃ 이상 Ac1점 이하에서, 2시간 이상의 시간으로 마무리 어닐링을 실시한다. 마무리 어닐링 온도 T2(℃)를 750℃ 미만으로 한 경우에는, 벌징에 의한 입성장이 충분히 일어나지 않는다. 이 경우, {411}<011> 방위의 집적도가 저하되어 버린다. 또한, 마무리 어닐링 온도 T2가 Ac1점 초과에서는, 강판의 조직 일부가 오스테나이트로 변태해 버려, 벌징에 의한 입성장은 일어나지 않고, 원하는 {411}<011>물이 얻어지지 않는다. 또한, 어닐링 시간이 2시간 미만인 경우에는, 마무리 어닐링 온도 T2가 750℃ 이상 Ac1점 이하여도, 벌징에 의한 입성장이 충분히 일어나지 않아, {411}<011> 방위의 집적도가 저하되어 버린다. 또한, 마무리 어닐링의 어닐링 시간의 상한은 특별히 한정되지 않지만, 어닐링 시간이 10시간을 초과해도 효과가 포화하기 때문에, 바람직한 상한은 10시간이다.

[0131] 여기서, 마무리 어닐링 온도 T2는, 어닐링로의 추출구 근방에서의 판온(강판 표면의 온도)으로 한다. 어닐링로의 노온은, 어닐링로 추출구에 배치된 측온계에 의해 측정할 수 있다.

[0132] 또한, 마무리 어닐링 공정에서의 마무리 어닐링 온도 T2까지의 승온 속도 TR2는, 당업자에게 주지인 승온 속도이면 되고, 마무리 어닐링 온도 T2에서의 유지 시간 Δt2(초)도 당업자에게 주지인 시간이면 된다. 여기서, 유지 시간 Δt2는, 강판의 표면 온도가 마무리 어닐링 온도 T2가 되고 나서의 유지 시간을 의미한다.

[0133] 마무리 어닐링 공정에서의 마무리 어닐링 온도 T2까지의 바람직한 승온 속도 TR2는 0.1℃/초 이상 10.0℃/초 미만으로 한다. 승온 속도 TR2가 0.1℃/초 이상 10.0℃/초 미만이면 벌징에 의한 입성장이 충분히 일어난다. 이 경우, {411}<011> 결정 방위의 집적도가 보다 높아지고, 판 두께 중앙 위치에서의 ND면에 있어서의 결정립도 더 변동되기 어려워진다.

[0134] 승온 속도 TR2는, 다음 방법에 의해 구한다. 상기 화학 조성을 갖고, 상기 열간 압연으로부터 스킨 패스까지 실시하여 얻어진 강판에 열전대를 설치하여, 샘플 강판으로 한다. 열전대를 설치한 샘플 강판에 대하여 승온을 실시하여, 승온을 개시하고 나서 마무리 어닐링 온도 T2에 도달할 때까지의 시간을 측정한다. 측정된 시간에 기초하여, 승온 속도 TR2를 구한다.

[0135] 마무리 어닐링 공정에서의 마무리 어닐링 온도 T2에서의 유지 시간 Δt2는 2시간 이상이다. 유지 시간 Δt2가 2시간 이상이면, 벌징에 의해 {411}<110> 입자의 입성장이 일어나고, 또한 세립화 강화에 의해 고강도화한다. 이 경우, {411}<011> 결정 방위의 집적도가 보다 높아지고, 판 두께 중앙 위치에서의 ND면에 있어서의 결정립도 더 변동되기 어려워진다. 유지 시간 Δt2의 하한은 2시간이며, 바람직하게는 3시간이다. 상술한 바와 같이 유지 시간 Δt2의 바람직한 상한은 10시간이며, 더욱 바람직하게는 5시간이다.

[0136] 마무리 어닐링 공정 시의 분위기는 특별히 한정되지 않는다. 마무리 어닐링 공정 시의 분위기에는, 예를 들어 20% H<sub>2</sub>를 함유하고, 잔부가 N<sub>2</sub>로 이루어지는 분위기 가스(건조)를 사용한다. 마무리 어닐링 후의 강판의 냉각 속도는 특별히 한정되지 않는다. 냉각 속도는, 예를 들어 5 내지 20℃/초이다.

