



공개특허 10-2020-0047613

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0047613  
(43) 공개일자 2020년05월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C21D 9/60* (2006.01) *C21D 1/42* (2006.01)  
*C21D 11/00* (2014.01) *C21D 9/62* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*C21D 9/60* (2013.01)  
*C21D 1/42* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7008811
- (22) 출원일자(국제) 2018년05월16일  
심사청구일자 2020년03월26일
- (85) 번역문제출일자 2020년03월26일
- (86) 국제출원번호 PCT/CN2018/087069
- (87) 국제공개번호 WO 2019/080482  
국제공개일자 2019년05월02일
- (30) 우선권주장  
201711004691.2 2017년10월24일 중국(CN)

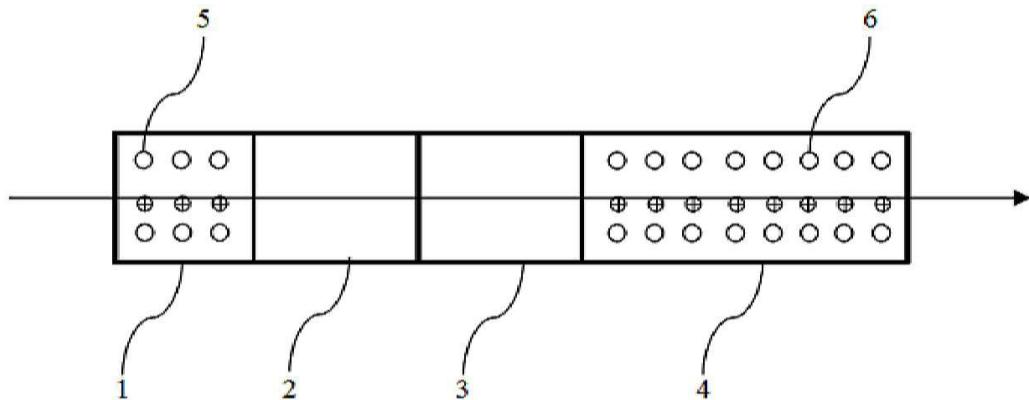
- (71) 출원인  
바오샨 아이론 앤 스틸 유한공사  
중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885
- (72) 별명자  
장, 화빙  
중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885  
리, 구오바오  
중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
885  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
이쳐영, 장제환

전체 청구항 수 : 총 10 항

## (54) 발명의 명칭 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치 및 방법

**(57) 요약**

본 발명은 냉간 압연 띠강 (10)의 급속 가열 장치 및 방법에 관한 것이다. 냉간 압연 띠강 (10)의 급속 가열 장치는 가열 영역, 침지 영역 및 냉각 영역을 포함하고, 가열 영역은 가열할 띠강 (10)의 이동 방향에 따라, 제 1 가열부 (1), 제 2 가열부 (2), 제 3 가열부 (3) 및 제 4 가열부 (4)를 연속적으로 포함하고, 제 1 가열부 (1) 및 제 4 가열부 (4)는 복사(radiant) 가열부이며, 제 2 가열부 (2) 및 제 3 가열부 (3)는 유도 가열부이다. 냉간 압연 띠강 (10)의 급속 가열 방법은 띠강 (10)을 가열하기 위하여 냉간 압연 띠강 (10)의 급속 가열 장치를 이용한 방법이다.

**대 표 도** - 도1

(52) CPC특허분류

*C21D 11/00* (2013.01)

*C21D 9/62* (2013.01)

(72) 발명자

**리우, 바오준**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

**한, 단**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

**장, 신창**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

**추이, 광화**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

---

**첸, 지안빙**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

**샤오, 웬**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

**차오, 지평**

중국 상하이 201900 바오샨 디스트릭트 푸진 로드  
넘버 885

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가열 영역, 침지 영역 및 냉각 영역을 포함하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치로, 상기 가열 영역은 가열할 띠강(strip steel)의 이동 방향에 따라 연속적으로 제 1 가열부, 제 2 가열부, 제 3 가열부 및 제 4 가열부로 나누어지며,

상기 제 1 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 200 °C 내지 100 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 1 복사(radiant) 가열기;

상기 제 2 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 300 °C 내지 50 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 1 유도 코일을 갖는 제 1 유도 가열기;

제 3 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 30 °C 내지 3 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 2 유도 코일을 갖는 제 2 유도 가열기; 및

제 4 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도 이상의 온도로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 2 복사(radiant) 가열기가 제공되는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 1 플레이트 온도계는 제 1 가열부와 제 2 가열부 사이에 배치되고, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 2 플레이트 온도계는 제 2 가열부와 제 3 가열부 사이에 배치되고, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 3 플레이트 온도계는 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 배치되는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제 1 유도 가열기는 제 1 정류기(rectifier), 제 1 인버터(inverter) 및 순서대로 연결된 제 1 유도 코일을 포함하는 제 1 발진 회로(oscillation circuit)를 포함하며, 상기 제 1 인버터(inverter)는 상기 제 1 정류기(rectifier)에 의해 제공된 제 1 직류(direct current)를 수신하고, 상기 제 1 직류(direct current)를 제 1 고주파 전류(high-frequency current)로 변환하고, 그리고 상기 제 1 고주파 전류(high-frequency current)를 상기 제 1 발진 회로(oscillation circuit)에 공급하고;

상기 제 2 유도 가열기는 제 2 정류기(rectifier), 제 2 인버터(inverter) 및 순서대로 연결된 제 2 유도 코일을 포함하는 제 2 발진 회로(oscillation circuit)를 포함하며, 상기 제 2 인버터(inverter)는 제 2 정류기(rectifier)에 의해 제공된 제 2 직류(direct current)를 수신하고, 상기 제 2 직류(direct current)를 제 2 고주파 전류(high-frequency current)로 변환하고, 그리고 상기 제 2 고주파 전류(high-frequency current)를 제 2 발진 회로(oscillation circuit)에 공급하는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제 1 유도 가열기 및 상기 제 2 유도 가열기는 100-1000 kHz 범위의 전류 주파수(current frequency)를 갖는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치.

