



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0020626  
(43) 공개일자 2025년02월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B23K 20/12 (2006.01) B21B 15/00 (2006.01)  
C22C 38/60 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
B23K 20/123 (2013.01)  
B21B 15/0085 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2025-7000382
- (22) 출원일자(국제) 2023년04월13일  
심사청구일자 2025년01월06일
- (85) 번역문제출일자 2025년01월06일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/015082
- (87) 국제공개번호 WO 2024/042774  
국제공개일자 2024년02월29일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2022-132853 2022년08월23일 일본(JP)

- (71) 출원인  
제이에프이 스틸 가부시카이가이사  
일본 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
- (72) 발명자  
마츠시타 무넨오  
일본국 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이  
이와타 쇼헤이  
일본국 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이  
도미타 카이  
일본국 도쿄도 지요다꾸 우치사이와이쵸 2쵸메 2방 3고 제이에프이 스틸 가부시카이가이사 치테키자 이산부 나이
- (74) 대리인  
이철

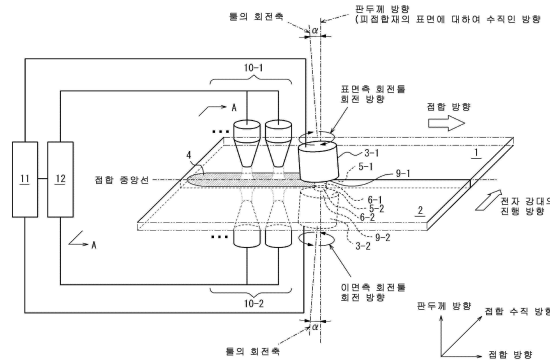
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법, 전자 강대의 제조 방법, 마찰 교반 접합 장치 및 전자 강대의 제조 장치

(57) 요약

높은 시공 능률하, 코일 접합부의 기계적 특성의 열화나 형상의 열화에 의한 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생을 억제할 수 있는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 제공한다. 식 (1) 및 (2)의 관계를 동시에 만족하는 조건에 의해, 후냉각식 양면 마찰 교반 접합을 행한다.

대표도



(52) CPC특허분류

*B23K 20/125* (2013.01)

*C22C 38/60* (2013.01)

*B21B 2015/0092* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

피접합체인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를, 서로 대향하는 한 쌍의 회전 틀에 의해 접합하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법으로서,

상기 피접합체의 미접합부에, 상기 회전 틀을 양면으로부터 서로 역방향으로 회전시키면서 압압하고, 상기 회전 틀을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 제1 전자 강대와 상기 제2 전자 강대를 접합하여 접합부를 형성하는, 접합 공정과,

상기 접합부를, 상기 피접합체의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 틀의 접합 방향의 후방에 배치되는 냉각 장치에 의해 냉각하는, 냉각 공정을 구비하고,

상기 피접합체의 미접합부는, 상기 제1 전자 강대의 단부와, 상기 제1 전자 강대에 이어지는 상기 제2 전자 강대의 단부의 맞담부 또는 겹침부이고,

상기 회전 틀과 상기 냉각 장치를 연동시켜 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 접합 공정과 상기 냉각 공정을 연속하여 행하고,

또한, 상기 회전 틀의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$ 가, 다음식 (1)의 관계를 만족하고, 또한,

상기 회전 틀의 회전수  $RS(\text{회/분})$ , 상기 회전 틀의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$  및 접합 속도  $JS(\text{mm/분})$ 에 의해 나타나는  $RS \times D^3 / JS$ 가, 다음식 (2)의 관계를 만족하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

$$4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$$

$$200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$$

여기에서,  $TJ$ 는,

미접합부가 맞담부인 경우, 제1 전자 강대의 판두께 및 제2 전자 강대의 판두께의 평균값( $\text{mm}$ )이고,

미접합부가 겹침부인 경우, 겹침부의 두께( $\text{mm}$ )임.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 접합 공정에 있어서, 상기 제1 전자 강대와 상기 제2 전자 강대의 접합에 의해 형성되는 상기 접합부 및 열 가공 영향부의 강 조직이 각각, 페라이트상 주체의 조직이 되고, 또한, 다음식 (3)~(6)의 관계를 만족하는 조건으로, 접합을 행하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

$$Dsz \leq 100 \mu\text{m} \quad \dots (3)$$

$$Dhaz1 \leq Dbm1 \quad \dots (4)$$

$$Dhaz2 \leq Dbm2 \quad \dots (5)$$

$$0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \quad \dots (6)$$

여기에서,

$Dsz$ 는, 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),

$Dhaz1$ 은, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),

$Dhaz2$ 는, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),

$Dbm1$ 은, 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),

Dbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),

Hsz는, 접합부의 경도의 평균값,

Hbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,

Hbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,

임.

### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 접합 공정에 있어서, 다음식 (7) 및 (8)의 관계를 만족하는 조건으로 접합을 행하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

$$0.8 \times TbmL \leq TszL \quad \dots (7)$$

$$TszH \leq 1.3 \times TbmH \quad \dots (8)$$

여기에서,

TszL은, 접합부의 두께의 최소값(mm),

TszH는, 접합부의 두께의 최대값(mm),

TbmL은, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 얇은 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),

TbmH는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 두꺼운 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),

임. 단, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 동일한 경우에는,  $TbmL = TbmH$ 가 됨.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 접합 공정에 있어서, 상기 회전 틀의 솔더부 간의 극간 G(mm)가 다음식 (9)의 관계를 만족하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

$$0.4 \times TJ \leq G \leq 0.9 \times TJ \quad \dots (9)$$

### 청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 회전 틀이, 프로브가 없는 회전 틀인, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 회전 틀의 선단면이, 평면, 블록형의 곡면, 또는, 오목형의 곡면인, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 회전 틀의 선단면이, 회전 반대 방향의 소용돌이 형상의 단차부를 갖는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 소용돌이 형상의 단차부가, 상기 회전 틀의 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 낮아지는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

**청구항 9**

제7항에 있어서,

상기 소용돌이 형상의 단차부가, 상기 회전 틀의 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 높아지는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

**청구항 10**

제5항에 있어서,

상기 회전 틀의 경사 각도  $\alpha$ 가  $0^\circ$  인, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

**청구항 11**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 냉각 공정에 있어서, 다음식 (10)~(12)의 관계를 만족하는 조건으로 냉각을 행하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

$$CR_{W=0} \geq 15 \dots (10)$$

$$CR_{W=0.2D} \geq 15 \dots (11)$$

$$CR_{W=0.5D} \geq 15 \dots (12)$$

여기에서,  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 는 각각,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서  $450^\circ\text{C}$ 까지의 냉각 속도( $^\circ\text{C}/\text{s}$ )임. 또한,  $W$ 는, 피접합재의 접합 중앙선으로부터 접합 수직 방향으로 이간하는 거리(mm)임.  $D$ 는, 회전 틀의 슬더부의 직경(mm)임.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 냉각 장치가, 불활성 가스의 분사 장치, 액체의 분사 장치, 또는, 이들을 조합한 장치인, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

**청구항 13**

제11항에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 의해 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하여, 접합 강대를 얻는 공정과,

당해 접합 강대에 냉간 압연을 실시하여, 냉연 강대를 얻는 공정을 구비하는, 전자 강대의 제조 방법.

**청구항 14**

제11항에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 이용하는, 마찰 교반 접합 장치로서,

피접합재를 파지하는, 파지 장치와,

서로 대향하는 한 쌍의 회전 틀과,

상기 회전 틀의 구동 장치와,

상기 피접합재의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 틀의 접합 방향의 후방에 배치되는, 냉각 장치와,

상기 파지 장치, 상기 회전 틀의 구동 장치 및 상기 냉각 장치의 동작 제어 장치

를 구비하는, 마찰 교반 접합 장치.

**청구항 15**

제14항에 있어서,

상기 피접합재로 형성되는 접합부의 양면에 있어서  $CR_W=0$ ,  $CR_W=0.2D$  및  $CR_W=0.5D$ 를 측정하는, 냉각 속도 측정 장치를 구비하는, 마찰 교반 접합 장치.

여기에서,  $CR_W=0$ ,  $CR_W=0.2D$  및  $CR_W=0.5D$ 는 각각,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서  $450^\circ\text{C}$ 까지의 냉각 속도( $^\circ\text{C}/\text{s}$ )임. 또한,  $W$ 는, 피접합재의 접합 중앙선으로부터 접합 수직 방향으로 이간하는 거리(mm)임.  $D$ 는, 회전 톨의 솔더부의 직경(mm)임.

**청구항 16**

제15항에 있어서,

상기 냉각 장치가, 불활성 가스의 분사 장치, 액체의 분사 장치, 또는, 이들을 조합한 장치인, 전자 강대의 마찰 교반 접합 장치.

**청구항 17**

제15항에 기재된 마찰 교반 접합 장치를 구비하는, 전자 강대의 제조 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법, 전자 강대의 제조 방법, 마찰 교반 접합 장치 및 전자 강대의 제조 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 강관의 제조 라인, 예를 들면, 산 세정, 냉간 압연, 어닐링 및 도금 등의 제조 라인에서는, 생산성의 향상이나 수율을 높게 하기 위해, 소위 코일 접합을 실시한 후에, 강대를 통관하는 것이 일반적이다. 여기에서, 코일 접합이란, 제조 라인에 있어서, 선행하는 강대(이하, 선행 강대라고도 함)의 단부(후단)와, 선행 강대에 이어지는 강대(이하, 후행 강대라고도 함)의 단부(선단)를 접합하는 것이다. 이하, 코일 접합에 의해 형성되는 접합부를, 코일 접합부라고도 한다. 또한, 선단은, 제조 라인에 있어서의 강대의 진행 방향측의 단부이다. 또한, 후단은, 제조 라인에 있어서의 강대의 진행 방향 반대측의 단부이다. 이 코일 접합을 행함으로써, 강대의 전체 길이에 걸쳐, 장력을 부여한 상태로 압연 등 하는 것이 가능해진다. 또한, 강대의 선단이나 후단에 있어서도, 관두께나 형상을 고정밀도로 제어하는 것이 가능해진다.

[0003] 코일 접합에서는, 종래, 플래시 버트(flash butt) 용접 등이 적용되는 것이 일반적이었다. 그러나, 레이저 용접기의 진보에 수반하여, 예를 들면, 전자 강관이나 스테인리스 강관, 고장력 강관의 제조 라인에서도, 코일 접합에 레이저 용접을 적용하는 것이 주류가 되고 있다.

[0004] 이러한 기술로서, 예를 들면, 특허문헌 1에는,

[0005] 「고Si강을 용접할 때에 있어서, Ni를 주성분으로 하는 필러 와이어를 이용하여, 혹은 Ni를 주성분으로 하는 분말 필러를 공급하여 용접 금속의 화학 조성이 하기 (1)식을 만족하도록 용접을 행하는 것을 특징으로 하는 고Si강의 레이저 용접 방법.

[0006] 
$$X = [\%Ni] - [\%Si] \times 2.5 - ([\%Cr] + [\%Mo]) \times 0.4 \geq 0 \quad \cdot \cdot (1)$$

[0007] 단, [%Ni], [%Si], [%Cr] 및 [%Mo]는, 각각, 용접 금속 중의 Ni, Si, Cr 및 Mo의 함유량(중량%)을 나타낸다.」

[0008] 가 개시되어 있다.

[0009] 특허문헌 2에는,

[0010] 「선행관과 후행관을 맞대어 필러 와이어를 이용하여 레이저 용접하는 방법에 있어서, 용접 초기의 상기 선행관과 후행관의 맞댐 갭(Gap)과 용접 금속의 평균 너비(DEPO)의 비(Gap/DEPO)가 0.3~0.8인 것을 특징으로 하는 레이저 용접 방법.」

[0011] 이 개시되어 있다.