[0137] 또한, 마무리 어닐링을 행하지 않고, 스킨 패스 압연 후의 무방향성 전자 강판을 출하하는 형태어도 된다. 예를 들어, 스킨 패스 압연까지의 공정을 강판 제조 회사에서 행하고, 출하처인 코어 제조 회사에 있어서 무방향성 전자 강판의 펀칭 또는 적층을 행하고, 그 후, 750℃ 이상 Ac1점 이하의 어닐링 온도에서 2시간 이상의 어닐링 시간의 조건으로, 마무리 어닐링의 대신으로서 응력 제거 어닐링을 행해도 된다.

[0138] 이상과 같이 본 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판을 제조할 수 있다.

- [0139] 본 실시 형태에 의한 무방향성 전자 강판의 제조 방법은, 상기 제조 공정에 한정되지 않는다.
- [0140] 예를 들어, 상기 제조 공정 중, 열간 압연 후이며, 냉간 압연 전에, 쇼트 블라스트 및/또는 산세를 실시해도 된다. 쇼트 블라스트에서는, 열간 압연 후의 강판에 대하여 쇼트 블라스트를 실시하여, 열간 압연 후의 강판의 표면에 형성되어 있는 스케일을 파괴하여 제거한다. 산세에서는, 열간 압연 후의 강판에 대하여 산세 처리를 실시한다. 산세 처리는 예를 들어, 염산수 용액을 산세욕으로서 이용한다. 산세에 의해 강판의 표면에 형성되어 있는 스케일이 제거된다. 열간 압연 후이며, 냉간 압연 전에, 쇼트 블라스트를 실시하고, 이어서, 산세를 실시해도 된다. 또한, 열간 압연 후이며 냉간 압연 전에, 산세를 실시하고, 쇼트 블라스트를 실시하지 않아도 된다. 열간 압연 후이며 냉간 압연 전에, 쇼트 블라스트를 실시하고, 산세 처리를 실시하지 않아도 된다. 또한, 쇼트 블라스트 및 산세는 임의의 공정이다. 따라서, 열간 압연 후이며 냉간 압연 전에, 쇼트 블라스트 공정 및 산세 공정의 양쪽을 실시하지 않아도 된다.
- [0141] 본 실시 형태에 의한 전자 강판의 제조 방법은, 마무리 어닐링 후에 코팅을 더 실시해도 된다. 코팅에서는, 마무리 어닐링 후의 강판의 표면에, 절연 피막을 형성한다.
- [0142] 절연 피막의 종류는 특별히 한정되지 않는다. 절연 피막은 유기 성분이어도 되고, 무기 성분이어도 되며, 절연 코팅은, 유기 성분과 무기 성분을 함유해도 된다. 무기 성분은 예를 들어, 중크롬산-붕산계, 인산계, 실리카계 등이다. 유기 성분은 예를 들어, 일반적인 아크릴계, 아크릴스티렌계, 아크릴실리콘계, 실리콘계, 폴리에스테르계, 에폭시계, 불소계의 수지이다. 도장성을 고려한 경우, 바람직한 수지는, 에멀션 타입의 수지이다. 가열 및/또는 가압함으로써 접착능을 발휘하는 절연 코팅을 실시해도 된다. 접착능을 갖는 절연 코팅은 예를 들어, 아크릴계, 페놀계, 에폭시계, 멜라민계의 수지이다.
- [0143] 또한, 코팅은 임의의 공정이다. 따라서, 마무리 어닐링 후에 코팅을 실시하지 않아도 된다.
- [0144] 또한, 본 실시 형태에 의한 무방향성 전자 강판은, 상술한 제조 방법에 한정되지 않는다. 강판 표면을 전자선 후방 산란 회절(EBSD)로 측정했을 때의 {411}<011> 방위(여유도 10° 이내)를 갖는 결정립의 전체 시야에 대한 면적률이 15% 이상이고, 또한, 석출물의 개수 밀도가 0.5개/ $\mu\text{m}^2$  내지 50개/ $\mu\text{m}^2$ 이면, 상기 제조 방법에 한정되지 않는다.
- [0145] 실시예
- [0146] 다음으로, 본 발명의 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판에 대하여, 실시예를 나타내면서 구체적으로 설명한다. 이하에 나타내는 실시예는, 본 발명의 실시 형태에 관한 무방향성 전자 강판의 어디까지나 일례에 지나지 않으며, 본 발명에 따른 무방향성 전자 강판이 하기의 예에 한정되는 것은 아니다.
- [0147] (제1 실시예)
- [0148] 용강을 주조함으로써, 이하의 표 1에 나타내는 성분의 잉곳을 제작하였다. 여기서, 식 좌변은, 상술한 (1) 식의 좌변값을 나타내고 있다. 그 후, 제작한 잉곳을 표 1에 나타내는 슬래브 가열 온도 ST까지 가열하여 열간 압연을 행하고, 표 1에 나타내는 마무리 압연 온도 FT에서 마무리 압연을 행하였다. 그리고, 최종 패스를 통과하고 나서 표 1에 나타내는 냉각 조건(최종 패스를 통과하고 나서 냉각을 개시할 때까지의 시간 및 최종 패스를 통과하고 나서 3초 후의 강판의 온도)으로 냉각을 행하였다.
- [0149] 다음으로, 열간 압연 강판에 있어서 열간 압연관 어닐링을 행하지 않고, 산세에 의해 스케일을 제거하고, 표 1에 나타내는 압하율 RR1로 냉간 압연을 행하였다. 그리고, 수소 20%, 질소 80% 분위기 중에서 중간 어닐링을 행하고, 중간 어닐링 온도 T1을 표 1에 나타내는 온도로 제어하여 30초 중간 어닐링을 행하였다.
- [0150] 다음으로, No.11을 제외하고, 표 1에 나타내는 압하율 RR2로 스킨 패스 압연을 행하였다. 그리고, 수소 100% 분위기 중에서 표 1에 나타내는 마무리 어닐링 온도 T2에서 마무리 어닐링을 행하였다. 이때, 마무리 어닐링 온도 T2에서의 유지 시간  $\Delta t_2$ 를 2시간으로 하였다. 또한, 마무리 어닐링을 행하기 전에, 상술한 측정 조건에 의해 GOS값  $G_s$ 를 산출하였다.
- [0151] 또한, 마무리 어닐링 후의 집합 조직을 조사하기 위하여, 강판의 일부를 절제하고, 그 절제한 시험편을 1/2의 두께로 두께 감소 가공하였다. {411}<011>률에 관해서는, SEM-EBSD에 의한 측정 영역에서, 상술한 측정 조건으로 관찰하여 구하였다. 또한, 석출물의 개수 밀도에 대해서는, 투과형 전자 현미경으로 가속 전압을 200kV로 하여 상술한 측정 조건으로 석출물을 관찰하여 개수 밀도를 구하였다. 각각의 결과를 표 2에 나타낸다.
- [0152] 또한, 마무리 어닐링 후의 자기 특성 및 인장 강도를 조사하기 위하여, 자속 밀도 B50, 철손 W10/400을 측정함