## 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치를 이용하여 가열할 띠강(strip steel)을 가열하는 단계를 포함하는, 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제 1 가열부 배출구의 제 1 타겟 플레이트 온도는 400-550 °C 인 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 청구항 7

제5항에 있어서, 상기 제 2 가열부 배출구의 제 2 타겟 플레이트 온도는 제 3 가열부의 가열 속도에 따라 설정되며, 상기 제 3 가열부의 가열 속도는 50-150 °C/s 인 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 청구항 8

제5항에 있어서, 상기 제 2 가열부의 전력(power)은 제 2 플레이트 온도계 검출 값과 제 2 타겟 플레이트 온도의 비교 결과에 따라, 상기 제 2 가열부의 가열 전력을 조정하여 제어되는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 청구항 9

제5항에 있어서, 상기 제 3 가열부의 전력(power)은 제 3 가열부의 초기 전력과 제 3 가열부 배출구의 제 3 타겟 플레이트 온도를 설정 및 제 3 플레이트 온도계 검출 값과 제 3 타겟 플레이트 온도의 비교 결과에 따라, 초기 전력에 근거한 상기 제 3 가열부의 가열 전력을 조정하여 제어되는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 청구항 10

제5항에 있어서, 제 3 가열부의 전력(power)은 제 3 가열부에 대한 타겟 임피던스(target impedance) 설정 및 타겟 임피던스(target impedance)와 운전 임피던스(running impedance)의 비교 결과에 따라 상기 제 3 가열부의 가열 전력을 조정하여 제어되는 것을 특징으로 하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 철강 생산 기술분야에 관한 것으로, 특히, 4.5 질량 % 이하의 Si 함량을 갖는 지향 규소강(oriented silicon steel)의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 금속 띠강(strip steel)의 연속 어닐링(annealing) 공정에서 고품질의 제품을 얻으려면 일반적으로 가열 온도와 가열 시간을 엄격하게 제어해야 한다. 예를 들어, 변압기 코어로 사용되는 낮은 철 손실 및 높은 자기 유도 지향 규소강(strip steel)은 제조공정에서 탈탄(decarburization) 어닐링 공정동안 온도 관리에 매우 엄격한

요구 사항을 갖는다. 가열부의 배출구에서 띠강(strip steel)의 온도가 너무 낮으면, 효과적인 탈탄 시간이 감소되고 탈탄 효과가 약해진다. 가열부 배출구에서 띠강(strip steel)의 온도가 너무 높으면, 띠강(strip steel)의 온도는 단시간에 타겟 침지 온도를 초과할 수 있고, 탈탄(decarburization)을 방해하기 위해 조밀한 산화막이 조기에 형성되어 탈탄(decarburization) 효과를 악화시킬 수 있다. 즉, 가열부의 온도 변동은 탈탄(decarburization) 안정성에 영향을 미치고 자기 성능 변동(magnetic performance fluctuations)을 유발할 뿐만 아니라, 완제품의 표면 결함률(surface defect rate)을 크게 증가시킨다.

[0003] 최근에는, 지향 규소강(oriented silicon steel)의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel) 열처리에 급속 가열공정이 점점 더 많이 사용되고 있다. 급속 전기 가열과 같은 다른 급속 가열방법에 비해 유도 가열이 가장 널리 사용되고 발달되었다.

[0004] 예를 들어, 중국 출원 (CN101652485A)에서 개시한 어닐링 장비는 가열부가 세 부분으로 나누어져 있으며, 상기 제 1 가열부는 띠강(strip steel)을 퀴리(curie) 온도  $T_c$  50 °C 미만으로 가열하는 가스 가열 또는 전기 가열을 사용하는 복사 가열(radiant heating)부; 제 2 가열부는 띠강(strip steel)을  $T_c$  30 °C 미만 내지  $T_c$  5 °C 미만 범위의 온도로 가열하는 고주파 유도 가열부; 및 제 3 가열부는 제 1 가열부와 구조가 유사하며, 띠강(strip steel)을 퀴리(curie) 온도 이상의 타겟 온도로 가열하는 복사(radiant) 가열부이다. 어닐링 장비 가열부의 주요 특징은 가열부의 중간에 신속한 유도 가열부가 제공된다는 점이다. 상기 어닐링 장비의 주요 단점은 다음과 같다. (1) 유도 가열기 하나의 최대 용량에 따라, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 일반적으로 퀴리(curie) 온도  $T_c$  150 °C 보다 낮아서는 안되며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 500 °C 이상이어야 한다. 두꺼운 띠강(strip steel) 또는 단위 속도가 빠른 경우, 첫 번째 가열부 배출구의 온도를 더 증가시켜야 하고, 그렇지 않으면 제 2 가열부 배출구에서 띠강(strip steel)의 온도가 퀴리(curie) 온도  $T_c$ 에 도달하거나 접근할 수 없으며 이는 띠강(strip steel)의 폭 방향으로 띠강(strip steel)의 온도 균일성을 악화시켜 생산 효율의 추가 개선을 제한할 것이다. (2) 1 차 재결정 구조를 정확하게 제어하는데 도움이 되지 않는 빠른 단일 온도 상승 곡선은 완제품의 자기 특성(magnetic properties) 향상을 제한한다. (3) 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 표면 상태의 변동 및 제 1 가열부의 가열 조건 변동으로 인해, 제 1 가열부 배출구에서의 플레이트 온도는 일반적으로 크게 변동한다. 고주파 유도 가열의 특성을 사용하여 제 2 가열부의 배출구에서 플레이트 온도를 안정적으로 제어할 수 있지만, 상기 특허문헌에 개시된 것과 같은 플레이트 온도 제어 기술에 대한 복잡한 제어 방식을 사용하는 것이 전제이다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 중국 출원 (CN104603298A)은 4 개의 가열부로 나누어질 수 있는 어닐링 장비를 개시하고 있으며 상기 제 1 가열부는 적어도 하나의 유도 가열기가 장착된 유도 가열부; 제 2 가열부는 길이가 1 ~ 30 m인 가열 정지구역 또는 가열 속도가 0 ~ 10 °C/s 인 느린 가열 구역이고 제 2 가열부의 플레이트 온도는 250 ~ 600 °C; 또한 제 3 가열부는 유도 가열부이며, 적어도 하나의 유도 가열기가 장착; 및 제 4 가열부는 종래의 복사(radiant) 가열부이다. 제 2 가열부의 기능은 급속 가열 후 띠강(strip steel)의 내부 온도 분포를 균일하게 만드는 것이며, 따라서 띠강(strip steel)의 형상 및 자기 특성(magnetic properties)을 개선시킨다. 어닐링 장비 가열부의 주요 특징은 띠강(strip steel)이 두개 이상의 유도 가열기를 사용하여 실온에서 퀴리(curie) 온도  $T_c$  근방으로 빠르게 가열된다는 것이다. 상기 방법의 단점은 다음과 같다: (1) 띠강(strip steel)을 실온에서 퀴리(curie) 온도  $T_c$  근방으로 빠르게 가열하려면, 최소 3 개 또는 4 개의 유도 가열기를 직렬로 연결해야 하며, 그렇지 않으면 제품 사양 또는 단위 속도가 제한된다; (2) 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)은 회복 어닐링 전에 매우 높은 가열 속도를 적용해야 하기 때문에, 250-600 °C의 온도 범위 영역을 추가해야 하며, 그렇지 않으면 응력 집중과 고르지 않은 온도로 인해 띠(strip) 모양과 자기 특성(magnetic properties)이 저하된다; (3) 유도 가열기의 투입구 내부 높이가 매우 작기 때문에, 가열부의 노내압(furnace pressure)과 방어 기압(protective atmosphere)에 대한 특별한 제어장치를 설계해야 하며, 그렇지 않으면 완제품의 표면 결함이 증가하게 된다. 따라서, 상기 방법을 위한 장비의 비용이 상대적으로 높고, 노기압(atmosphere in the furnace)의 제어가 어렵다.