- [0012] 특허문헌 3에는,
- [0013] 「연속 냉간 압연 라인 상을 반송되는 특수강으로 이루어지는 선행 박판과 후행 박판을 레이저 용접하여 형성된 용접부에 있어서,
- [0014] 냉간 압연에 의해 모재의 상면측에 연장되어 나온 용접 금속으로 이루어지는 상측 연출부의 하측에 존재하는 상기 모재의 최소 두께를 L1로 하고, 냉간 압연에 의해 상기 모재의 하면측에 연장되어 나온 용접 금속으로 이루어지는 하측 연출부와 상기 상측 연출부에 끼워진 상기 모재의 최소 두께를 L2로 하면, L1 및 L2의 적어도 어느 것이 제로보다 큰 것을 특징으로 하는 박판의 용접부.」
- [0015] 가 개시되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0016] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평5-305466호
- (특허문헌 0002) 일본공개특허공보 2004-25284호
- (특허문헌 0003) 일본공개특허공보 2011-140026호
- (특허문헌 0004) 일본공표특허공보 평07-505090호
- (특허문헌 0005) 일본특허 제3261433호
- (특허문헌 0006) 일본특허 제4838385호
- (특허문헌 0007) 일본특허 제4838388호
- (특허문헌 0008) 일본제공표특허공보 2019-26864호
- (특허문헌 0009) 일본제공표특허공보 2019-54400호
- (특허문헌 0010) 일본특허 제6332561호
- (특허문헌 0011) 일본특허 제6332562호
- (특허문헌 0012) 일본특허 제6497451호
- (특허문헌 0013) 일본공개특허공보 2020-124739호

**비특허문헌**

- [0017] (비특허문헌 0001) Cui, L.; Fujii, H.; Tsuji, N.; Nogi, K. Scripta Mater. 2007, 56, p.637-640.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0018] 그러나, 레이저 용접은 용융 용접이기 때문에, 용융 및 응고 시의 불순물의 편석에 기인하는 취화나, 수소 침입에 기인하는 취화가 생긴다. 그 결과, 접합부(용접부)의 기계적 특성의 열화를 초래하는 경우가 있다. 특히, 전자 강판의 성분 조성에는 Si가 다량으로 함유되어 있기 때문에, 코일 접합부의 기계적 특성의 열화가 현저해지기 쉽다. 그 때문에, 특허문헌 1~3과 같이, 전자 강대의 코일 접합부로서 레이저 용접을 적용하면, 제조 라인, 예를 들면, 연속 냉간 압연 라인에 있어서, 코일 접합부에 파단이 생겨, 라인 정지 등에 의한 생산성의 저하를 초래한다는 문제가 있다.
- [0019] 본 발명은, 상기의 현상을 감안하여 개발된 것으로서, 높은 시공 능률하, 코일 접합부의 기계적 특성의 열화나 형상의 열화에 의한 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생을 매우 유효하게 억제할 수 있고, 또한, 회전 틀의 내구성의 점에서도 유리한, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0020] 또한, 본 발명은, 상기의 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 이용한 전자 강대의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0021] 또한, 본 발명은, 상기의 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 적합하게 이용할 수 있는 마찰 교반 접합 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0022] 더하여, 본 발명은, 상기의 마찰 교반 접합 장치를 갖는 전자 강대의 제조 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0023] 그래서, 발명자들은, 상기의 목적을 달성하기 위해, 예의 검토를 거듭했다. 우선, 발명자들은, 전자 강대의 코일 접합으로서 레이저 용접을 적용하는 경우에, 코일 접합부의 기계적 특성의 열화나 형상의 열화가 생기는 이유를 조사·검토한 결과, 이하의 인식을 얻었다.

[0024] (a) 전술한 바와 같이, 전자 강관의 성분 조성에는, Si가 다량으로, 예를 들면, 구체적으로는, 2.0~5.0질량% 정도 함유되어 있다. Si는, 페라이트 안정화 원소이다. 그 때문에, 전자 강대의 코일 접합에 일반적인 레이저 용접을 적용하면, 용융부인 코일 접합부의 페라이트 결정립, 나아가서는, 열영향부의 페라이트 결정립이 조대화한다. 이에 따라, 코일 접합부의 기계적 특성, 특히, 인성이나 굽힘 강도가 대폭으로 열화하여, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생을 초래한다.

[0025] (b) 또한, 상기한 특허문헌 1~3의 기술에서는, 오스테나이트 안정화 원소인 Ni를 주성분으로 하는 용가재(溶加材)(필러)를 이용한다. 그 때문에, 코일 접합부에서는, 주로 오스테나이트상이 얻어진다. 그러나, 상기한 특허문헌 1~3의 기술에서는, 선행 강대와 후행 강대의 맞댐 겹의 변동을 없애 용융부(용접 금속)에서의 용가재의 용합량과 강관의 용합량을 매우 엄격하게 관리하여, 용융부(용접 금속)에서의 Ni 당량과 Cr 당량의 밸런스를 상시 적정하게 제어할 필요가 있다. 즉, 용융부(용접 금속)에서의 Ni 당량과 Cr 당량의 밸런스가 적정하게 제어되지 않으면, 코일 접합부에 단단하고 깨지기 쉬운 조직인 마르텐사이트상이 형성된다. 이에 따라, 코일 접합부의 기계적 특성, 특히, 인성이 대폭으로 열화한다. 또한, 열영향부에서는, 페라이트 결정립의 조대화에 의해, 코일 접합부의 기계적 특성이 대폭으로 열화한다. 이들 이유에 의해, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생을 초래한다.

[0026] (c) 또한, 상기한 선행 강대와 후행 강대의 맞댐 겹의 변동은, 용접부의 용기 높이(reinforcement height)에 영향을 미친다. 예를 들면, 용접부의 용기 높이가 높아져, 용접부가 과도한 볼록 형상이 되는 경우, 용접부에 부하가 걸리면, 용접 지단부(weld toe portion)에 응력이 집중된다. 그 때문에, 상기한 선행 강대와 후행 강대의 맞댐 겹의 변동은, 이 점에서도, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생의 원인이 된다. 또한, 용접부의 용기는 연삭 등에 의해 제거할 수 있다. 그러나, 이러한 공정의 증가는 생산성의 대폭적인 저하를 초래한다.

[0027] 상기의 점을 근거로, 발명자들이 추가로 여러 가지의 검토를 거듭한 결과, 발명자들은, 전자 강대의 코일 접합으로서 마찰 교반 접합을 적용하는 것에 착상 했다.

[0028] 여기에서, 마찰 교반 접합이란, 회전 톨과 피접합체의 마찰열 및, 피접합체의 소성 유동을 이용한 고상 접합이다. 즉, 회전 톨에 의해 피접합체의 미접합부(접합 예정 영역)를 마찰 교반한다. 피접합체의 미접합부가 마찰열에 의해 가열되면, 소성 유동이 개시된다. 그리고, 소성 유동역과 모재부의 계면이 크게 신장된다. 이에 따라, 산화물이 없는 청정한 계면끼리가 접촉하여, 피접합체가 용융하는 일 없이 접합부가 형성된다. 여기에서, 접합부는, 회전 톨과 피접합체의 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공을 받아 재결정 조직이 되는 영역이고, 교반부라고 칭해지는 경우도 있다. 또한, 접합부에 인접하는 영역에는, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받기는 하지만, 온도나 가공이 불충분하여 재결정에 이르지 않는 조직이 되는 영역이 형성된다. 이 영역을 열 가공 영향부라고 한다. 또한, 피접합체에는, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받지 않는 영역도 존재한다. 이 영역을 모재부라고 한다. 또한, 마찰 교반 접합에 관한 기술이, 예를 들면, 특허문헌 4~13 및 비특허문헌 1에 개시되어 있지만, 이들은 모두, 전자 강대의 코일 접합에 적용하는 것은 아니다.

[0029] 그래서, 발명자들은, 상기의 착상에 기초하여, 추가로 여러 가지의 검토를 거듭한 결과, 이하의 인식을 얻었다.

[0030] (d) 상기 (a)~(c)의 문제를 유리하게 해결하려면, 이하의 점이 중요하다.

[0031] · 접합 방식으로서 소위 양면 마찰 교반 접합을 적용한다.

[0032] · 그 후, 회전 톨의 슬더부의 직경 D(mm)에 대해서, 다음식 (1)의 관계를 만족시킨다.

- [0033] · 또한, 접합 조건을 적절히 제어한다. 특히, 회전 톨의 회전수 RS(회/분), 회전 톨의 솔더부의 직경 D(mm) 및 접합 속도 JS(mm/분)에 의해 나타나는  $RS \times D^3 / JS$ 에 대해서, 다음식 (2)의 관계를 만족시킨다.
- [0034] 이에 따라, 피접합재로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 매우 유효하게 억제된다. 또한, 결함 발생을 억제하면서 접합 속도를 고속도화할 수 있기 때문에, 시공 능률이 우수하고, 생산성의 점에서도 매우 유리하다. 또한, 회전 톨의 내구성의 점에서도 유리하다. 또한, 이하, 접합 공정의 후, 접합부를 냉각 장치에 의해 냉각하는 양면 마찰 교반 접합을, 후(後)냉각식 양면 마찰 교반 접합이라고도 한다.
- [0035]  $4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \dots (1)$
- [0036]  $200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \dots (2)$
- [0037] 여기에서, TJ는,
- [0038] 미접합부가 맞담부인 경우, 제1 전자 강대의 관두께 및 제2 전자 강대의 관두께의 평균값(mm)이고,
- [0039] 미접합부가 겹침부인 경우, 겹침부의 두께(mm)이다.
- [0040] (e) 또한, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 동시에 만족시킨 후에, 접합부 및 열 가공 영향부의 강 조직을 페라이트 상 주체의 조직으로 하고, 또한, 접합부 및 열 가공 영향부의 강 조직의 미세화와, 접합부와 모재부의 경도차의 저감을 동시에 도모하는 것이 적합하다. 구체적으로는, 다음식 (3)~(6)의 관계를 동시에 만족시키는 것이 적합하다.
- [0041] 이에 따라, 피접합재로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 보다 유효하게 억제된다.
- [0042]  $Dsz \leq 100 \mu m \dots (3)$
- [0043]  $Dhaz1 \leq Dbm1 \dots (4)$
- [0044]  $Dhaz2 \leq Dbm2 \dots (5)$
- [0045]  $0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \dots (6)$
- [0046] 여기에서,
- [0047] Dsz는, 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0048] Dhaz1은, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0049] Dhaz2는, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0050] Dbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0051] Dbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0052] Hsz는, 접합부의 경도의 평균값,
- [0053] Hbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0054] Hbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0055] 이다.
- [0056] (f) 또한, 상기식 (3)~(6)의 관계를 동시에 만족하고, 추가로, 다음식 (7) 및 (8)의 관계를 만족하는 조건을 선택하여 접합을 행하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 피접합재로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 보다 유효하게 억제된다.
- [0057]  $0.8 \times TbmL \leq TszL \dots (7)$
- [0058]  $TszH \leq 1.3 \times TbmH \dots (8)$
- [0059] 여기에서,

- [0060] TszL은, 접합부의 두께의 최소값(mm),
- [0061] TszH는, 접합부의 두께의 최대값(mm),
- [0062] TbmL은, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 얇은 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0063] TbmH는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 두꺼운 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0064] 이다. 단, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 동일한 경우에는, TbmL = TbmH가 된다.
- [0065] (g) 더하여, 접합 방식으로서 양면 마찰 교반 접합을 적용하여, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 동시에 만족시킴으로써, 교반능이 보다 높아진다. 그 때문에, 회전 틀의 선단부를 솔더부만으로 구성한 프로브가 없는 회전 틀(이하, 간단히 프로브가 없는 회전 틀이라고도 함)을 사용하는 것이 가능해진다. 즉, 프로브(핀)는, 일반적인 회전 틀(이하, 프로브가 있는 회전 틀이라고도 함)에 있어서, 그의 선단부에 솔더부로부터의 돌출하도록 하여 배치된다. 그 때문에, 프로브에는, 솔더부보다도 큰 응력이 가해져, 파손이나 마모가 생기기 쉽다. 따라서, 프로브가 없는 회전 틀의 사용은, 회전 틀의 내구성이나 수명 연장, 나아가서는 (회전 틀의 마모나 파손에 의한)접합 불량률의 저감이라는 점에서도, 매우 유리해진다. 여기에서, 프로브가 없는 회전 틀로서는, 예를 들면, 회전 틀의 선단면(피접합재와의 접촉면)을, 평면, 볼록형의 곡면, 또는, 오목형의 곡면으로 한 프로브가 없는 회전 틀을 들 수 있다.
- [0066] (h) 또한, 프로브가 없는 회전 틀에서는, 회전 틀의 선단면에, 회전 반대 방향의 소용돌이 형상의 단차부를 형성하는 것이 적합하다. 이에 따라, 소용돌이를 촉진하여 접합 속도를 높여, 시공 능률을 한층 향상할 수 있다.
- [0067] 본 발명은, 상기의 인식에 기초하여, 추가로 검토를 더하여 완성된 것이다.
- [0068] 즉, 본 발명의 요지 구성은 다음과 같다.
- [0069] 1. 피접합체인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를, 서로 대향하는 한 쌍의 회전 틀에 의해 접합하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법으로서,
- [0070] 상기 피접합체의 미접합부에, 상기 회전 틀을 양면으로부터 서로 역방향으로 회전시키면서 압압하고, 상기 회전 틀을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 제1 전자 강대와 상기 제2 전자 강대를 접합하여 접합부를 형성하는, 접합 공정과,
- [0071] 상기 접합부를, 상기 피접합체의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 틀의 접합 방향의 후방에 배치되는 냉각 장치에 의해 냉각하는, 냉각 공정을 구비하고,
- [0072] 상기 피접합체의 미접합부는, 상기 제1 전자 강대의 단부와, 상기 제1 전자 강대에 이어지는 상기 제2 전자 강대의 단부의 맞댐부 또는 겹침부이고,
- [0073] 상기 회전 틀과 상기 냉각 장치를 연동시켜 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 접합 공정과 상기 냉각 공정을 연속하여 행하고,
- [0074] 또한, 상기 회전 틀의 솔더부의 직경 D(mm)가, 다음식 (1)의 관계를 만족하고, 또한,
- [0075] 상기 회전 틀의 회전수 RS(회/분), 상기 회전 틀의 솔더부의 직경 D(mm) 및 접합 속도 JS(mm/분)에 의해 나타나는  $RS \times D^3 / JS$ 가, 다음식 (2)의 관계를 만족하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0076]  $4 \times TJ \leq D \leq 10 \times TJ \quad \dots (1)$
- [0077]  $200 \times TJ \leq RS \times D^3 / JS \leq 2000 \times TJ \quad \dots (2)$
- [0078] 여기에서, TJ는,
- [0079] 미접합부가 맞댐부인 경우, 제1 전자 강대의 판두께 및 제2 전자 강대의 판두께의 평균값(mm)이고,
- [0080] 미접합부가 겹침부인 경우, 겹침부의 두께(mm)이다.
- [0081] 2. 상기 접합 공정에 있어서, 상기 제1 전자 강대와 상기 제2 전자 강대의 접합에 의해 형성되는 상기 접합부 및 열 가공 영향부의 강 조직이 각각, 페라이트상 주체의 조직이 되고, 또한, 다음식 (3)~(6)의 관계를 만족하는 조건으로, 접합을 행하는, 상기 1에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