표 2

No.	스킨 패스 후	마무리 어닐링 후 집합 조직	판 두께	석출물				자기 특성		기계 특성		분류
	Gs	{411}<011> 면적률	[mm]	개수 밀도	B50 (전체 둘레) (45°)	B50 (45°)	W10/400 (45°)	철손 열화율	인장 강도			
	[-]	[%]		[개/μm <sup>2</sup> ]	[T]	[T]	[W/kg]	[%]	[MPa]			
1	2.2	24.3	0.3	11.3	1.64	1.79	12.0	31.3	655	발명에		
2	1.7	11.2	0.3	0.3	1.62	1.73	12.7	50.7	566	비교예		
3	2.1	8.3	0.3	14.1	1.65	1.60	14.3	54.5	666	비교예		
4	2.3	22.7	0.3	15.6	1.74	1.70	13.2	23.9	670	발명에		
5	2.6	9.2	0.3	51.1	1.58	1.56	13.1	46.2	766	비교예		
6	1.8	12.5	0.3	12.0	1.62	1.73	12.9	50.7	664	비교예		
7	2.1	28.9	0.3	0.8	1.64	1.72	13.1	30.5	621	발명에		
8	2.0	16.3	0.3	42.7	1.61	1.70	13.4	30.4	748	발명에		
9	2.0	27.5	0.3	0.2	1.67	1.74	15.4	30.1	537	비교예		
10	2.3	25.6	0.3	9.5	1.51	1.48	13.2	31.9	644	비교예		
11	0.2	11.4	0.3	6.6	1.58	1.60	14.3	52.1	633	비교예		
12	3.1	12.1	0.3	8.1	1.57	1.63	14.4	33.5	640	비교예		
13	2.1	27.5	0.3	0.2	1.64	1.72	13.1	30.5	546	비교예		
14	2.6	27.8	0.3	0.4	1.63	1.71	13.0	30.7	592	비교예		