[0006] 앞서 전술한 종래 기술의 단점을 고려하여, 본 발명은 Si 함량이 4.5 질량 % 이하인 지향 규소강(oriented silicon steel)의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치 및 방법을 제공한다. 상기 장치 및 방법은 가열부의 플레이트 온도를 제어하는데 있어서 높은 정밀도를 가지며, 수득된 제품은 우수한 자기 특

성(magnetic properties) 및 표면 품질(surface quality)을 갖는다.

### 과제의 해결 수단

- [0007] 상기 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치 및 방법을 제공한다. 본 발명의 장치 및 방법은 전통적인 소둔로(annealing furnace)의 가열부 중간에 두 개의 유도 가열기를 직렬로 연결하여, 플레이트 온도 제어의 정밀도 및 완제품의 품질을 향상시키면서 생산 효율을 개선하고 철강(steel) 톤당 에너지 소비를 감소시킨다.
- [0008] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 가열 영역, 침지 영역 및 냉각 영역을 포함하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치를 제공하며, 상기 가열 영역은 가열할 띠강(strip steel)의 이동 방향에 따라 연속적으로 제 1 가열부, 제 2 가열부, 제 3 가열부 및 제 4 가열부로 나누어진다.
- [0009] 상기 제 1 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 200 °C 내지 100 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 1 복사(radiant) 가열기;
- [0010] 상기 제 2 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 300 °C 내지 50 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 1 유도 코일을 갖는 제 1 유도 가열기;
- [0011] 제 3 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도보다 30 °C 내지 3 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 2 유도 코일을 갖는 제 2 유도 가열기; 및
- [0012] 제 4 가열부에는 띠강(strip steel)을 타겟 퀴리(curie) 온도 이상의 온도로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 2 복사(radiant) 가열기가 제공된다.
- [0013] 또한, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 1 플레이트 온도계는 제 1 가열부와 제 2 가열부 사이에 배치되고, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 2 플레이트 온도계는 제 2 가열부와 제 3 가열부 사이에 배치되고, 적어도 하나 이상의 다중 파장(multi-wavelength) 제 3 플레이트 온도계는 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 배치된다.
- [0014] 또한, 상기 제 1 유도 가열기는 제 1 정류기(rectifier), 제 1 인버터(inverter) 및 순서대로 연결된 제 1 유도 코일을 포함하는 제 1 발진 회로(oscillation circuit)를 포함하며, 상기 제 1 인버터(inverter)는 상기 제 1 정류기(rectifier)에 의해 제공된 제 1 직류(direct current)를 수신하고, 상기 제 1 직류(direct current)를 제 1 고주파 전류(high-frequency current)로 변환하고, 그리고 상기 제 1 고주파 전류(high-frequency current)를 상기 제 1 발진 회로(oscillation circuit)에 공급하고;
- [0015] 상기 제 2 유도 가열기는 제 2 정류기(rectifier), 제 2 인버터(inverter) 및 순서대로 연결된 제 2 유도 코일을 포함하는 제 2 발진 회로(oscillation circuit)를 포함하며, 상기 제 2 인버터(inverter)는 제 2 정류기(rectifier)에 의해 제공된 제 2 직류(direct current)를 수신하고, 상기 제 2 직류(direct current)를 제 2 고주파 전류(high-frequency current)로 변환하고, 그리고 상기 제 2 고주파 전류(high-frequency current)를 제 2 발진 회로(oscillation circuit)에 공급한다.
- [0016] 또한, 상기 제 1 유도 가열기 및 상기 제 2 유도 가열기는 100-1000 kHz 범위의 전류 주파수(current frequency)를 갖는다.
- [0017] 또한, 본 발명은 상기에서 언급된 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치를 가열할 띠강(strip steel)을 가열하는데 사용하는 단계를 포함하는 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 방법을 제공한다.
- [0018] 또한, 상기 제 1 가열부 배출구의 제 1 타겟 플레이트 온도는 400-550 °C이다.
- [0019] 또한, 상기 제 2 가열부 배출구의 제 2 타겟 플레이트 온도는 제 3 가열부의 가열 속도에 따라 설정되며, 상기 제 3 가열부의 가열 속도는 50-150 °C/s이다.
- [0020] 또한, 상기 제 2 가열부의 전력(power)은 다음의 방법에 의해 제어된다: 제 2 플레이트 온도계 검출 값과 제 2 타겟 플레이트 온도의 비교 결과에 따라, 상기 제 2 가열부의 가열 전력을 조정.
- [0021] 또한, 상기 제 3 가열부의 전력(power)은 다음의 방법에 의해 제어된다: 제 3 가열부의 초기 전력과 제 3 가열부 배출구의 제 3 타겟 플레이트 온도 설정 및 제 3 플레이트 온도계 검출 값과 제 3 타겟 플레이트 온도의 비

교 결과에 따라, 초기 전력에 근거한 상기 제 3 가열부의 가열 전력을 조정.

[0022] 또한, 제 3 가열부의 전력(power)은 다음의 방법에 의해 제어된다: 제 3 가열부에 대한 타겟 임피던스(target impedance) 설정 및 타겟 임피던스(target impedance)와 운전 임피던스(running impedance)의 비교 결과에 따라 상기 제 3 가열부의 가열 전력을 조정.

### 발명의 효과

[0023] 본 발명의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치 및 방법에서, 2 개의 유도 가열기는 전통적인 소둔로(annealing furnace)의 가열 영역 중간에 직렬로 연결되어, 가열 영역은 4 개의 부(section)로 나누어지고, 여기서 제 1 가열부는 실온에서 직접 및 빠른 가열에 의해 야기되는 띠강의 띠 형상(strip shape) 및 자기 특성의 저하를 효과적으로 방지하기 위해 제공되며, 2 개의 유도 가열부(즉, 제 2 가열부 및 제 3 가열부)는 기존의 단일 유도 가열부와 비교할 때, 가열 구역의 전체 길이를 단축시키고, 급속 가열의 초기 온도를 감소시킴으로써, 생산 효율을 개선하고 철강(steel) 톤당 에너지 소비를 감소시킨다.

### 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 예에 따른 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 급속 가열 장치의 개략적인 구조도이다.

도 2는 본 발명의 일 예에 따른 제 1 유도 가열기의 개략적인 구조도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 구성 및 작용 원리에 대하여 더 설명한다.

[0026] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따르면, 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel) (10)의 급속 가열 장치는 가열 영역, 침지 영역 및 냉각 영역을 포함한다. 가열 영역은 가열할 띠강 (10)의 이동 방향을 따라 제 1 가열부, 제 2 가열부, 제 3 가열부 및 제 4 가열부로 연속적으로 나누어진다. 구체적으로, 제 1 가열부 및 제 4 가열부는 복사(radiant) 가열부이고, 제 2 가열부 및 제 3 가열부는 유도 가열부이다.

[0027] 본 발명의 일 예에서, 제 1 가열부에는 띠강(10)을 타겟 큐리(curie) 온도보다 100°C 내지 200°C 낮은 온도 범위로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 1 복사(radiant) 가열기 (5)가 제공된다. 제 1 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 선택은 주로 소둔로(annealing furnace)의 안전 및 경제에 기초하고, 또한 최종 제품의 품질에 대한 요구 사항을 고려한다.