- [0082]  $Dsz \leq 100\mu m$  . . . (3)
- [0083]  $Dhaz1 \leq Dbm1$  . . . (4)
- [0084]  $Dhaz2 \leq Dbm2$  . . . (5)
- [0085]  $0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2$  . . . (6)
- [0086] 여기서,
- [0087]  $Dsz$ 는, 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0088]  $Dhaz1$ 은, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0089]  $Dhaz2$ 는, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0090]  $Dbm1$ 은, 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0091]  $Dbm2$ 는, 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0092]  $Hsz$ 는, 접합부의 경도의 평균값,
- [0093]  $Hbm1$ 은, 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0094]  $Hbm2$ 는, 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0095] 이다.
- [0096] 3. 상기 접합 공정에 있어서, 다음식 (7) 및 (8)의 관계를 만족하는 조건으로 접합을 행하는, 상기 1 또는 2에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0097]  $0.8 \times TbmL \leq TszL$  . . . (7)
- [0098]  $TszH \leq 1.3 \times TbmH$  . . . (8)
- [0099] 여기서,
- [0100]  $TszL$ 은, 접합부의 두께의 최소값(mm),
- [0101]  $TszH$ 는, 접합부의 두께의 최대값(mm),
- [0102]  $TbmL$ 은, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 얇은 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0103]  $TbmH$ 는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 두꺼운 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0104] 이다. 단, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 동일한 경우에는,  $TbmL = TbmH$ 가 된다.
- [0105] 4. 상기 접합 공정에 있어서, 상기 회전 틀의 솔더부 간의 극간  $G$ (mm)가 다음식 (9)의 관계를 만족하는, 상기 1~3 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0106]  $0.4 \times TJ \leq G \leq 0.9 \times TJ$  . . . (9)
- [0107] 5. 상기 회전 틀이, 프로브가 없는 회전 틀인, 상기 1~4 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0108] 6. 상기 회전 틀의 선단면이, 평면, 볼록형의 곡면, 또는, 오목형의 곡면인, 상기 5에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0109] 7. 상기 회전 틀의 선단면이, 회전 반대 방향의 소용돌이 형상의 단차부를 갖는, 상기 5 또는 6에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0110] 8. 상기 소용돌이 형상의 단차부가, 상기 회전 틀의 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 낮아지는, 상기 7에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0111] 9. 상기 소용돌이 형상의 단차부가, 상기 회전 틀의 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 높아지는, 상기 7에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0112] 10. 상기 회전 틀의 경사 각도  $\alpha$ 가  $0^\circ$  인, 상기 5~9 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.

- [0113] 11. 상기 냉각 공정에 있어서, 다음식 (10)~(12)의 관계를 만족하는 조건으로 냉각을 행하는, 상기 1~10 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0114]  $CR_{W=0} \geq 15 \dots (10)$
- [0115]  $CR_{W=0.2D} \geq 15 \dots (11)$
- [0116]  $CR_{W=0.5D} \geq 15 \dots (12)$
- [0117] 여기에서,  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 는 각각,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서 450℃까지의 냉각 속도(℃/s)이다. 또한,  $W$ 는, 피접합재의 접합 중앙선으로부터 접합 수직 방향으로 이간하는 거리(mm)이다.  $D$ 는, 회전 틀의 슐더부의 직경(mm)이다.
- [0118] 12. 상기 냉각 장치가, 불활성 가스의 분사 장치, 액체의 분사 장치, 또는, 이들을 조합한 장치인, 상기 1~11 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법.
- [0119] 13. 상기 1~12 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 의해 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하여, 접합 강대를 얻는 공정과,
- [0120] 당해 접합 강대에 냉간 압연을 실시하여, 냉간 강대를 얻는 공정을 구비하는, 전자 강대의 제조 방법.
- [0121] 14. 상기 1~12 중 어느 것에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 이용하는, 마찰 교반 접합 장치로서,
- [0122] 피접합재를 파지하는, 파지 장치와,
- [0123] 서로 대향하는 한 쌍의 회전 틀과,
- [0124] 상기 회전 틀의 구동 장치와,
- [0125] 상기 피접합재의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 틀의 접합 방향의 후방에 배치되는, 냉각 장치와,
- [0126] 상기 파지 장치, 상기 회전 틀의 구동 장치 및 상기 냉각 장치의 동작 제어 장치를 구비하는, 마찰 교반 접합 장치.
- [0127] 15. 상기 피접합재로 형성되는 접합부의 양면에 있어서  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 를 측정하는, 냉각 속도 측정 장치를 구비하는, 상기 14에 기재된 마찰 교반 접합 장치.
- [0128] 여기에서,  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 는 각각,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서 450℃까지의 냉각 속도(℃/s)이다. 또한,  $W$ 는, 피접합재의 접합 중앙선으로부터 접합 수직 방향으로 이간하는 거리(mm)이다.  $D$ 는, 회전 틀의 슐더부의 직경(mm)이다.
- [0129] 16. 상기 냉각 장치가, 불활성 가스의 분사 장치, 액체의 분사 장치, 또는, 이들을 조합한 장치인, 상기 14 또는 15에 기재된 전자 강대의 마찰 교반 접합 장치.
- [0130] 17. 상기 14~16 중 어느 것에 기재된 마찰 교반 접합 장치를 구비하는, 전자 강대의 제조 장치.

### 발명의 효과

- [0132] 본 발명에 의하면, 피접합재로서 전자 강대를 사용하는 경우라도, 코일 접합부의 기계적 특성의 열화나 형상의 열화가 생기지 않고, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 유효하게 억제된다. 특히, 접합 시에 고온에서의 소성 가공에 의해 생긴 페라이트 재결정립의 조대화를 방지할 수 있기 때문에, 코일 접합부의 파단 발생을 매우 유효하게 억제하는 것이 가능해져, 매우 유리하다. 또한, 이에 수반하여, 결함 발생을 억제하면서 접합 속도를 고속도화하는 것이 가능해져, 높은 시공 능률이 실현된다. 이에 따라, 전자 강관의 생산성의 더 한층의 향상을 도모할 수 있어, 산업상의 이용 가치는 매우 크다. 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는 프로브가 없는 회전 틀을 사용할 수 있기 때문에, 회전 틀의 더 한층의 내구성 향상, 나아가서는 접합 불량률의 저감이라는 점에서도 매우 유리하다.

### 도면의 간단한 설명

- [0133] 도 1a는 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 설명하는 개략도이고, 후냉각식

양면 마찰 교반 접합에 의한 맞댐 접합의 일 예를 나타내는 측면 사시도이다.

도 1b는 도 1a의 A-A 화살표도이다.

도 1c는 도 1a의 상면도이다.

도 1d는 도 1a의 접합 중앙선 위치에 있어서의 단면도(도 1c의 A-A 화살표도)이다.

도 2a는 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 있는 회전 툴의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 2b는 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 있는 회전 툴의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(선단 평면 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(선단 볼록형 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(선단 오목형 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(단차부를 형성한 선단 평면 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(단차부를 형성한 선단 볼록형 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 프로브가 없는 회전 툴(단차부를 형성한 선단 오목형 회전 툴)의 형상의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 9는 단차부를 확정하는 소용돌이가 2개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치(묘사)하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 10은 단차부를 확정하는 소용돌이가 3개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치(묘사)하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 11은 단차부를 확정하는 소용돌이가 4개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치(묘사)하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 12는 단차부를 확정하는 소용돌이가 5개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치(묘사)하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 13은 단차부를 확정하는 소용돌이가 6개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치(묘사)하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 14는 계단 형상의 단차부를 형성한 선단 볼록형 회전 툴의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 15는 홈 형상의 단차부를 형성한 선단 볼록형 회전 툴의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 16은 홈 형상의 단차부를 형성한 선단 평면 회전 툴의 일 예를 나타내는 개략도이다.

도 17은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 의해 얻어지는, 전자 강대의 접합 조인트의 개략도이다.

도 18은 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 설명하는 개략도이고, 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에 의한 맞댐 접합의 일 예를 나타내는 상면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0134] (발명을 실시하기 위한 형태)

[0135] 본 발명을, 이하의 실시 형태에 기초하여 설명한다.

- [0136] [1] 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법
- [0137] 우선, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을, 도 1a~d를 이용하여 설명한다. 도 1a~d는, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법을 설명하는 개략도이고, 도 1a는 측면 사시도, 도 1b는 도 1a의 A-A 화살표도, 도 1c는 도 1a의 상면도, 도 1d는 도 1a의 접합 중앙선 위치에 있어서의 단면도이다.
- [0138] 도면 중, 부호 1이 제1 전자 강대(피접합재), 2가 제2 전자 강대(피접합재), 3-1이 회전 틀(앞면측 회전 틀), 3-2가 회전 틀(이면측 회전 틀), 4가 접합부, 5-1 및 5-2가 솔더부(솔더), 6-1 및 6-2가 프로브(핀), 7이 파지 장치, 9-1 및 9-2가 선단부, 10-1이 냉각 장치(앞면측 냉각 장치), 10-2가 냉각 장치(이면측 냉각 장치), 11이 회전 틀의 구동 장치, 12가 동작 제어 장치이다. 또한, 도 1a에서는, 파지 장치의 도시는 생략하고 있다. 또한,  $\alpha$ 는 회전 틀의 경사 각도( $^{\circ}$ ),  $a$ 는 프로브부의 직경(이하, 핀 지름이라고도 함)(mm),  $b$ 는 프로브부의 길이(이하, 핀 길이라고도 함)(mm),  $D$ 는 회전 틀의 솔더부의 직경(mm),  $g$ 는 프로브 간의 극간(mm),  $G$ 는 회전 틀의 솔더부 간의 극간이고,  $H$  및  $I$ 는 냉각 장치에 의한 냉각(예정) 영역을 나타내고 있다. 또한, 보기 쉬움의 관점에서, 도 1c에서는, 10-1의 냉각 장치(표면측 냉각 장치)를 파선으로 나타내고 있다. 또한, 앞면(측)의 기재에 대해서, 표면과 구별하기 위해, 최초로 나오는 개소 등에서는 앞면이라고 표기하고 있다.
- [0139] 또한, 도 1a~d에서는,
- [0140] 접합 방향(회전 틀의 진행 방향),
- [0141] 접합 수직 방향(접합 방향에 수직이고 또한, 관두께 방향에 수직인 방향, 도 1a~d에서는 접합부의 폭방향 및 전자 강대의 진행 방향과 일치함) 및,
- [0142] 관두께 방향(피접합재의 표면에 대하여 수직인 방향)
- [0143] 에 의해, 각 부의 배치 등을 나타내고 있다.
- [0144] 예를 들면, 도 1b에서는, 연직 방향이 관두께 방향이다. 수평 방향이, 접합 수직 방향이다. 지면 앞쪽측의 방향이, 접합 방향이다. 즉, 도 1b에 나타내는 면 내에는, 접합 수직 방향과 관두께 방향이 포함된다. 또한, 10-1 및 10-2의 냉각 장치는, 3-1 및 3-2의 회전 틀보다 지면 앞쪽측에 위치한다. 마찬가지로, 도 1c에 있어서 파선으로 나타내는 10-1의 냉각 장치는, 냉각 영역  $H$  및  $I$ 보다 지면 앞쪽측에 위치한다.
- [0145] 또한, 여기에서 말하는 전자 강대란, 전자 강관의 제조용 소재가 되는 중간 제품을 의미하고, 특히, 열간 압연 종료 후에서 1차 재결정을 위한 열처리(예를 들면, 탈탄 어닐링 또는 1차 재결정 어닐링) 전까지의 단계에 있어서의 중간 제품을 가리킨다. 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 방법으로 제조되는 전자 강대는, 후술하는 바와 같이, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합한 후, 냉간 압연하여 얻어지는 것이다. 이하, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합한 상태의 전자 강대를 접합 강대, 당해 접합 강대를 냉간 압연한 전자 강대를 냉연 강대라고도 칭한다.
- [0146] 그리고, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법은, 전술한 바와 같이, 전자 강대의 코일 접합으로서 후냉각식 양면 마찰 교반 접합을 적용한 후에, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 동시에 만족시키는 것을 특징으로 하는 것이다.
- [0147] 보다 구체적으로는, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법은,
- [0148] 연속 냉간 압연 라인에 있어서, 피접합재인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를, 서로 대향하는 한 쌍의 회전 틀에 의해 접합하는, 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법으로서,
- [0149] 상기 피접합재의 미접합부에, 상기 회전 틀을 양면으로부터 서로 역방향으로 회전시키면서 압압하고, 상기 회전 틀을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 제1 전자 강대와 상기 제2 전자 강대를 접합하여 접합부를 형성하는, 접합 공정과,
- [0150] 상기 접합부를, 상기 피접합재의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 틀의 접합 방향의 후방에 배치되는 냉각 장치에 의해 냉각하는, 냉각 공정을 구비하고,
- [0151] 상기 피접합재의 미접합부는, 상기 제1 전자 강대의 단부와, 상기 제1 전자 강대에 이어지는 상기 제2 전자 강대의 단부의 맞댐부 또는 겹침부이고,
- [0152] 상기 회전 틀과 상기 냉각 장치를 연동시켜 접합 방향으로 이동시킴으로써, 상기 접합 공정과 상기 냉각 공정을