[0155]

[0156]

[0157]

[0158]

[0159]

표 1 및 표 2 중의 밀줄은, 본 발명의 범위로부터 벗어난 조건을 나타내고 있다. 발명예인 No.1, No.4, No.7 및 No.8은, 자속 밀도 B50, 철손 W10/400, 철손 열화율 및 인장 강도 모두 양호한 값이었다.

한편, 비교예인 No.2는, 마무리 압연 후에 급랭한 점에서 {411}<011>롤이 작아져, 압축 응력 하에서의 철손 열화율이 컸다. 또한, Ti를 함유하지 않았기 때문에, TiN을 주체로 하는 석출물이 생성되지 않아, 전체적으로 석출물이 부족한 점에서, 인장 강도가 부족하였다. 비교예인 No.3은, Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상의 총계가 부족하며, 또한 α-γ 변태가 발생하지 않는 조성이었기 때문에, {411}<011>롤이 작아져, 자속 밀도 B50(45° 방향), 철손 W10/400 및 철손 열화율에서 떨어져 있었다. 비교예인 No.5에서는, 마무리 압연 온도 FT가 Ar1점보다도 낮았기 때문에 {411}<011>롤이 작아지고, 또한 Ti가 과잉으로 포함되어 있었기 때문에, 자속 밀도 B50(45° 방향), 철손 W10/400 및 철손 열화율에서 떨어져 있었다. 비교예인 No.6에서는, 마무리 압연의 최종 패스를 통과하고 나서 냉각을 개시할 때까지의 시간이 너무 짧았기 때문에 {411}<011>롤이 작아져, 압축 응력 하에서의 철손 열화율이 컸다.

비교예인 No.9는, Si가 부족했기 때문에, 철손 W10/400이 컸다. 또한, Ti를 함유하지 않았기 때문에, TiN을 주체로 하는 석출물이 생성되지 않아, 전체적으로 석출물이 부족했던 점에서, 인장 강도가 부족하였다. 비교예인 No.10은, Mn, Ni, Cu로 이루어지는 군에서 선택되는 1종 이상의 총계가 과잉이었기 때문에, 자속 밀도 B50이 45° 방향, 전체 둘레 평균 모두 떨어져 있었다. 또한, 편석에 의해 냉간 압연 시에 일부에서 2매 갈라짐이 발생해 있었다. 비교예인 No.11은, 스킨 패스 압연을 행하지 않았기 때문에 {411}<011>롤이 작아져, 자속 밀도 B50(45° 방향), 철손 W10/400 및 철손 열화율에서 떨어져 있었다. 비교예인 No.12는, 스킨 패스 압연에서의 압하율 RR2가 너무 컸기 때문에 {411}<011>롤이 작아져, 자속 밀도 B50(45° 방향) 및 철손 W10/400이 떨어져 있었다. 비교예인 No.13은, 슬래브 가열 온도 ST가 너무 낮았기 때문에, TiN을 주체로 하는 석출물도 포함하여 전체적으로 석출물이 부족한 점에서, 인장 강도가 부족하였다. 비교예인 No.14는, 열간 압연(마무리 압연)에서의 최종 패스에서의 압하율이 20% 미만이었기 때문에, 전체적으로 석출물이 부족한 점에서, 인장 강도가 부족하였다.

**산업상 이용가능성**

본 발명에 따르면, 제조 부하가 높아지지 않게 하여, 고강도와 고자속 밀도를 양립시킨 무방향성 전자 강관을 제공할 수 있어, 공업적 가치가 크다.