[0028] 제 2 가열부에는 띠강 (10)을 타겟 큐리(curie) 온도보다 300 °C 내지 50 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 1 유도 코일이 있는 제 1 유도 가열기가 제공된다. 제 2 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 선택은 주로 완제품의 자기 특성에 대한 요구 사항에 기초하고, 또한 유도 가열기의 사용 효율을 고려한다.

[0029] 제 3 가열부에는 띠강 (10)을 타겟 큐리(curie) 온도보다 3 °C 내지 30 °C 낮은 범위의 온도로 가열할 수 있는 제 2 유도 코일을 구비한 제 2 유도 가열기가 제공된다. 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도가 타겟 큐리(curie) 온도에 가까울수록, 폭(width) 방향으로 띠강 (10)의 온도 균일성이 더 양호하고, 유도 가열기의 사용 효율이 더 높다. 또한, 띠강 (10)이 타겟 큐리(curie) 온도에 도달하거나 근접할 때, 자기 전이가 발생하고, 띠강 (10)의 투자율(magnetic permeability)이 급격히 감소하고, 띠강 (10)의 가열 효율도 급격히 감소한다. 이때, 유도 가열기의 전압 변동이 커지며, 이는 종방향(longitudinal direction)으로 띠강 (10)의 온도 균일성 및 유도 가열기의 안정적인 작동에 영향을 줄 것이다.

[0030] 제 4 가열부에는 띠강 (10)을 타겟 큐리(curie) 온도 이상의 온도로 가열할 수 있는 가스 가열 또는 전기 가열을 이용하는 제 2 복사(radiant) 가열기(6)의 제공함으로써 띠강 (10)의 가열 공정을 완료한다.

[0031] 본 발명의 일 예에서, 적어도 하나의 다중 파장(multi-wavelength) 제 1 플레이트 온도계는 제 1 가열부와 제 2 가열부 사이에 배치되고, 적어도 하나의 다중 파장 제 2 플레이트 온도계는 제 2 가열부와 제 3 가열부 사이에 배치되며, 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 적어도 하나의 다중 파장 제 3 플레이트 온도계가 배치되어, 각각의 가열부 배출구에서 플레이트 온도가 정확하게 측정될 수 있다. 본 발명의 일 예에서, 제 1 플레이트 온도계, 제 2 플레이트 온도계 및 제 3 플레이트 온도계는 모두 적외선 온도 센서를 쓸 수 있으며, 그 작동 원리는 띠강 (10)의 비-접촉 표면 온도를 측정하는 것이다. 다중 파장 온도계는 다양한 방사율(emissivity), 광 간섭(light interference) 및 온도 보정(temperature calibration)을 보상할 수 있으므로 저온 또는 증기 함유

대기(steam-containing atmospheres)에서 온도를 측정할 때 더 높은 정밀도를 갖는다.

[0032] 구체적으로, 제 1 가열부 배출구에서 플레이트 온도를 검출하기 위해 적어도 하나 이상의 제 1 플레이트 온도계가 제 1 가열부와 제 2 가열부 사이에 제공된다.

[0033] 온도계의 위치에서 띠강 (10)의 실제 플레이트 온도를 검출하기 위해서 적어도 하나 이상의 제 2 플레이트 온도계가 제 2 가열부와 제 3 가열부 사이에 제공된다. 이 위치는 제 1 가열부 및 제 4 가열부에서 방사관(radiant tube)의 작동 상태에 영향을 받지 않으므로, 양호한 검출 환경을 갖는다. 그러나, 이 위치에서의 플레이트 온도는 일반적으로 700 °C보다 낮으며, 띠강 (10)의 방사율(emissivity)은 띠강 (10)의 표면 상태에 의해 쉽게 영향을 받는다. 따라서, 다중 파장 플레이트 온도계로 측정 정밀도를 향상시키는 것이 바람직하다.

[0034] 온도계 위치에서 띠강(10)의 실제 플레이트 온도를 검출하기 위해서 적어도 하나 이상의 제 3 플레이트 온도계가 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 제공된다. 이 위치의 플레이트 온도계는 제 4 가열부의 방사관(radiant tube)에 의해 쉽게 영향을 받는다. 또한, 제 3 가열부 배출구에서 플레이트 온도는 일반적으로 750 °C 이하이며, 띠강 (10)의 방사율(emissivity)은 띠강(10)의 표면 상태에 의해 쉽게 영향을 받는다. 따라서, 바람직한 다중 파장 플레이트 온도계에 의해 측정 정밀도가 향상될 수 있지만, 제 3 가열부 배출구에서 종방향(longitudinal)/횡 방향(transverse) 플레이트 온도 제어의 중요성을 고려하여, 이 측정 정밀도는 일반적으로 플레이트 온도의 피드백 제어를 위해 직접적으로 사용될 수 없다.

[0035] 본 발명의 일 예에서, 도 2의 제 1 유도 가열기의 개략적인 구조도에 도시된 바와 같이, 제 1 유도 가열기는 제 1 정류기(rectifier) (7), 제 1 인버터 (8) 및 순차적으로 연결된 제 1 유도 코일을 포함하는 제 1 발진 회로(oscillation circuit) (9)를 포함하며, 제 1 정류기(rectifier) (7)는 트랜지스터로 구성된 제 1 인버터 (8)에 제 1 직류를 공급 한 다음, 제 1 인버터 (8)는 제 1 발진 회로(oscillation circuit)에 제 1 고주파 전류(high-frequency current)를 공급한다. 제 1 유도 가열기와 유사한 제 2 유도 가열기는 제 2 정류기(rectifier), 제 2 인버터 및 순차적으로 연결된 제 2 유도 코일을 포함하는 제 2 발진 회로(oscillation circuit)를 포함하고, 제 2 정류기(rectifier)는 트랜지스터로 구성된 제 2 인버터에 제 2 직류를 공급한 다음, 제 2 발진 회로에 제 2 고주파 전류(high-frequency current)를 공급한다.

[0036] 유도 가열기의 여자 전류(excitation current) 주파수는 유도 전류의 침투 깊이(penetration depth)에 중요한 영향을 미친다. 여자 전류(excitation current)의 주파수가 낮을수록 유도 전류의 침투가 더 깊어진다. 띠강 (10)의 두께가 관통 깊이의 2.5 배 미만이면, 전류가 크게 약화되어 저비용 가열을 수행하기가 어렵다. 따라서, 제 1 유도 가열기 및 제 2 유도 가열기의 전류 주파수(current frequency)가 100 kHz보다 낮으면, 유도 전류의 침투 깊이가 깊고, 띠강(10) 표면의 가열 속도가 느려져서 얇은 띠강 (10)의 공정 요건을 충족시키기 어렵다. 전류 주파수(current frequency)가 1000 kHz보다 높으면 유도 가열기의 제조 비용이 크게 증가한다. 이 문제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 예에서, 제 1 유도 가열기 및 제 2 유도 가열기는 100-1000 kHz 범위, 바람직하게는 300-700 kHz 범위의 전류 주파수를 갖는다. 이러한 방법으로 0.15 mm 두께와 같이 매우 얇은 지향 규소강(oriented silicon steel)의 빠른 가열 요구 사항을 충족시킬 수 있으며 유도 가열기의 제조 비용을 합리적인 수준으로 제어 할 수도 있다.