연속하여 행하고,

- [0153] 또한, 상기 회전 톨의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$ 가, 상기식 (1)의 관계를 만족하고, 또한,
- [0154] 상기 회전 톨의 회전수  $RS(\text{회/분})$ , 상기 회전 톨의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$  및 접합 속도  $JS(\text{mm/분})$ 에 의해 나타나는  $RS \times D^3 / JS$ 가, 상기식 (2)의 관계를 만족한다는 것이다.
- [0155] 여기에서, 조인트 형식의 적합한 예로서는, 맞댐 접합 및 겹침 접합을 들 수 있다.
- [0156] 맞댐 접합이란, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 단면끼리를 대향시킨 상태로, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 단면(맞댐면)을 포함하는 맞댐부에 회전 톨을 회전시키면서 압압한다. 그리고, 그 상태로, 회전 톨을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하는 것이다.
- [0157] 겹침 접합이란, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 단부의 적어도 일부를 서로 겹치고, 겹침부에 회전 톨을 회전시키면서 압압한다. 그리고, 그 상태로, 회전 톨을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하는 것이다.
- [0158] 맞댐 접합과 겹침 접합은 미접합부의 형태가 상이할 뿐이고, 그 외의 장치의 구성은 기본적으로 동일하기 때문에, 여기에서는, 도 1a~d와 같은, 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에 의해, 맞댐 접합을 행하는 경우를 예시하여 설명한다. 후냉각식 양면 마찰 교반 접합 방법은, 피접합체인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를, 서로 대향하는 한 쌍의 회전 톨을 이용해 접합하여 피접합체에 접합부를 형성한 후, 당해 접합부를 회전 톨의 접합 방향의 후방에 배치되는 냉각 장치에 의해 냉각하는, 마찰 교반 접합 방법이다. 당해 후냉각식 양면 마찰 교반 접합 방법에 의해, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합한다.
- [0159] 이러한 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에서는, 예를 들면, 도 1a에 나타내는 바와 같이,
- [0160] 피접합체를 파지하는, 파지 장치(도시하지 않음)와,
- [0161] 서로 대향하는 한 쌍의 회전 톨과,
- [0162] 상기 회전 톨의 구동 장치와,
- [0163] 상기 피접합체의 적어도 한쪽의 면(측)에 있어서 상기 회전 톨의 접합 방향의 후방에 배치되는, 냉각 장치와,
- [0164] 상기 파지 장치, 상기 회전 톨의 구동 장치 및 상기 냉각 장치의 동작 제어 장치를 구비하는 마찰 교반 접합 장치를 이용한다.
- [0165] 동작 제어 장치에서는, 예를 들면, 회전 톨의 경사 각도  $\alpha$ , 회전 톨의 선단부의 위치 및 선단부(프로브)끼리의 사이의 거리  $g$ (이하, 프로브 간의 극간  $g$ 라고도 함), 회전 톨의 솔더부 간의 극간  $G$ , 접합 속도(및 회전 톨에 연동하여 이동하는 냉각 장치의 접합 방향으로의 이동 속도), 압입 하중, 회전 톨의 회전수, 회전 톨 토크, 그리고, 냉각 장치의 출력 등을 제어한다.
- [0166] 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에서는, 마찰 교반 접합 장치의 회전 톨을, 피접합체인 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대(이하, 간단히 피접합체라고도 함)의 양면에 각각 배치한다. 또한, 냉각 장치를, 피접합체의 적어도 한쪽의 면에 있어서 회전 톨의 접합 방향의 후방에 배치한다. 또한, 피접합체의 표면측(연직 방향 상측)에 배치되는 회전 톨을, 표면측 회전 톨이라고 칭하고, 피접합체의 이면측(연직 방향 하측)에 배치되는 회전 톨을, 이면측 회전 톨이라고 칭하는 경우가 있다. 또한, 피접합체의 표면측(연직 방향 상측)에 배치되는 냉각 장치를, 표면측 냉각 장치라고 칭하고, 피접합체의 이면측(연직 방향 하측)에 배치되는 냉각 장치를, 이면측 냉각 장치라고 칭하는 경우가 있다. 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대는, 도면 중에 나타낸 접합 중앙선에 평행이 되도록 배치되고, 각각 파지 장치로 파지된다.
- [0167] 여기에서, 접합 중앙선은, 접합 시의 회전 톨의 회전축의(피접합체의 표면에서의) 통과 설정(목적) 위치를 연결하는 선이고, 접합 방향과 평행이 된다. 또한, 접합 중앙선은, 접합 시의 회전 톨의 회전축의(피접합체의 표면에서의) 궤적이라고 할 수도 있고, 통상, 접합부의 폭방향의 중심 위치를 통과한다. 맞댐 접합의 경우, 당해 위치는, 예를 들면, 도 1에 나타내는 바와 같이, 제1 전자 강대의 단부(후단)와 제2 전자 강대의 단부(선단)의 맞댐부의 접합 수직 방향의 중심 위치가 된다. 환언하면, 당해 위치는, 접합 수직 방향에 있어서의 제1 전자 강대의 단부(후단)와 제2 전자 강대의 단부(선단)의 중간점이 된다. 또한, 겹침 접합의 경우, 당해 위치는, 예를 들면, 제1 전자 강대의 단부(후단)와 제2 전자 강대의 단부(선단)의 겹침부의 폭(접합 수직 방향의 폭)의 중심 위치가 된다.

- [0168] 그리고, 접합 중앙선 상에 위치하는 피접합재의 미접합부(접합 예정 영역), 즉, 제1 전자 강대의 단부(후단)와 제2 전자 강대의 단부(선단)의 맞댐부에, 회전 톨을 양면으로부터 서로 역방향으로 회전시키면서 압압한다. 그리고, 그 상태로, 회전 톨을 접합 방향으로 이동시킨다. 이 때, 피접합재와 회전 톨의 마찰열에 의해, 피접합재를 연화시킨다. 그리고, 그 연화한 부위를 회전 톨로 교반함으로써, 소성 유동을 일으키게 하여, 피접합재인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하여, 접합부를 얻는다. 이어서, 접합부를, 적어도 한쪽의 면에 있어서, 접합 방향에 있어서 회전 톨의 후방에 배치되는 냉각 장치에 의해 냉각한다. 특히, 접합 후에 냉각 장치로 접합부를 냉각함으로써, 접합 시에 고온에서의 소성 가공에 의해 생긴 페라이트 재결정립의 조대화를 방지할 수 있다. 즉, 매우 미세한 페라이트 조직을 갖는 접합부가 얻어져, 조인트 특성이 향상한다. 그 결과, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생 및 결함 발생이 매우 유효하게 억지된다. 또한, 접합 속도를 고속도화할 수 있어, 높은 시공 능률을 실현하는 것이 가능해진다. 또한, 접합이 완료된 부분에는, 접합부가 형성된다. 또한, 접합부에 인접하여, 열 가공 영향부가 형성된다.
- [0169] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법의 접합 공정 및 냉각 공정에 대해서, 자세하게 설명한다.
- [0170] [접합 공정]
- [0171] 접합 공정에서는, 피접합재의 미접합부에, 회전 톨을 양면으로부터 서로 역방향으로 회전시키면서 압압한다. 그리고, 그 상태로 회전 톨을 접합 방향으로 이동시킴으로써, 피접합재인 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하여, 접합부를 형성한다.
- [0172] 그리고, 이 접합 공정에서는,
- [0173] · 회전 톨의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$ 에 대해서, 상기식 (1)의 관계를 만족시키고, 또한,
- [0174] · 회전 톨의 회전수  $RS(\text{회/분})$ , 회전 톨의 솔더부의 직경  $D(\text{mm})$  및 접합 속도  $JS(\text{mm/분})$ 에 의해 나타나는  $RS \times D^3/JS$ 에 대해서, 상기식 (2)의 관계를 만족시키는 것이 중요하다.
- [0175] 즉, 회전 톨의 솔더부의 직경  $D$ (이하, 간단히 솔더 지름  $D$ 라고도 함)를, 미접합부의 두께에 따라서 적절히 제어한다. 이에 따라, 회전 톨과 피접합재인 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대와의 사이에서 생기는 마찰열에 의한 온도 상승과, 마찰력에 의한 전단 응력을 피접합재에 유효하게 부여할 수 있다. 여기에서, 솔더 지름  $D$ 가  $4 \times TJ(\text{mm})$  미만이면, 충분한 소성 유동이 얻어지지 않아, 목표로 하는 기계적 특성을 얻는 것이 곤란해지는 경우가 있다. 한편, 솔더 지름  $D$ 가  $10 \times TJ(\text{mm})$ 를 초과하면, 소성 유동이 생기는 영역이 불필요하게 확장되어, 접합부에 과도한 열량이 투입된다. 이에 따라, 접합부의 재결정 조직이 조대화하여, 목표로 하는 기계적 특성을 얻는 것이 곤란해지는 경우가 있다. 그 때문에, 솔더 지름  $D$ 에 대해서, 상기식 (1)의 관계를 만족시킨다.
- [0176] 또한, 프로브가 없는 회전 톨의 경우, 솔더 지름  $D$ 는, 도 3~도 5에 나타내는 바와 같이, 선단 지름이라고 할 수도 있다. 선단 지름은, 회전축에 수직인 면에 있어서의 회전 톨의 선단면의 직경(회전 톨의 선단면을, 회전축에 평행한 방향으로 투영했을 때의 투영 영역의 직경)이다.
- [0177] 또한,  $RS \times D^3/JS$ 는, 단위 접합 길이당의 발열량과 상관되는 파라미터이다. 그리고,  $RS \times D^3/JS$ 의 범위를  $200 \times TJ \sim 2000 \times TJ$ 로 함으로써, 회전 톨과 피접합재인 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 사이에서 생기는 마찰열에 의한 온도 상승과, 마찰력에 의한 전단 응력을 피접합재에 유효하게 부여할 수 있다. 여기에서,  $RS \times D^3/JS$ 가  $200 \times TJ$  미만에서는, 발열량이 불충분해지는 경우가 있다. 그 때문에, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 맞댐면에 야금적으로 접합된 상태의 접합 계면을 형성할 수 없어, 목표로 하는 기계적 특성을 얻는 것이 곤란해지는 경우가 있다. 한편,  $RS \times D^3/JS$ 가  $2000 \times TJ$ 를 초과하면, 마찰 교반에 의한 발열량이 과대해져, 접합부에 과도한 열량이 투입된다. 이에 따라, 접합부의 피크 온도(최고 도달 온도)가 상승하거나, 냉각 속도가 저하하거나 하여, 접합부의 재결정 조직이 조대화한다. 그 결과, 목표로 하는 기계적 특성을 얻는 것이 곤란해지는 경우가 있다. 그 때문에,  $RS \times D^3/JS$ 에 대해서는, 상기식 (2)의 관계를 만족시킨다.  $RS \times D^3/JS$ 는, 바람직하게는  $240 \times TJ$  이상이다. 또한,  $RS \times D^3/JS$ 는, 바람직하게는  $1200 \times TJ$  이하이다.
- [0178] 또한, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨에서, 회전 톨의 회전수  $RS$  및/또는 솔더 지름  $D$ 가 상이한 경우에는, 표면측 회전 톨 및 이면측 회전 톨의 각각에서, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0179] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강

대의 접합에 의해 형성되는 접합부 및 열 가공 영향부의 강 조직이 각각, 페라이트상 주체의 조직이 되고, 또한, 상기식 (3)~(6)의 관계를 만족하는 조건으로, 접합을 행하는 것이 적합하다. 이에 따라, 피접합체로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 보다 유효하게 억제된다.

[0180] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는, 상기식 (7) 및 (8)의 관계를 만족하는 조건으로 접합을 행하는 것이 적합하다. 이에 따라, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 더욱 유효하게 억제된다.

[0181] 또한, 피접합체(제1 전자 강대 및 제2 전자 강대), 접합부 및 열 가공 영향부, 그리고, 상기식 (3)~(8) 등에 대한 설명은, 후술하는 [2] 전자 강대의 접합 조인트에 기재하는 바와 같다.

[0182] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는, 회전 톨의 솔더부 간의 극간 G(mm)가 다음식 (9)의 관계를 만족하는 것이 바람직하다.

[0183] 
$$0.4 \times TJ \leq G \leq 0.9 \times TJ \quad \dots (9)$$

[0184] 즉, 양면 마찰 교반 접합에서는, 접합 시의 결함 발생을 억제하면서 접합 속도의 고속도화를 달성하는 관점에서, 회전 톨의 솔더부 간의 극간 G(이하, 간단히 솔더부 간 극간 G라고도 함)를 적절히 제어하는 것이 유리하다. 또한, 솔더부 간 극간 G는, 판두께 방향에 있어서의 표면측 회전 톨의 솔더부와 이면측 회전 톨의 솔더부의 이간 거리라고도 할 수 있다. 특히, 솔더부 간 극간 G가  $0.4 \times TJ \sim 0.9 \times TJ$ 의 범위 내에 있으면, 서로 대향하는 회전 톨의 솔더부가, 피접합체의 표면측 및 이면측에 충분한 하중으로 압압되고, 접합부에 있어서의 발열 및 판두께 방향으로의 소성 유동이 충분히 촉진된다. 이에 따라, 보다 양호한 상태의 접합 조인트가 얻어진다. 한편, 솔더부 간 극간 G가  $0.9 \times TJ$ 를 초과하면, 회전 톨의 솔더부가, 피접합체의 표면측 및 이면측에 충분한 하중으로 압압되지 않아, 상기의 효과가 얻어지지 않는 경우가 있다. 또한, 솔더부 간 극간 G가  $0.4 \times TJ$  미만이면, 접합부의 표면 및 이면이 과도한 오목형이 되어, 조인트 강도에 악영향을 미치는 경우가 있다. 그 때문에, 솔더부 간 극간 G는,  $0.4 \times TJ \sim 0.9 \times TJ$ 의 범위로 하는 것이 바람직하다. 솔더부 간 극간 G는, 보다 바람직하게는  $0.5 \times TJ$  이상이다. 또한, 솔더부 간 극간 G는 보다 바람직하게는  $0.8 \times TJ$  이하이다.

[0185] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는, 회전 톨의 경사 각도  $\alpha$ 는 특별히 한정되지 않고, 예를 들면, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨의 양쪽에 있어서, 다음식 (13)의 관계를 만족하는 것이 적합하다.

[0186] 
$$0^\circ \leq \alpha \leq 4^\circ \quad \dots (13)$$

[0187] 여기에서,  $\alpha$ 는, 접합 방향과 판두께 방향(피접합체의 표면에 대하여 수직인 방향)을 포함하는 면에 있어서의, 회전 톨의 회전축(이하, 톨의 회전축이라고도 함)의 판두께 방향(피접합체의 표면에 대하여 수직인 방향)에서의 경사 각도이다. 또한, 회전 톨의 선단부가 접합 방향에 대하여 선행하는 방향(의 각도)을 +로 한다.

[0188] 또한, 양면 마찰 교반 접합 방법에서 일반적으로 사용되는 프로브가 있는 회전 톨에서는, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨의 양쪽에 있어서, 톨의 회전축을 경사시킨다. 즉,  $0^\circ < \alpha$ 로 하는 것이 보다 적합하다. 이에 따라, 프로브의 선단이 접합 방향에 대하여 선행하기 때문에, 회전 톨에 대한 부하를, 회전축 방향으로 압축되는 분력으로 하여, 회전 톨로 받을 수 있다. 그 결과, 굽힘 방향의 힘이 저감되어, 회전 톨의 파괴 리스크가 저감된다. 따라서, 프로브가 있는 회전 톨을 사용하는 경우,  $0^\circ < \alpha$ 로 하는 것이 보다 적합하다. 또한,  $\alpha \leq 2^\circ$ 로 하는 것이 보다 적합하다.

[0189] 한편, 프로브가 없는 회전 톨에서는, 프로브의 국부적인 응력 집중에 의한 파손을 고려할 필요가 없다. 그 때문에, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨의 양쪽에 있어서, 회전 톨의 경사 각도  $\alpha$ 를  $0^\circ$ , 즉, 접합 방향과 판두께 방향(피접합체의 표면에 대하여 수직인 방향)을 포함하는 면에 있어서, 톨의 회전축이 판두께 방향과 평행이 되도록 하는 것이 보다 적합하다. 이에 따라, 접합부의 표리면이 오목형이 되어, 피접합체의 두께에 대한 접합부의 두께의 비가 저하한다. 그 결과, 조인트 강도에 악영향을 미치는 경향을 회피할 수 있다. 또한, 회전 톨의 경사 각도  $\alpha$ 를 부여·설정하기 위한 장치의 제어 기구를 생략할 수 있는 등의 메리트도 있다. 또한, 이 경우  $\pm 0.3^\circ$ 가 적합한 허용 범위이다.

[0190] 상기 이외의 조건에 대해서는, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 만족하는 조건이면, 특별히 한정되지 않고, 상법에 따르면 좋다.

[0191] 예를 들면, 회전 톨의 회전수는, 바람직하게는 300~9000r/min(회/분)이다. 회전 톨의 회전수를 당해 범위 내

로 함으로써, 표면 형상을 양호하게 유지하면서 과제인 열량의 투입에 의한 기계적 특성의 저하를 억제할 수 있기 때문에, 유리하다. 회전 톨의 회전수는, 보다 바람직하게는 400r/min 이상이다. 또한, 회전 톨의 회전수는, 보다 바람직하게는 8000r/min 이하이다.

- [0192] 접합 속도는, 바람직하게는 800~5000mm/min(mm/분)이다. 접합 속도는, 보다 바람직하게는 1000mm/min 이상, 4000mm/min 이하이다.
- [0193] 회전 톨의 선단부의 위치나 압입 하중, 회전 톨 토크, 프로브 간의 극간 등은, 상법(常法)에 따라, 적절히, 설정하면 좋다.
- [0194] 또한, 도 1a~d에 나타내는 바와 같이, 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에서는, 표면측 회전 톨의 회전 방향과 이면측 회전 톨의 회전 방향을, 피접합재의 표면측(또는 이면측)으로부터 보아 역방향으로 한다. 또한, 표면측 회전 톨의 회전수와 이면측 회전 톨의 회전수는, 동일하게 하는 것이 바람직하다. 이에 따라, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨로부터 피접합재에 가해지는 회전 토크를 상쇄할 수 있다. 그 결과, 한쪽의 면으로부터 미접합부를 압입하여 접합하는 편면 마찰 교반 접합법과 비교하여, 피접합재를 구속하는 지그의 구조를 간략화하는 것이 가능해진다.
- [0195] 또한, 표면측 회전 톨의 회전 방향과 이면측 회전 톨의 회전 방향을, 피접합재의 표면측(또는 이면측)으로부터 보아 동방향으로 하면, 한쪽의 회전 톨에 대한 다른 한쪽의 회전 톨의 상대 속도는 제로에 근접한다. 그 결과, 피접합재의 소성 유동이 균질 상태에 근접하여 소성 변형도 작아진다. 그 때문에, 재료의 소성 변형에 의한 발열도 얻어지지 않게 되기 때문에, 양호한 접합 상태를 달성하는 것이 어려워진다. 따라서, 양호한 접합 상태를 달성하는 데에 충분한 온도 상승과 전단 응력을 피접합재의 판두께 방향에 대하여 균질적으로 얻는 관점에서, 표면측 회전 톨의 회전 방향과 이면측 회전 톨의 회전 방향을, 피접합재의 표면측(또는 이면측)으로부터 보아 역방향으로 한다.
- [0196] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 사용하는 회전 톨에 대해서도 상기식 (1)의 관계를 만족하는 것이면, 특별히 한정되지 않고, 상법에 따르면 좋다.
- [0197] 예를 들면, 회전 톨의 선단부는, 접합 시에 피접합재인 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대와 접촉한다. 그 때문에, 회전 톨의 선단부는, 접합 시에 노출되는 고온 상태에 있어서, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대보다도 단단한 재질로 형성된다. 이에 따라, 접합 시에 회전 톨은, 선단부의 형상을 보존유지한 채로, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대에 변형을 더할 수 있다. 그 결과, 높은 교반능을 지속적으로 실현할 수 있어, 적절한 접합이 가능해진다. 또한, 회전 톨의 선단부, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 경도는, 고온 비커스 경도 시험 방법에 의해 측정하여, 비교하면 좋다. 또한, 회전 톨의 선단부만을, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대보다도 단단한 재질로 형성해도 좋다. 또한, 회전 톨 전체를, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대보다도 단단한 재질로 형성해도 좋다.
- [0198] 도 2a 및 b에, 프로브가 있는 회전 톨의 예를 각각 나타낸다. 또한, 도 2a 및 b에 나타내는 바와 같이, 프로브가 있는 회전 톨은, 회전 톨의 선단부가, 솔더부(도면 중의 솔더 지름으로 나타나는 범위)와, 당해 솔더부에 배치되고, 당해 솔더부와 회전축을 공유하는 프로브(도면 중의 핀 지름으로 나타나는 범위)를 구비하는 경우의 형상을 나타낸다.
- [0199] 도 2a에 나타내는 회전 톨의 예에서는, 회전 톨의 형상은, 솔더 지름 D: 13mm, 핀 지름: 4mm, 핀 길이: 0.6mm, 오목면 깊이(도시하지 않음): 0.3mm이다.
- [0200] 도 2b에 나타내는 회전 톨의 예에서는, 회전 톨의 형상은, 솔더 지름 D: 27mm, 핀 지름: 8mm, 핀 길이: 0.9mm, 오목면 깊이(도시하지 않음): 0.3mm이다.
- [0201] 프로브가 있는 회전 톨에 있어서, 솔더부는, 대략 평면 또는 완만한 곡면에 의해 형성된 평탄한 형상을 나타낸다. 솔더부는, 접합 시에 회전하면서, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대와 접촉하여, 마찰열을 발생시키는 기능을 갖는다. 또한, 솔더부는, 열에 의해 연화한 부위를 압입함으로써 재료의 이산을 방지하고, 회전 방향으로의 소성 유동을 촉진시키는 기능을 갖는다.
- [0202] 프로브는, 솔더부와 불연속인 형상이 되고, 피접합재(도시하지 않음)를 향하여 대략 수직으로 돌출된 형상을 나타낸다. 프로브는, 접합 시에, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 연화부에 있어서 판두께 중심 방향으로 침입함으로써, 판두께 중심부 근방의 교반능을 향상시키는 기능을 갖는다. 또한, 프로브는, 통상, 솔더부의 중심에 위치한다.

- [0203] 솔더 지름 D(mm)에 대해서는, 전술한 바와 같이, 상기식 (1)의 관계를 만족시킨다. 또한, 회전 톨의 핀 지름 및 핀 길이 등은 특별히 한정되지 않고, 상법에 따라, 적절히 설정하면 좋다. 예를 들면, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 상이한 경우에 맞담 접합할 때에는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께의 평균값을 고려하여, 상법에 따른 회전 톨의 핀 지름 및 핀 길이 등을 설정하면 좋다. 또한, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 겹침 접합할 때에는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께의 합계값을 고려하여, 상법에 따른 회전 톨의 핀 지름 및 핀 길이 등을 설정하면 좋다.
- [0204] 또한, 전술한 바와 같이, 프로브는, 접합 시에, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 연화부에 있어서 판두께 중심 방향으로 침입함으로써, 판두께 중심부 근방에서의 교반능을 향상시키는 기능을 갖는다. 그러나, 프로브에는, 솔더부보다도 큰 응력이 가해진다. 이 점, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서는, 상기식 (1) 및 (2)의 관계를 동시에 만족시킴으로써, 교반능이 보다 높아진다. 그 때문에, 프로브가 없는 회전 톨을 사용하는 것이 가능하다. 프로브가 없는 회전 톨은, 프로브가 있는 회전 톨과 비교하여, 내구성이 우수하다. 따라서, 회전 톨의 내구성이나 수명 연장, 나아가서는 (회전 톨의 마모나 파손에 의한)접합 불량률의 저감이라는 점에서, 프로브가 없는 회전 톨을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0205] 도 3~5에, 프로브가 없는 회전 톨의 예를 각각 나타낸다. 도 3은, 선단면이 평면인, 프로브가 없는 회전 톨(이하, 선단 평면 회전 톨이라고도 함)의 예이다. 도 4는, 선단면이 볼록형의 곡면인, 프로브가 없는 회전 톨(이하, 선단 볼록형 회전 톨이라고도 함)의 예이다. 도 5는, 선단면이 오목형의 곡면인, 프로브가 없는 회전 톨(이하, 선단 오목형 회전 톨이라고도 함)의 예이다.
- [0206] 도 3~도 5에 나타내는 바와 같이, 프로브가 없는 회전 톨의 선단부는, 솔더부만으로 구성된다. 즉, 프로브가 없는 회전 톨의 선단부는, 솔더부와 불연속인 형상이 된, 피접합재를 향하여 대략 수직으로 돌출된 부위(프로브)를 갖지 않는다. 회전 톨의 선단면은, 예를 들면, 도 3과 같은 평면, 도 4와 같은 볼록형의 곡면, 도 5와 같은 오목형의 곡면으로 하는 것이 적합하다. 또한, 톨 회전축에 수직인 면에 있어서의 선단부의 형상(회전 톨의 선단면을, 회전축에 평행한 방향으로 투영했을 때의 투영 영역)은, 원형이 된다.
- [0207] 도 3과 같은 선단 평면 회전 톨에서는, 예를 들면, 피접합재와 접촉하는 선단면이, 톨의 회전축과 수직인 하나의 평면으로 이루어진다.
- [0208] 도 4와 같은 선단 볼록형 회전 톨에서는, 예를 들면, 피접합재와 접촉하는 선단면이, 프로브를 갖지 않는 연속적인 형상이 되어, 대략 일률적인 경사면이 된다. 보다 구체적으로는, 선단면이, 외주로부터 중심을 향하여 돌출되는 1개의 곡면(포물면, 장구면 또는 구면)을 구성한다. 또한, 도 4와 같이, 선단면의 단면(회전축을 포함하고, 또한, 회전축에 평행한 단면) 형상이 대략 일률적인 곡률 반경의 곡선이 된다. 더하여, 곡면 높이 dv(mm)와 솔더 지름 D(mm)에 대해서, 다음식 (14)의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0209]  $dv/D \leq 0.06 \cdots (14)$
- [0210] 즉, dv/D를 0.06 이하로 함으로써, 회전 톨의 선단부가 피접합재와 접촉할 때에, 유동부에 의해 유효하게 압력을 가할 수 있어, 보다 유효하게 소성 유동을 일으키게 할 수 있다. 한편, dv/D가 0.06을 초과하면, 접합부의 표면 및 이면이 과도한 오목 형상이 되어, 접합부의 두께가 강대의 두께에 대하여 작아지는 경우가 있다. 이러한 경우, 조인트 강도의 확보가 곤란해지기 때문에, 바람직하지 않다. 또한, dv/D의 하한은 특별히 한정되는 것은 아니다. 유동부에 의해 유효하게 압력을 가하는 관점에서, dv/D는 0.01 이상이 바람직하다.
- [0211] 도 5와 같은 선단 오목형 회전 톨에서는, 피접합재와 접촉하는 선단면이, 프로브를 갖지 않는 연속적인 형상이 되어, 대략 일률적인 경사면이 된다. 보다 구체적으로는, 선단면이, 외주로부터 중심을 향하여 패이는 1개의 곡면(포물면, 장구면 또는 구면)을 구성한다. 또한, 도 5와 같이, 선단면의 단면(회전축을 포함하고, 또한, 회전축에 평행한 단면) 형상이 대략 일률적인 곡률 반경의 곡선이 된다. 더하여, 곡면 깊이 dc(mm)와 솔더 지름 D(mm)에 대해서, 다음식 (15)의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다.
- [0212]  $dc/D \leq 0.03 \cdots (15)$
- [0213] 즉, dc/D를 0.03 이하로 함으로써, 접합 중에, 연화한 금속이 선단부의 오목형의 곡면 내에 충전한다. 이에 따라, 회전 톨의 선단부가 피접합재와 접촉할 때에, 유동부에 의해 유효하게 압력을 가할 수 있어, 보다 유효하게 소성 유동을 일으키게 할 수 있다. 한편, dc/D가 0.03을 초과하면, 유동부에 유효하게 압력을 가하여 충분한 소성 유동을 일으키게 하는 것이 곤란해지는 경우가 있어, 바람직하지 않다. 또한, dc/D의 하한은 특별히 한정되는 것은 아니다. 유동부에 의해 유효하게 압력을 가하는 관점에서, dc/D는 0.01 이상이 바람직하다.