[0037] 또한, 본 발명은 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel) (10)의 급속 가열 방법을 제공하며, 본 발명의 실시 예에서 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel) (10)의 급속 가열 장치는 가열할 띠강 (10)을 가열하기 위해 사용된다.

[0038] 본 발명의 일 예에서, 제 1 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 선택은 주로 소둔로(annealing furnace)의 안전 및 경제에 기초하고, 또한 최종 제품의 품질에 대한 요구사항을 고려한다. 제 1 가열부 배출구에서 제 1 타겟 플레이트 온도  $T_1$ 이 400 °C보다 낮으면, 제 1 가열부의 내부 노내(furnace) 온도는 일반적으로 750 °C보다 낮으며, 수소 방어 기압(protective atmosphere)이 높은 경우 소둔로(annealing furnace)에 숨겨진 안전 위험이 발생한다. 제 1 가열부 배출구에서 제 1 타겟 플레이트 온도  $T_1$ 이 550 °C보다 높으면, 유도 가열기는 작동 경제성이 감소된다. 따라서, 제 1 가열부의 제 1 타겟 플레이트 온도  $T_1$ 은 400-550 °C이다. 또한, 제 1 복사(radiant) 가열기 (5)는 400 °C 이하의 온도에서 사용된다. 제 1 복사(radiant) 가열기 (5)는 가열 효율이 높고 폭 방향으로 띠강 (10)의 온도 균일성을 양호하게 하고, 침지 영역(soaking zone)에서 배기 가스의 열을 이용함으로써 작동 에너지 소비를 추가로 감소시킬 수 있다.

[0039] 본 발명의 일 예에서, 제 2 가열부 배출구에서 제 2 타겟 플레이트 온도는 제 3 가열부의 가열 속도에 따라 설정된다. 완제품의 자기 특성의 관점에서, 제 3 가열부의 가열 속도는 바람직하게는 50 내지 150 °C/s이다. 제 3

가열부의 가열 속도가 결정된 후, 제 2 가열부의 제 2 타겟 플레이트 온도  $T_2$ 는 다음 식에 따라 결정된다:  $T_2 = T_3 - V_2/V_1 \times L_2$ . 상기  $T_3$ 은 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도이고,  $L_2$  (m)은 제 2 유도 가열기의 코일 길이이고,  $V_1$ (m/s)은 띠강(10)의 이동 속도이고,  $V_2$  (°C/s)는 제 3가열부의 가열 속도이다.

[0040] 본 발명의 일 예에서, 제 2 가열부의 전력(power)은 다음 방법에 의해 제어된다: 제 2 플레이트 온도계의 검출 값과 제 2 타겟 플레이트 온도  $T_2$  사이의 비교 결과에 따라 제 2 가열부의 가열 전력을 조정하는 단계를 포함한다. 구체적으로, 제 2 타겟 플레이트 온도는 제어 프로그램에 의해 미리 결정된 값  $T_{2A}$ 로 설정될 수 있고, 제 2 플레이트 온도계로부터의 검출값과 제 2 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{2A}$ 가 비교된다. 유도 가열 전력은 제 2 가열부 배출구에서 플레이트 온도가 제 2 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{2A}$ 에 접근하도록 동적으로 조정되어, 제 2 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 안정적인 제어를 달성한다. 유도 가열기의 작동 전압 및 작동 전류는  $T_2$ 와  $T_{2A}$ 의 차이에 따라 동적으로 조정된다.

[0041] 본 발명의 일 예에서, 제 3 가열부의 전력은 다음 방법에 의해 제어된다: 제 3 가열부 배출구에서 제 3 가열부의 초기 전력 및 제 3 타겟 플레이트 온도를 설정하고, 제 3 플레이트 온도의 검출 값 및 제 3 가열부의 타겟 플레이트 온도의 비교 결과에 따라 초기 전력에 기초하여 제 3 가열부의 가열 전력을 조정하는 단계를 포함한다.

[0042] 구체적으로, 초기 전력  $P_{20}$ 의 계산 공식은 다음과 같다:

$$P_{20} = f(\rho, E, R, \Theta, W, V1, \Delta T)$$

[0043] 상기  $\rho$ 는 띠강 (10)의 밀도이고,  $E$ 는 띠강 (10)의 특정 에너지이고,  $R$ 은 띠강 (10)의 저항률(resistivity)이며, 이들은 띠강 (10)의 특징적인 파라미터이고;  $\Theta$ 는 띠강 (10)의 두께,  $W$ 는 띠강 (10)의 폭이며, 이들은 띠강 (10)의 크기 파라미터이며;  $V1$ 은 띠강 (10)의 이동 속도,  $\Delta T$ 는 미리 결정된 온도 차이이며, 이들은 공정 파라미터이다. 초기 전력  $P_{20}$ 의 계산 공식은 이론적 공식이다. 실제 생산 공정에서의 계산 공식은 띠강(10)의 특성 파라미터, 띠강 (10)의 크기 파라미터 및 배출구 플레이트 온도에 기초한 공정 파라미터를 피팅(fitting)함으로써 얻을 수 있다.

[0044] 동일한 재료의 띠강 (10)의 경우, 초기 전력  $P_{20}$ 의 계산 공식은 다음과 같이 단순화 될 수 있다:

$$P_{20} = K1 \times f(\Theta, W, V1, \Delta T)$$

[0045] 상기  $K1$ 은 재료 특성과 관련된 상수이다. 실제 생산 공정에서, 상이한 특성을 갖는 상이한 띠강 (10)에 따라 상이한  $K1$  값이 제공된다.

[0046] 제 3 가열부의 배출구에서 제 3 타겟 플레이트 온도는 제어 프로그램에 의해 미리 결정된 값  $T_{3A}$ 로 설정될 수 있고, 제 3 플레이트 온도계로부터의 검출 값과 제 3 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{3A}$ 가 비교된다. 유도 가열 전력은 제 3 가열부 출구에서 플레이트 온도가 제 3 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{3A}$ 에 접근하도록 동적으로 조정된다. 이 셋팅 방법은 초기 전력에 기초하여 제 3 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{3A}$ 에 기초하여 동적 보상 모듈(dynamic compensation module)을 추가하는 것과 동등하다는 것을 알 수 있다. 동적 보상 모듈(dynamic compensation module)의 온도를 편리하게 제어하기 위해서는 플레이트 온도를 실시간으로 모니터링 해야 한다. 따라서, 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 적어도 2 개의 제 3 플레이트 온도계가 제공될 수 있고, 상기 적어도 하나의 제 3 플레이트 온도계는 플레이트 온도 보상 및 플레이트 온도 모니터링을 위해 사용된다.