- [0214] 또한, 재료 유동을 보다 촉진하는 관점에서, 회전 톨의 선단면은 회전 반대 방향의 소용돌이 형상(나선 형상)의 단차부를 갖는 것이 바람직하다. 소용돌이 형상의 단차부는, 예를 들면, 회전 톨의 선단면의 중심, 또는, 도 6~8에 나타내는 바와 같이 회전 톨의 선단면의 중심원의 주연을 기점으로 하여, 회전 톨의 선단면의 외주연까지 신장하는 방사 형상의 곡선(소용돌이)에 의해 획정된다. 또한, 회전 톨의 선단면의 중심원은, 회전 톨의 선단면의 중심을 중심으로 하는, 임의의 직경의 원이다. 또한, 도 6~8에서는, 모두 소용돌이의 수가 4개이다.
- [0215] 단차부를 획정하는 소용돌이의 수는, 1개 이상이면 좋다. 단, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수가 6개를 초과하면, 재료 유동을 촉진하는 효과가 부족해진다. 또한, 형상의 복잡화에 의해 파손되기 쉬워질 우려가 있다. 그 때문에, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수는 6개 이하로 하는 것이 바람직하다. 또한, 도 9~13은 각각, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수가 2개~6개인 경우의 예를 나타내는 것이다.
- [0216] 또한, 재료 유동을 향상시키면서, 회전 톨의 선단부의 파손을 막는다는 관점에서, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수는, 솔더 지름에 따라서 조절하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 솔더 지름이 클수록 단차부를 획정하는 소용돌이의 수를 많게 하고, 솔더 지름이 작을수록 단차부를 획정하는 소용돌이의 수를 적게 하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 솔더 지름이 6mm 미만인 경우, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수를 2개 이하로 하는 것이 바람직하다. 한편, 솔더 지름이 6mm 이상인 경우, 단차부를 획정하는 소용돌이의 수를 3~6개로 하는 것이 바람직하다.
- [0217] 단차부를 획정하는 소용돌이가 2개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치하는 경우, 도 9에 나타내는 바와 같이, 점 A 및, 점 B를 각각 기점으로 하여, 선분 A-B를 반경으로 하는 반원을 각각 그린다. 이어서, 선분 A-B의 2배의 길이의 반경의 반원을 각각 그린다. 이어서, 선분 A-B의 3배의 길이의 지름의 반원을 각각 그린다. 이를 반복함으로써 등간격의 소용돌이를 2개 그릴 수 있다.
- [0218] 단차부를 획정하는 소용돌이의 수  $n$ 이 3개~6개이고, 소용돌이를 등간격으로 배치하는 경우, 도 10~13에 나타내는 바와 같이, 정 $n$ 각형을 그리고,  $n$ 각형의 각 정점을 중심으로 하여, 정 $n$ 각형의 변의 길이에 동일한 반경의 호를 변의 연장선과 교차하는 점까지 그린다. 이어서, 방금 전의 정점의 옆의 정점을 중심으로 하여, 정 $n$ 각형의 변의 길이의 2배의 반경의 호를 다음의 변의 연장선과 교차하는 점까지 그린다. 이어서, 방금 전의 정점의 옆의 정점을 중심으로 하여, 정 $n$ 각형의 변의 길이의 3배의 반경의 호를 다음의 변의 연장선과 교차하는 점까지 그린다. 이를 반복함으로써, 등간격의 소용돌이를  $n$ 개 그릴 수 있다.
- [0219] 또한, 도 9~13의 경우에는, 소용돌이의 수를 1개로 해도 좋다. 또한, 도 9, 11 및 13의 경우에는, 소용돌이의 수를 2개로 하여, 소용돌이를 등간격으로 형성해도 좋다. 도 10 및 13의 경우에는, 소용돌이의 수를 3개로 하여, 소용돌이를 등간격으로 형성해도 좋다.
- [0220] 더하여, 1개당의 소용돌이의 길이는, 선단면의 둘레 길이의 0.5주분 이상 2주분 이하로 하는 것이 바람직하다. 소용돌이의 길이에 대해서도, 솔더 지름에 따라서 조절하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 솔더 지름이 클수록 소용돌이의 길이를 길게 하고, 솔더 지름이 작을수록 소용돌이의 길이를 짧게 하는 것이 바람직하다.
- [0221] 선단 볼록형 회전 톨의 일 예에 있어서, 단차부는, 도 14에 나타내는 바와 같이, 소용돌이 간의 영역마다 높이 위치를 계단 형상으로 변화시키는, 예를 들면, 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 낮게 함으로써, 구성된다. 또한, 선단 오목형 회전 톨의 경우, 단차부는, 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 높게 함으로써, 구성된다. 이하, 이러한 단차부의 형태를, 계단 형상이라고도 한다. 단차부의 단수는, 1단 이상이면 좋다. 또한, 회전축을 포함하고, 또한, 회전축에 평행한 단면(도 14의 단면)에 있어서, 각 단차부는, 예를 들면, 대략 수평이 되도록 하면 좋다.
- [0222] 선단 볼록형 회전 톨의 다른 일 예에 있어서, 단차부는, 도 15에 나타내는 바와 같이, 소용돌이의 위치에 선단면보다도 패인 영역(이하, 홈부라고도 함)을 형성함으로써, 형성된다. 이에 따라, 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 낮아지는 단차부가 형성된다. 또한, 선단 오목형 회전 톨의 경우, 선단면의 중심으로부터 외주를 향하여 서서히 높아지는 단차부가 형성된다. 이하, 이러한 단차부의 형태를, 홈 형상이라고도 한다. 또한, 홈부의 단면 형상으로서, U자 형상이나 V자 형상, L자 형상 등을 예시할 수 있다. 단차부의 단수는, 1단 이상이면 좋다.
- [0223] 선단 평면 회전 톨의 일 예에 있어서, 단차부는, 도 16에 나타내는 바와 같이, 소용돌이의 위치에 홈부를 형성함으로써, 구성된다. 홈부의 형상으로서, U자 형상이나 V자 형상, L자 형상 등을 예시할 수 있다. 단차부의 단수는, 1단 이상이면 좋다.

- [0224] 상기와 같은 단차부를 형성함으로써, 회전 틀에 의한 피접합재의 압압 및 교반 시에, 회전 틀의 외측으로부터 내측을 향하여 마찰열에 의해 연화한 금속 재료를 유동시킨다. 이에 따라, 회전 틀에 의한 압압부의 외측으로 금속 재료가 유출되는 것을 억제할 수 있다. 그 결과, 압압부의 소성 유동이 촉진된다. 또한, 접합부의 두께가 모재에 대하여 감소하는 것을 방지하고, 또한, 버어가 없는 미려한 접합부 표면을 형성할 수 있다.
- [0225] 또한, 회전 틀의 선단부와는 반대측의 근원 부분은, 종래, 일반적으로 사용되는 양면 마찰 교반 접합 장치에 부착할 수 있으면 좋고, 당해 근원 부분의 형상은 특별히 제한되는 것은 아니다.
- [0226] [냉각 공정]
- [0227] 냉각 공정에서는, 냉각 장치를, 피접합재의 적어도 한쪽의 면(측)에 있어서 회전 틀의 접합 진행 방향의 후방에 배치하여, 접합 공정에서 형성한 피접합재의 접합부를 냉각 장치에 의해 냉각한다. 또한, 냉각 장치를 회전 틀에 연동시켜 접합 방향으로 이동시킴으로써, 진술한 접합 공정과 냉각 공정을 연속하여 행할 수 있다. 또한, 접합 후에 냉각 장치로 접합부를 냉각함으로써, 접합 시에 고온에서의 소성 가공에 의해 생긴 페라이트 재결정립의 조대화를 방지할 수 있다. 즉, 매우 미세한 페라이트 조직을 갖는 접합부가 얻어져, 조인트 특성이 향상한다. 그 결과, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생 및 결함 발생이 매우 유효하게 억제된다. 또한, 접합 속도를 고속도화할 수 있어, 높은 시공 능률을 실현하는 것이 가능해진다.
- [0228] 다음으로, 도 1c를 이용하여, 냉각 장치를 피접합재의 양면에 배치하는 경우(이하, 양면 배치라고도 함)를 예로 하여, 적합한 냉각 속도 등에 대해서 설명한다. 여기에서, 냉각 속도는, 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서 450℃까지의 냉각 속도이다. 또한, 접합 종료 온도는, 접합 종료 시점, 즉, 회전 틀의 통과시점에서의 접합부의 표면에서의 온도이다. 즉, 각 부의 냉각 속도는, 다음식에 의해 계산할 수 있다.
- [0229] [냉각 속도(℃/s)] = ([접합 종료 온도(℃)] - 450℃) ÷ [접합 종료 시점에서 접합부의 표면의 온도가 450℃에 도달할 때까지의 시간(s)] ··· (18)
- [0230] 그리고, 냉각 속도가, 피접합재에 형성된 접합부의 양면에 있어서, 이하의 요건을 만족하는 것이 적합하다. 또한, 냉각 장치를, 피접합재의 어느 한쪽의 면, 예를 들면, 앞면측에만 배치하는 경우(이하, 편면 배치라고도 함)에도, 냉각 속도가, 피접합재에 형성된 접합부의 양면에 있어서, 이하의 요건을 만족하고 있으면 마찬가지로의 효과가 얻어진다. 그 때문에, 편면 배치의 예에 대한 설명은 생략한다.
- [0231]  $CR_{W=0} \geq 15$  ··· (10)
- [0232]  $CR_{W=0.2D} \geq 15$  ··· (11)
- [0233]  $CR_{W=0.5D} \geq 15$  ··· (12)
- [0234] 후냉각식 양면 마찰 교반 접합에서는, 접합 후에 냉각 장치로 접합부를 냉각함으로써, 접합 시에 고온에서의 소성 가공에 의해 생긴 페라이트 재결정립의 조대화를 방지하는 것이 중요하다. 그러기 위해서는, 도 1c에 나타내는 냉각 영역 I(피접합재의 표면에 있어서의  $0 \leq W \leq 0.1 \times D$ 의 영역) 및 냉각 영역 H(피접합재의 표면에 있어서의  $0.1 \times D < W \leq 0.5 \times D$ )의 냉각 속도, 특히 이들 냉각 영역의 대표 위치인  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 냉각 속도를 적절히 제어하는 것이 효과적이다. 이러한 관점에서, 냉각 속도를 상기식 (10)~(12)의 관계를 만족하도록 제어하는 것이 적합하다.
- [0235] 여기에서, W는 피접합재의 접합 중앙선으로부터 접합 수직 방향으로 이간하는 거리(mm)이고,  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 는 각각,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 접합 종료 온도에서 450℃까지의 냉각 속도(℃/s)이다. 또한, D는, 회전 틀의 슐터부의 직경(mm)이다. 또한, 냉각 영역은, 냉각 장치에 의해 냉각되는 접합부의 표면 영역이다.
- [0236]  $0.80 \leq CR_{W=0.2D} / CR_{W=0} \leq 1.20$  ··· (16)
- [0237]  $0.80 \leq CR_{W=0.5D} / CR_{W=0} \leq 1.20$  ··· (17)
- [0238] 또한, 냉각 공정에서는, 피접합재의 냉각 속도에 대해서, 상기식 (10)~(12)의 관계를 만족시킨 후에, 추가로, 상기식 (16) 및 (17)의 관계를 만족시키는 것이 보다 바람직하다. 즉, 접합 후에 냉각 장치로 접합부를 냉각함으로써 페라이트 재결정립의 조대화를 방지하는 효과를 얻기 위해서는, 접합부의 냉각 속도를 높이는 것이 유효하다. 그러나, 접합부의 표면의 위치에 따라 냉각 속도에 편차가 있으면, 페라이트 재결정립의 조대화를 방지

하는 효과에도 편차가 생긴다. 그 결과, 접합부의 페라이트 입경에도 편차가 생기는 경우가 있다. 접합부의 페라이트 입경의 편차는, 접합부의 기계적 특성의 편차를 초래하기 때문에, 접합부의 페라이트 입경은 균일한 것이 바람직하다. 그러기 위해서는, 접합 중앙선 근방의 냉각 영역 I 및, 접합 중앙선으로부터 떨어진 냉각 영역 H에 있어서, 냉각 속도를 균일하게 제어하는 것이 유효하다. 특히, 냉각 영역 I 및 냉각 영역 H의 대표 위치인  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 냉각 속도에 대해서,  $CR_{W=0}$ 에 대한  $CR_{W=0.2D}$ 의 비인  $CR_{W=0.2D}/CR_{W=0}$ 을  $0.80 \sim 1.20$ 의 범위로 하고, 또한,  $CR_{W=0}$ 에 대한  $CR_{W=0.5D}$ 의 비인  $CR_{W=0.5D}/CR_{W=0}$ 을  $0.80 \sim 1.20$ 으로 제어하는 것이 효과적이다. 그 때문에, 냉각 공정에서는, 냉각 속도에 대해서, 상기식 (16) 및 (17)의 관계를 만족시키는 것이 보다 바람직하다.

[0239] 또한, 냉각 공정에서 사용하는 냉각 장치는, 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들면, 불활성 가스의 분사 장치나 액체의 분사 장치를 들 수 있다.

[0240] 불활성 가스의 분사 장치에서는, 불활성 가스로서, 예를 들면, 아르곤, 헬륨, 이산화탄소( $CO_2$ ), 질소( $N_2$ ) 등을 사용할 수 있다. 불활성 가스의 분사량은, 접합부의 냉각 영역의 넓이나 각각의 가스의 열 전도율 및 압력에 따라서, 여러 가지 조정하면 좋다. 또한, 가스 분사구의 형상이나 수도, 접합부의 냉각 영역의 넓이 등에 따라서, 여러 가지 조정하면 좋다. 이들을 여러 가지 조정함으로써, 냉각 능력의 확보와 균일한 냉각을 실현할 수 있다. 즉, 상기식 (10)~(12)의 관계, 나아가서는, 상기식 (16) 및 (17)의 관계를 만족하도록 냉각 속도를 제어할 수 있다.

[0241] 또한, 액체의 분사 장치에서는, 액체로서, 예를 들면, 물, 액체 이산화탄소, 액체 질소 등을 사용할 수 있다. 액체의 분사량, 액체 분사구의 형상이나 수는, 각각의 액체가 접합부 표면에 접촉했을 때의 비등 현상, 예를 들면, 막 비등을 억제하고 핵 비등을 촉진하는 것 등을 감안하면서, 접합부의 냉각 영역의 넓이 등에 따라서, 여러 가지 조정하면 좋다. 이들을 여러 가지 조정함으로써, 냉각 능력의 확보와 균일한 냉각을 실현할 수 있다. 즉, 상기식 (10)~(12)의 관계, 나아가서는, 상기식 (16) 및 (17)의 관계를 만족하도록 냉각 속도를 제어할 수 있다.

[0242] 또한, 냉각 장치로서, 복수 종류의 냉각 장치를 조합한 장치, 예를 들면, 상기의 불활성 가스의 분사 장치 및 액체의 분사 장치를 조합한 장치를 사용해도 좋다.

[0243] 또한, 냉각 장치가, 피접합재의 적어도 한쪽의 면에 있어서 회전 톨의 접합(진행) 방향의 후방에 배치되어 있으면, 회전 톨과 냉각 장치와의 사이의 거리나 냉각 영역의 범위(이하, 냉각 범위라고도 함)는 특별히 한정되지 않는다. 단, 냉각 장치와 회전 톨의 거리가 지나치게 작아지면, 접합부에 있어서 소성 유동이 부족하여 결함이 발생할 우려가 있다. 그 때문에, 냉각 장치와 회전 톨의 위치 관계는, 접합 속도 등에 따라서, 접합부에서의 소성 유동으로의 영향이나 냉각 효율을 고려하여 결정하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 접합 속도가  $1 \sim 4 \text{m/min}$ 인 경우에는, 회전 톨과 냉각 장치와의 사이의 거리(접합 방향에 있어서의 단부 간 거리)를,  $20 \text{mm} \sim 40 \text{mm}$ 의 범위로 하는 것이 바람직하다. 또한, 냉각 범위는, 예를 들면, 냉각 장치로부터 분사하는 가스 및/또는 액체의 종류, 그리고, 분사구의 형상, 수 및 배치 등을 조정함으로써, 제어할 수 있다.

[0244] [2] 전자 강대의 접합 조인트

[0245] 다음으로, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17을 이용하여 설명한다. 도면 중, 부호 1이 제1 전자 강대(피접합재), 2가 제2 전자 강대(피접합재), 4가 접합부, 4-1이 열 가공 영향부(제1 전자 강대측), 4-2가 열 가공 영향부(제2 전자 강대측)이다. 또한, 도 17은, 전자 강대의 접합 조인트의 관두께 방향의 단면도이다. 도면 중, 연직 방향이 관두께 방향이다. 수평 방향이, 접합 수직 방향이다. 지면 앞쪽측의 방향이, 접합 방향이다. 즉, 도 17에 나타내는 면(여기에서 말하는 관두께 방향의 단면) 내에는, 접합 수직 방향과 관두께 방향이 포함된다.

[0246] 상기의 전자 강대의 접합 조인트는,

[0247] 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하는, 전자 강대의 접합 조인트로서,

[0248] 당해 전자 강대의 접합 조인트는, 접합부와, 당해 접합부에 인접하는 열 가공 영향부를 구비하고,

[0249] 당해 접합부 및 당해 열 가공 영향부의 강 조직은 각각, 페라이트상 주체의 조직이고,

[0250] 다음식 (3)~(6)의 관계를 만족한다는 것이다.

- [0251]  $Dsz \leq 100\mu m$  . . . (3)
- [0252]  $Dhaz1 \leq Dbm1$  . . . (4)
- [0253]  $Dhaz2 \leq Dbm2$  . . . (5)
- [0254]  $0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2$  . . . (6)
- [0255] 여기서,
- [0256] Dsz는, 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0257] Dhaz1은, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0258] Dhaz2는, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0259] Dbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0260] Dbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0261] Hsz는, 접합부의 경도의 평균값,
- [0262] Hbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0263] Hbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0264] 이다.
- [0265] 또한, 상기의 전자 강대의 접합 조인트는, 예를 들면, 전술한 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 의해 얻을(제조할) 수 있다.
- [0266] [피접합재(제1 전자 강대 및 제2 전자 강대)]
- [0267] 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대는, 피접합재인 전자 강대이다. 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 성분 조성은, 냉간 압연 단계의 전자 강대(전자 강관)로서 일반적인 것이면 특별히 한정되지 않는다.
- [0268] 이러한 전자 강대의 성분 조성으로서는, Si를 2.0~5.0질량%의 범위에서 함유하는 성분 조성을 예시할 수 있다. 또한, C: 0.005질량% 이하, Si: 2.0~5.0질량%, Al: 3.0질량% 이하, Mn: 2.00질량% 이하, P: 0.2질량% 이하, S: 0.01질량% 이하 및, N: 0.01질량% 이하이고, 잔부가 Fe 및 불가피적 불순물인 성분 조성을 예시할 수 있다. 또한, 상기의 성분 조성에는, 질량%로, 임의로, Sn: 0.2% 이하, Sb: 0.2% 이하, Ca: 0.01% 이하, REM: 0.05% 이하 및, Mg: 0.01% 이하로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유시킬 수 있다. 추가로, 상기의 성분 조성에는, 질량%로, 임의로, Cr: 1% 이하, Ni: 1% 이하 및, Cu: 1% 이하로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 함유시킬 수 있다. 또한, Si 및 Fe 이외의 원소는 모두 0%라도 좋다.
- [0269] 또한, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 성분 조성은, 동일해도, 상이해도 좋다.
- [0270] 제1 전자 강대의 판두께 t1 및 제2 전자 강대의 판두께 t2는 특별히 한정되는 것은 아니지만, t1 및 t2는 각각, 1.2~3.2mm가 적합하다. 또한, t1 및 t2는, 동일해도, 상이해도 좋다.
- [0271] 또한, 피접합체인 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대에 있어서, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받지 않은 영역을, 모재부라고 한다.
- [0272] 또한, 모재부, 그리고, 후술하는 접합부 및 열 가공 영향부는, 이하와 같이 하여 확정한다.
- [0273] 즉, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)이 절단면이 되도록, 판두께(연직) 방향으로 절단한다. 이어서, 절단면을 연마하고, 피크르산 포화 수용액, 나이탈(질산과 에탄올의 용액) 또는 왕수(aqua regia)(농염산과 농질산을 3:1의 체적비로 혼합한 용액)로 에칭한다. 이어서, 당해 절단면을 광학 현미경으로 관찰하여 에칭의 정도 등으로부터, 모재부, 그리고, 접합부 및 열 가공 영향부를 확정한다.
- [0274] [접합부]
- [0275] 접합부는, 회전 톨과 피접합재의 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공을 받아 재결정 조직이 되는 영역이다.

- [0276] 접합부는, 페라이트상 주체의 강 조직, 구체적으로는, 면적률로 95% 이상의 페라이트상에 의해 구성된다. 페라이트상의 면적률은 100%라도 좋다. 또한, 페라이트상 이외의 잔부 조직의 면적률은 5% 이하이다. 페라이트상 이외의 잔부 조직으로서, 예를 들면, 마르텐사이트, 황화물, 질화물이나 탄화물 등의 제2상 등을 예시할 수 있다. 잔부 조직의 면적률은 0%라도 좋다.
- [0277] 또한, 페라이트상의 면적률은, 이하와 같이 하여 측정한다.
- [0278] 즉, 후술하는 접합부의 측정 영역이 관찰면에 포함되도록, 전자 강대의 접합 조인트로부터 시험편을 잘라낸다. 또한, 관찰면은, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)으로 한다. 이어서, 시험편의 관찰면을 연마 후, 3vol.% 나이탈, 피크르산 포화 수용액 또는 왕수로 에칭하여, 조직을 현출시킨다. 이어서, 후술하는 접합부의 측정 영역 내에 있어서, 합계 10시야를, 광학 현미경에 의해, 배율: 500배로 촬영한다. 이어서, 얻어진 조직 화상으로부터, Adobe Systems사의 Adobe Photoshop을 이용하여, 페라이트상의 면적을 10시야분 산출한다. 이어서, 시야마다 산출한 페라이트상의 면적을 각각의 시야 영역의 면적으로 나누고, 10을 곱한다. 그리고, 그들 값의 산술 평균값을, 페라이트상의 면적률로 한다.
- [0279] 또한, 접합부의 강 조직을 미세화하는, 구체적으로는, 접합부의 강 조직을 구성하는 페라이트 결정립의 입경(이하, 페라이트 입경이라고도 함)을 작게 하여 다음식 (3)의 관계를 만족시키는 것이 중요하다. 이에 따라, 피접합체로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 유효하게 억제된다.
- [0280]  $Dsz \leq 100\mu m \cdot \cdot \cdot (3)$
- [0281] 여기에서,
- [0282] Dsz는, 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),
- [0283] 이다.
- [0284] 여기에서, Dsz는, JIS G 0551에 준거하여 측정한다. 구체적으로는, 이하와 같이 하여 측정한다.
- [0285] 즉, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)이 절단면이 되도록, 판두께(연직) 방향으로 절단한다. 당해 절단면에 있어서, 접합 수직 방향을 X축, 판두께 방향을 Y축으로 한다. 그리고, 접합 수직 방향에 있어서의 접합부의 중심 위치에서, 또한, 판두께(연직) 방향에 있어서의 피접합체의 판두께 중심 위치를, X축과 Y축의 원점으로 한다. 접합 수직 방향에 있어서의 접합부의 중심 위치는, 예를 들면, 맞댐 조인트의 경우에는, 맞댐 겹의 중심 위치이고, 겹침 조인트의 경우에는, 겹침부의 중심 위치이다. 판두께(연직) 방향에 있어서의 피접합체의 판두께 중심 위치는, 예를 들면, 맞댐 조인트의 경우에는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 판두께가 작은 쪽의 판두께 중심 위치이고, 겹침 조인트의 경우에는, 겹침부의 판두께 중심 위치이다. 그리고,  $X = -0.2 \times t \sim +0.2 \times t$ ,  $Y = -0.2 \times t \sim +0.2 \times t$ 의 영역을 측정 영역으로 한다. 여기에서, t는, 제1 전자 강대의 판두께 및 제2 전자 강대의 판두께의 평균값(mm)이다. 단, 상기의 측정 영역에, 열 가공 영향부나 모재부와 같은 접합부가 아닌 영역이 포함되는 경우에는, 당해 영역을 측정 영역으로부터 제외하는 것으로 한다. 또한, X축 및 Y축에 대해서는, + 및 -를 임의로 설정하면 좋다.
- [0286] 그리고, 상기의 측정 영역 내의 임의의 위치에 있어서, JIS G 0551 「강-결정 입도의 현미경 시험 방법」에 준거한 절단법(시험선 1mm당의 포착한 결정립수, 또는, 교점의 수 P에 의해 평가함)에 의해, 접합부의 페라이트 입경을 합계 5회 측정하고, 이들의 평균값을 Dsz로 한다. 또한, 접합부의 페라이트 입경의 측정 영역을, 이하, 간단히, 접합부의 측정 영역이라고도 한다.
- [0287] 또한, 접합부와 모재부의 경도차를 저감하는, 구체적으로는, 다음식 (6)의 관계를 만족시키는 것이 중요하다. 이에 따라, 피접합체로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생이 유효하게 억제된다.
- [0288]  $0.9 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \leq Hsz \leq 1.2 \times (Hbm1 + Hbm2) / 2 \cdot \cdot \cdot (6)$
- [0289] 여기에서,
- [0290] Hsz는, 접합부의 경도의 평균값,
- [0291] Hbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0292] Hbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,