[0047] 본 발명의 다른 예에서, 제 3 가열부의 전력은 다음 방법에 의해 제어된다: 제 3 가열부의 타겟 임피던스를 설정하고, 제 3 가열부의 타겟 임피던스와 작동 임피던스의 비교 결과에 따라 제 3 가열부의 가열 전력을 조정하는 단계를 포함한다. 구체적으로, 제 3 가열부에서 제 2 유도 가열기의 운전 임피던스  $Z_2 = U_2/I_2$ 가 추적되며, 여기서  $U_2$ 는 제 2 유도 가열기의 운전(running) 전압이고,  $I_2$ 는 제 2 유도 가열기의 운전(running) 전류이다. 띠강 (10)이 퀴리(curie) 온도  $T_c$ 에 도달하거나 근접할 때, 자성 전이(magnetic transition)가 일어나 띠강 (10)의 임피던스가 변하게 된다. 이러한 물리적 특성은 띠강 (10)의 임피던스를 제어함으로써 배출구 플레이트

온도를 더욱 안정화시키는 데 사용될 수 있다. 제 2 유도 가열기의 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 는 제어 프로그램에 의해 설정될 수 있고, 운전 임피던스  $Z_2$ 와 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 는 유도 임피던스 전력을 동적으로 조정하여 운전 임피던스  $Z_2$ 가 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 에 접근하도록 비교된다. 즉, 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 에 기초한 동적 보상 모듈이 초기 전력에 기초하여 추가된다. 실제 제조 공정에서, 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 는 유도 가열 이론 및 공정 요건에 기초하여 결정되며, 띠강 (10) 폭의 영향도 고려될 필요가 있다.

[0050] 다음은 몇몇의 실시예를 참조하여 본 발명의 효과를 상세히 설명한다.

#### 실시예 1

[0052] 슬래브(slab)는 다음 단계에 따라 처리된다: 1150 °C에서 슬래브(slab)를 가열 한 후, 열간 압연(hot-rolling)을 실시하여 두께 2.3mm의 열연 플레이트를 얻는 단계; 어닐링 정상화(normalizing annealing); 플레이트를 목표 두께로 냉간 압연하고, 냉간 압연 두께는 0.29 mm; 냉간 압연 강판 표면을 청소하여 압연유(rolling oil) 및 철 제거; 종래의 방사관, 중국 특허 (CN101652485A)에 기술된 어닐링 장비 및 본 발명의 실시 예의 탈탄(decarburization) 어닐링 유닛을 각각 사용한 탈탄(decarburization) 어닐링; 질화(nitriding) 처리를 수행하는 단계; 강판을 MgO으로 코팅 한 다음, 100 % H<sub>2</sub> 대기, 1200 °C의 고온에서 20 시간 동안 어닐링; 절연(insulating) 코팅을 적용하고, 열연(hot-stretching) 및 조질 압연(temper-rolling) 어닐링을 수행하여 완성된 지향 규소강(oriented silicon steel) 제품을 얻는 단계를 포함한다. 상기 슬래브(slab)는 하기 화학 조성을 질량 백분율로 포함한다:

C: 0.035~0.120%, Si: 2.9~4.5%, Mn: 0.05~0.20%, P: 0.005~0.050%, S: 0.005~0.012%, Als: 0.015~0.035%, N: 0.001~0.010%, Cr: 0.05~0.30%, Sn: 0.005~0.200%, V: ≤0.0100%, Ti: ≤0.0100%.

[0054] 탈탄 어닐링 장치의 톤당 에너지 소비 및 띠강의 탈탄 효과는 다른 시험 조건 하에서 테스트되었으며, 결과는 표 1에 제시되어 있다. 비교예 1 및 2는 종래의 방사관을 사용하여 얻은 시험 데이터를 나타내고, 비교예 3 내지 5는 중국 특허 (CN101652485A)의 장비를 사용하여 얻은 시험 데이터를 나타내고, 실험예 1 내지 5는 본 발명의 실시 양태의 시험 데이터를 나타낸다.

#### 표 1

다양한 시험 조건에서의 데이터 비교표

	단위속도 (m/분)	제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도 $T_1$ (°C)	탈탄 후 탄소 함량(ppm)	철강의 톤당 에너지 소비 감소(%)
비교예 1	90	-	<30	기본 에너지 소비
비교예 2	95	-	48	4.7% 감소
비교예 3	90	600	<30	4.0% 감소
비교예 4	90	550	41	4.9% 감소
비교예 5	95	600	33	8.2% 감소
실험예 1	90	550	<30	4.7% 감소
실험예 2	90	500	<30	6.1% 감소
실험예 3	90	400	<30	7.6% 감소
실험예 4	95	520	<30	10.6% 감소
실험예 5	98	540	<30	12.5% 감소

[0056] 표 1에 따르면, 에너지 소비는 비교예 1의 강철 톤당 에너지 소비 기준과 비교된다. 비교예 1 및 비교예 2는 종래의 가열용 방사관을 사용하였다. 비교예 1의 단위 속도는 90 m/분이며, 이는 기준 에너지 소비이다. 비교예 2에서, 단위 속도는 95 m/분으로 증가하고, 강철 톤당 에너지 소비는 4.7 % 감소하지만, 탈탄 효과는 좋지 않으며, 탈탄 후 탄소 함량은 48 ppm이다.

[0057] 비교예 3 내지 5는 중국 특허(CN101652485A)에 개시된 3 단계 가열방법을 사용하였다. 비교예 3에서, 단위 속도는 90 m/분이고, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도  $T_1$ 은 600 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 4.0 % 감소하였다. 비교예 4에서, 단위 속도는 90 m/분이고, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도  $T_1$ 은 550 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 4.9 % 감소하였다. 그러나, 비교예 4에서, 급속 가열 공정의 초기 온도가 너무 낮고, 유도 가

열 장치 1개의 작업 용량이 제한되기 때문에, 급속 가열 공정의 종료 온도가 낮아져 탈탄 후 탄소함량이 41 ppm으로 탈탄 효과가 저하된다. 비교예 5에서, 단위 속도는 95 m/분이고, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 600 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 8.2 % 감소하였다. 유사하게, 비교예 5에서, 유도 가열 장치 1개의 작업 용량이 제한되기 때문에, 탈탄 후 탄소 함량은 여전히 33 ppm으로 비교적 높다.

[0058] 실험예 1 내지 3에서, 단위 속도는 90 m/분이고, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 각각 550 °C, 500 °C 및 400 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 감소하며, 탈탄 후 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요건을 충족시킨다.

[0059] 실험예 4에서, 단위 속도는 95 m/분이고, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 520 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 10.6 % 감소하였다. 실험예 5에서, 단위 속도는 98 m/분이고, 급속 가열의 초기 온도는 540 °C이며, 철강 톤당 에너지 소비는 12.1 % 감소하였다. 비교예 9 및 10에서, 탈탄 후 탄소 함량은 공정 요건을 만족시킨다. 동일한 조건하에서, 본 발명의 기술 솔루션(technical solutions)에서 강철 톤당 에너지 소비가 상당히 감소됨을 알 수 있다.

## 실시예 2

[0061] 실시예 2는 실시예 1과 동일한 제조 단계를 사용하고, 냉간 압연 두께는 0.29 mm이다. 본 발명에 따른 냉간 압연 띠강의 급속 가열 장치는 탈탄 어닐링 유닛(decarburization annealing unit)이며, 속도는 90 m/분이다. 제 1 가열부와 제 2 가열부 사이에 다중 파장 제 1 플레이트 온도계가 배치되고, 제 2 가열부와 제 3 가열부 사이에 다중 파장 제 2 플레이트 온도계가 배치되고, 2 개의 다중 파장 제 3 플레이트 온도계가 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에 배치된다. 표 2는 다양한 유도 가열 전력 제어 모드에서의 플레이트 온도를 나타낸다.

**표 2**

[0062] 다양한 유도 가열 전력 제어 모드에서 플레이트 온도

	제1가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도(°C)	제1가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도의 변화 (°C)	제2가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도 (°C)	제2가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도의 변화 (°C)	제3가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도 (°C)	제3가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도의 변화 (°C)	표면 결함률 (%)
비교예 6	500.1	5.5	585.8	6.8	719.3	5.1	6.0%
실험예 6	500.3	5.1	585.0	0.08	729.8	1.3	1.5%
실험예 7	500.5	5.7	585.0	0.08	730.5	1.0	<0.5%
실험예 8	499.8	5.8	585.0	0.08	733.1	0.6	<0.5%

[0063] 비교예 6에서, 제 1 유도 가열기는 초기 전력 모드를 사용하는데, 여기서 제 1 유도 가열기의 초기 전력은 150 kW이고, 제 2 유도 가열기의 초기 전력은 430 kW이다. 제 1 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 500.1 °C이고, 평균 편차는 5.5 °C이고; 제 2 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 585.8 °C이고, 평균 편차는 6.8 °C이고; 제 3 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 719.3 °C이고 그 평균 편차는 5.1 °C이며; 완제품의 표면 결함률은 6.0 %이다.

[0064] 실험예 6에서, 제 1 유도 가열기는 플레이트 온도 피드백 전력 제어 모드를 사용하고, 제 2 유도 가열기는 초기 전력 모드를 사용한다. 제 1 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 500.3 °C이고, 그 평균 편차는 5.1 °C이며, 이는 비교예 6의 것과 유사하다. 비교예 6과 비교하여, 실험예 6의 제 2 가열부는 플레이트 온도 피드백 제어를 사용하기 때문에, 배출구 플레이트 온도의 평균 분산은 0.08 °C로 감소된다. 제 2 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 개선된 안정성으로 인해, 제 2 유도 가열기의 초기 플레이트 전력은 제 3 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 변동을 감소시키기 위해 증가될 수 있다. 제 3 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 729.8 °C이고, 평균 편차는 1.3 °C이다. 배출구의 평균 플레이트 온도는 띠강의 타겟 큐리(curie) 온도에 가깝고 완제품의 표면 결함률은 1.5 %로 감소한다.

[0065] 실험예 7에서, 제 1 유도 가열기는 플레이트 온도 피드백 전력 제어 모드를 사용하고, 제 2 유도 가열기는 플레이트 온도 보상 전력 제어 모드를 사용한다. 제 3 가열부와 제 4 가열부 사이에는 플레이트 온도를 보상하기 위한 제 3 플레이트 온도계 및 플레이트 온도를 모니터링 하기 위한 제 3 플레이트 온도계가 제공된다. 제 3 타겟 플레이트 온도의 미리 결정된 값  $T_{3A}$ 은 733 °C로 설정된다. 제 3 가열부 배출구에서의 플레이트 온도 변동은 실험예 6과 비교하여 추가로 감소된다. 모니터링을 위한 온도계는 제 3 가열부 배출구에서의 평균 플레이트 온도

가 730.5 °C이고, 이의 평균 편차가 1.0 °C이며, 완제품의 표면 결함률이 <0.5 %로 감소된다.

[0066] 실험예 8에서, 제 1 유도 가열기는 플레이트 온도 피드백 전력 제어 모드를 사용하고, 제 2 유도 가열기는 임피던스 보상 전력 제어 모드를 사용하고, 타겟 임피던스  $Z_{2A}$ 는 1.6으로 설정된다. 제 3 가열부 배출구에서 플레이트 온도의 제어 정밀도는 실험예 7에서와 같이 높다. 배출구에서의 평균 플레이트 온도는 733.1 °C이고, 평균 편자는 0.6 °C이며, 완제품의 표면 결함률은 <0.5 %로 감소된다.

[0067] 따라서, 비교예 6과 비교하여, 실험예 6 내지 8에서 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도 및 제 3 가열부 출구의 플레이트 온도의 제어 정밀도가 상당히 개선되고, 완제품의 표면 결함률은 크게 줄어든다.

### 실시예 3

[0069] 실시예 3은 실시예 1과 동일한 제조 단계를 사용하지만, 제 2 가열부 및 제 3 가열부의 제어 모드를 변경한다. 비교예 7 및 8은 종래의 방사관을 가열에 사용하고, 비교예 9 내지 11은 가열을 위해 중국 특허(CN101652485A)에 기재된 어닐링 장비를 사용한다. 실험예 9 내지 13에서, 본 발명의 냉간 압연 띠강의 급속 가열 장치가 가열에 사용되고, 제 1 유도 가열기는 플레이트 온도 피드백 전력 제어 모드를 사용하고, 제 2 유도 가열기는 임피던스 보상 전력 제어 모드를 사용한다. 상기 실험의 시험 데이터를 수집하고 표 3에 열거 하였다.

**표 3**

다양한 실험 조건 및 가열 전력 제어 모드에서 시험 데이터 비교

	냉간 압연 두께 (mm)	유닛 속도 (m/분)	제1가열부 배출구에서의 플레이트 온도(°C)	제2가열부 배출구에서의 플레이트 온도(°C)	제3가열부 배출구에서의 플레이트 온도(°C)	탈탄 후 탄소 함량 (ppm)	유도 $B_8$ (T)	철 손실 $P_{17/50}$ (W/kg)	표면 결함률(%)
비교예 7	0.29	90	-	-	-	<30	1.916	0.974	6.0%
비교예 8	0.29	95	-	-	-	48	1.865	1.123	10.5%
비교예 9	0.29	90	590~610	723~733	-	<30	1.918	0.968	1.5%
비교예 10	0.29	95	610~630	725~735	-	39	1.905	0.996	2.4%
비교예 11	0.35	80	640~660	716~728	-	43	1.884	1.123	3.7%
실험예 9	0.22	110	530~550	599~601	730~736	<30	1.932	0.837	<0.5%
실험예 10	0.29	90	490~510	599~601	730~736	<30	1.935	0.942	<0.5%
실험예 11	0.29	95	510~530	609~611	730~736	<30	1.938	0.947	<0.5%
실험예 12	0.29	98	530~540	619~621	730~736	<30	1.928	0.953	<0.5%
실험예 13	0.35	80	570~590	659~661	727~733	<30	1.927	1.097	<0.5%

[0071] 표 3 및 실험예 7과 같이, 냉간 압연 두께는 0.29 mm이고, 단위 속도는 90 m/분이며, 탈탄 후 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요건, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 을 충족시키며, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.974 W/Kg이고, 표면 결함률은 6.0 %이다. 비교예 8에서, 단위 속도는 95 m/분이고, 단위 속도의 증가로 인해 탈탄 시간이 감소되어 탈탄 효과가 저하되며, 탈탄 후 탄소 함량은 48 ppm이 되고, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.865 T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 1.123 W/Kg, 표면 결함률은 10.5 %이다.

[0072] 비교예 9에서, 냉간 압연 두께는 0.29mm이고, 단위 속도는 90 m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 590~610 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 723~733°C이며, 탈탄 후 냉간 압연 플레이트의 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요구 사항을 충족하고, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.918 T이며 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.968 W/Kg이고, 표면 결함률은 1.5 %이다. 비교예 10에서, 냉간 압연 두께는 0.29mm이고, 단위 속도는 95m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 610~630 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 725~735°C, 탈탄 후 냉간 압연 플레이트의 탄소 함량은 39 ppm, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.905T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.996 W/Kg, 표면 결함률은 2.4 %이다. 비교예 11에서, 냉간 압연 두께는 0.35 mm이고, 단위 속도는 80 m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 640~660 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 716~728°C, 탈탄 후 탄소 함량은 43 ppm, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.884T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 1.123W/Kg, 표면 결함률은 3.7 %이다.

[0073] 실험예 9에서, 냉간 압연 두께는 0.22 mm이고, 단위 속도는 110 m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 530~550 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 599~601 °C, 제 3가열부 배출구의 플레이트 온도는

730~736 °C, 탈탄 후 탄소 함량은 30ppm 미만의 요건을 충족하며 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.932T이며, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.837 W/Kg이고, 표면 결함률은 0.5 % 미만이다.

[0074] 실험예 10에서, 냉간 압연 두께는 0.29 mm이고, 단위 속도는 90 m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 490~510°C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 599~601°C, 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도는 730~736°C, 탈탄 후 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요구 사항을 충족하며, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.935T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.942 W/Kg이고, 표면 결함률은 0.5 % 미만이다.

[0075] 실험예 10과 비교하여, 실험예 11의 단위 속도는 95 m/분으로 증가된다. 실험예 11에서, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 510~530 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 609~611 °C이고, 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도는 730~736°C, 탈탄 후 탄소 함량은 30ppm 미만의 요건을 충족하고, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.938T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.947W/Kg, 표면 결함률은 0.5 % 미만이다.

[0076] 실험예 11과 비교하여, 실험예 12의 단위 속도는 98 m/분으로 추가로 증가된다. 실험예 12에서, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 530~550 °C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 619~621 °C이며, 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도는 730~736°C, 탈탄 후 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요건을 충족하고, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.928T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 0.953W/Kg, 표면 결함률은 0.5 % 미만이다.

[0077] 실험예 13에서, 냉간 압연 두께는 0.35 mm이고, 단위 속도는 80 m/분이며, 제 1 가열부 배출구의 플레이트 온도는 570~590°C이고, 제 2 가열부 배출구의 플레이트 온도는 659~661°C, 제 3 가열부 배출구의 플레이트 온도는 727~733 °C, 탈탄 후 탄소 함량은 30 ppm 미만의 요건을 충족하며, 완제품의 자기 유도  $B_8$ 은 1.927T, 철 손실  $P_{17/50}$ 은 1.097 W/Kg이고, 표면 결함률은 0.5 % 미만이다.

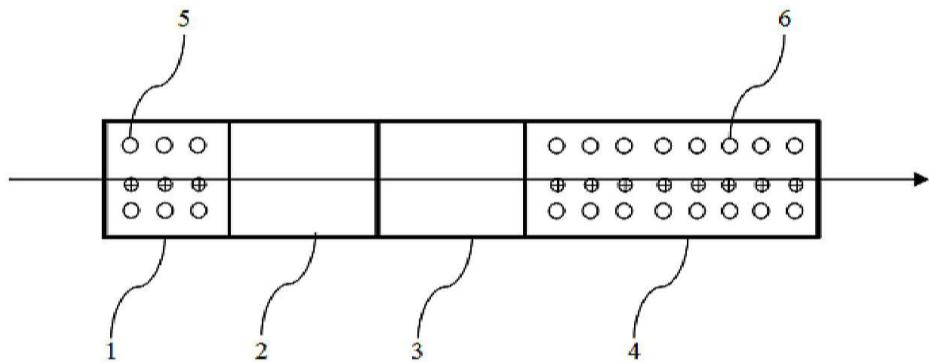
[0078] 결론적으로, 본 발명의 실시예는 종래 기술과 비교하여, 유연한 공정 설정, 완제품의 우수한 자기 성능, 낮은 표면 결함률을 가지며, 생산 속도를 추가로 증가시켜 생산 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 나타낸다.

[0079] 요약하면, 본 발명의 실시예에 따른 냉간 압연 띠강의 금속 가열 장치 및 방법은 고주파 유도 가열의 빠른 가열 속도 특성을 충분히 이용할 수 있다. 본 발명의 실시예는 가열 시스템을 염격히 구현하기 위해 플레이트의 분할된 온도 제어 모드를 사용하고, 띠강의 표면 상태 변동 및 가열 조건 변동의 영향을 효과적으로 극복할 수 있고, 따라서 플레이트 온도를 제어하는데 높은 정밀도를 갖는다. 따라서, 최종 제품은 우수한 자기 특성 및 표면 품질을 갖는다. 또한, 본 발명의 실시예에서, 각각의 가열부의 타겟 플레이트 온도는 매우 편리하게 선택될 수 있고, 가열은 분할된 가열 속도로 수행되어, 공정 설정의 유연성 및 제품 사양의 적응성을 향상시킨다. 또한, 본 발명의 실시예에서 제공되는 냉간 압연 띠강의 금속 가열 장치 및 방법은 4.5 질량 %의 Si 함량을 갖는 지향 규소강(oriented silicon steel)의 냉간압연 띠강(cold-rolled strip steel)의 금속 가열에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, Cr 함량이 18 질량 % 이하인 페라이트 계 스테인레스강(ferritic stainless steel) 또는 마르텐 사이트 계 스테인레스강(martensitic stainless steel)과 같은 큐리(curie) 포인트를 갖는 임의의 종류의 냉간 압연 띠강(cold-rolled strip steel)에 대해서도 적용된다.

[0080] 이상이 본 발명의 개략적인 설명이다. 당업자는 본 발명의 작동 원리를 벗어나지 않고 본 발명에 대해 다양한 변형이 이루어질 수 있으며, 이러한 변형은 모두 본 발명의 보호 범위에 속한다는 것을 이해할 것이다.

도면

도면1



도면2