- [0293] 이다.
- [0294] 여기에서, Hsz, Hbm1 및 Hbm2는, JIS Z 2244에 준거하여 측정한다. 구체적으로는, 각각 이하와 같이 하여 측정한다.
- [0295] 즉, 상기의 절단면에 있어서의 상기의 접합부의 측정 영역 내의 임의의 5개소에서, 시험력: 4.9N의 조건으로 비커스 경도(HV)를 측정한다. 그리고, 이들의 평균값을 Hsz로 한다.
- [0296] 또한, 상기의 절단면에 있어서, 제1 전자 강대의 모재부의 판두께 중심 위치 $\pm 0.2 \times t_1$ 의 영역(판두께(연직) 방향)의 레벨) 내 및, 제2 전자 강대의 모재부의 판두께 중심 위치 $\pm 0.2 \times t_2$ 의 영역(판두께(연직) 방향)의 레벨) 내의 임의의 5개소에서 각각, 시험력: 4.9N의 조건으로 비커스 경도(HV)를 측정한다. 또한, 접합 수직(수평) 방향의 위치에 대해서는, 모재부이면 좋고, 임의로 선택하면 좋다. 그리고, 제1 전자 강대의 모재부 및 제2 전자 강대의 모재부에서 측정된 비커스 경도(HV)의 평균값을 각각, Hbm1 및 Hbm2로 한다. 여기에서, t1 및 t2는 각각, 제1 및 제2 전자 강대의 판두께이다.
- [0297] 또한, 접합부의 두께는 특별히 한정되는 것은 아니지만, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 두께의 관계를 적절히 제어하는, 구체적으로는, 다음식 (7) 및 (8)의 관계를 만족시키는 것이 바람직하다. 이에 따라, 피접합체로서 전자 강대를 이용하는 경우라도, 코일 접합부의 형상의 열화를 초래하는 일 없이 코일 접합부의 기계적 특성이 보다 높아져, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생을 한층 유효하게 억제할 수 있다.
- [0298]  $0.8 \times TbmL \leq TszL \dots (7)$
- [0299]  $TszH \leq 1.3 \times TbmH \dots (8)$
- [0300] 여기에서,
- [0301] TszL은, 접합부의 두께의 최소값(mm),
- [0302] TszH는, 접합부의 두께의 최대값(mm),
- [0303] TbmL은, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 얇은 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0304] TbmH는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대 중, 두꺼운 쪽의 전자 강대의 판두께(mm),
- [0305] 이다. 단, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 동일한 경우에는, TbmL=TbmH가 된다.
- [0306] 또한, TszL 및 TszH는, 예를 들면, 이하와 같이 하여 측정하면 좋다. 즉, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)이 절단면이 되도록, 판두께(연직) 방향으로 절단한다. 그리고, 당해 절단면에 있어서, 노기스(caliper) 등을 이용하여, TszL 및 TszH를 측정한다.
- [0307] [열 가공 영향부]
- [0308] 열 가공 영향부는, 접합부에 인접하여, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받기는 하지만 온도나 가공이 불충분하여 재결정 조직에 이르지 않는 영역이다. 또한, 열 가공 영향부는, 접합부에 인접하여, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 양측에 형성된다.
- [0309] 열 가공 영향부는, 접합부와 마찬가지로, 페라이트상 주체의 강 조직, 구체적으로는, 면적률로 95% 이상의 페라이트상에 의해 구성된다. 페라이트상의 면적률은 100%라도 좋다. 또한, 페라이트상 이외의 잔부 조직의 면적률은 5% 이하이다. 페라이트상 이외의 잔부 조직으로서, 예를 들면, 마르텐사이트, 황화물, 질화물이나 탄화물 등의 제2상 등을 예시할 수 있다. 잔부 조직의 면적률은 0%라도 좋다. 페라이트상의 면적률은, 전술한 방법과 마찬가지로의 요령으로 측정하면 좋다.
- [0310] 또한, 열 가공 영향부에서도, 강 조직을 미세화하는, 구체적으로는, 열 가공 영향부의 페라이트 입경을 모재부의 페라이트 입경 이하로 한다. 즉, 다음식 (4) 및 (5)의 관계를 만족시키는 것이 중요하다.
- [0311]  $Dhaz1 \leq Dbm1 \dots (4)$
- [0312]  $Dhaz2 \leq Dbm2 \dots (5)$
- [0313] 여기에서,
- [0314] Dhaz1은, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu m$ ),

- [0315] Dhaz2는, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0316] Dbm1은, 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0317] Dbm2는, 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0318] 이다.
- [0319] 여기에서, Dhaz1, Dhaz2, Dbm1 및 Dbm2는, JIS G 0551에 준거하여, 접합부의 페라이트 입경의 평균값인 Dsz와 동일한 요령으로 측정한다.
- [0320] 또한, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 측정 영역(이하, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 측정 영역이라고도 함)은, 이하와 같이 설정한다. 즉, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)이 절단면이 되도록, 판두께(연직) 방향으로 절단한다. 상기의 절단면에 있어서, 접합 수직 방향을 X축, 판두께 방향을 Y축으로 한다. 그리고, 제1 전자 강대의 판두께 중심 위치(레벨)에 있어서의 접합부와 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 경계 위치를, X축과 Y축의 원점으로 한다. X축에 대해서는, 제1 전자 강대측을 +, 접합부측을 -로 하고,  $X=0\sim+0.4\times t1$ ,  $Y=-0.2\times t1\sim+0.2\times t1$ 의 영역을 측정 영역으로 한다. 여기에서, t1은, 제1 전자 강대의 판두께이다. 또한, Y축에 대해서는, + 및 -를 임의로 설정하면 좋다. 단, 상기의 측정 영역에, 접합부나 모재부와 같은 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부가 아닌 영역이 포함되는 경우에는, 당해 영역을 측정 영역으로부터 제외하는 것으로 한다.
- [0321] 전술과 같이, 접합부는, 회전 틀과 피접합재의 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공을 받아 재결정 조직이 되는 영역을 말한다. 열 가공 영향부는, 접합부에 인접하는 영역이고, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받기는 하지만, 온도나 가공이 불충분하여 재결정에 이르지 않는 조직이 되는 영역을 말한다. 모재는, 마찰열과 소성 유동에 의한 열간 가공의 영향을 받지 않는 영역을 말한다.
- [0322] 마찬가지로, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 측정 영역(이하, 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 측정 영역이라고도 함)은, 이하와 같이 설정한다. 즉, 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 판두께 방향이 포함되는 면)이 절단면이 되도록, 판두께(연직) 방향으로 절단한다. 상기의 절단면에 있어서, 접합 수직 방향을 X축, 판두께 방향을 Y축으로 한다. 그리고, 제2 전자 강대의 판두께 중심 위치(레벨)에 있어서의 접합부와 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 경계 위치를, X축과 Y축의 원점으로 한다. X축에 대해서는, 제2 전자 강대측을 +, 접합부측을 -로 하고,  $X=0\sim+0.4\times t2$ ,  $Y=-0.2\times t2\sim+0.2\times t2$ 의 영역을 측정 영역한다. 여기에서, t2는, 제2 전자 강대의 판두께이다. 또한, Y축에 대해서는, + 및 -를 임의로 설정하면 좋다. 단, 상기의 측정 영역에, 접합부나 모재부와 같은 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부가 아닌 영역이 포함되는 경우에는, 당해 영역을 측정 영역으로부터 제외하는 것으로 한다.
- [0323] 또한, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 측정 영역(이하, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대의 모재부의 측정 영역이라고도 함)은 각각, 상기의 절단면에 있어서의 제1 전자 강대의 모재부의 판두께 중심 위치 $\pm 0.2\times t1$ 의 영역(판두께(연직) 방향의 레벨) 및 제2 전자 강대의 모재부의 판두께 중심 위치 $\pm 0.2\times t2$ 의 영역(판두께(연직) 방향의 레벨)으로 하면 좋다. 또한, 접합 수직(수평) 방향의 위치에 대해서는, 모재부이면 좋고, 임의로 선택하면 좋다. 여기에서, t1 및 t2는 각각, 제1 및 제2 전자 강대의 판두께이다.
- [0324] 또한, 조인트 형식으로서, 맞댐 조인트나 겹침 조인트를 예시할 수 있다.
- [0325] [3] 전자 강대의 제조 방법
- [0326] 다음으로, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 방법을, 설명한다.
- [0327] 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 방법은,
- [0328] 상기의 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 의해 제1 전자 강대와 제2 전자 강대를 접합하여, 접합 강대를 얻는 공정과,
- [0329] 당해 접합 강대에 냉간 압연을 실시하여, 냉연 강대를 얻는 공정을 구비한다.
- [0330] 여기에서, 접합 강대는, 적합하게는, 제1 전자 강대와, 제2 전자 강대와, 상기 [2]의 전자 강대의 접합 조인트를 갖고, 제1 전자 강대 및 제2 전자 강대가 당해 전자 강대의 접합 조인트를 개재하여 접합되어 있다.
- [0331] 또한, 냉간 압연 조건에 대해서는 특별히 한정되지 않고, 상법에 따르면 좋다. 또한, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 접합 후, 냉간 압연을 행하기 전에, 임의로, 산 세정을 행해도 좋다.

- [0332] [4] 마찰 교반 접합 장치
- [0333] 다음으로, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 마찰 교반 접합 장치를, 설명한다.
- [0334] 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 마찰 교반 접합 장치는, 상기 [1]의 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에 이용하는, 마찰 교반 접합 장치로서,
- [0335] 피접합재를 파지하는, 파지 장치와,
- [0336] 서로 대향하는 한 쌍의 회전 톨과,
- [0337] 상기 회전 톨의 회전과 접합 방향으로의 이동을 가능하게 하는 구동 장치와,
- [0338] 상기 피접합재의 적어도 한쪽의 면에 있어서 상기 회전 톨의 접합 진행 방향의 후방에 배치되는, 냉각 장치와,
- [0339] 상기 파지 장치, 상기 회전 톨의 구동 장치 및 상기 냉각 장치의 동작 제어 장치를 구비한다.
- [0340] 여기에서, 파지 장치의 태양으로서는, 예를 들면,
- [0341] · 가동 파지 부재와, 당해 가동 파지 부재의 슬라이드 장치를 갖는 것 및,
- [0342] · 고정 파지 부재와, 가동 파지 부재와, 당해 가동 파지 부재의 슬라이드 장치를 갖는 것
- [0343] 을 들 수 있다.
- [0344] 회전 톨의 태양은, 상기 [1]의 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 예시했던 바와 같다.
- [0345] 회전 톨의 구동 장치의 태양으로서는, 회전 톨의 회전 구동부와, 회전 톨의 접합 방향으로의 이동 장치를 갖는 것을 들 수 있다. 회전 구동부 및 이동 장치의 구동 방식은 특별히 한정되지 않고, 예를 들면, 전동 구동 방식에 의하면 좋다.
- [0346] 냉각 장치의 태양은, 상기 [1]의 전자 강대의 마찰 교반 접합 방법에서 예시한 바와 같다. 또한, 냉각 장치에는, 회전 톨과 연동하여 냉각 장치를 접합 방향으로 이동시키는, 이동 장치가 부대된다. 이동 장치의 구동 방식은 특별히 한정되지 않고, 예를 들면, 전동 구동 방식에 의하면 좋다.
- [0347] 동작 제어 장치의 태양으로서는, 각종 설정값 등의 데이터를 입력하는 입력부와, 입력된 데이터를 연산 처리하는 연산부와, 데이터 등을 기억하는 기억 장치와, 연산부에서의 연산 처리 결과에 기초하여, 파지 장치, 회전 톨의 구동 장치 및 냉각 장치로의 동작 신호를 출력하는 출력부를 갖는 것을 들 수 있다.
- [0348] 또한, 피접합재의 접합부의 표면에서의 냉각 속도를, 상기식 (10)~(12), (16), (17)의 범위 내로 제어하는 관점에서, 피접합재의 양면에 있어서  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 를 측정하는 냉각 속도 측정 장치를 추가로 구비하는 것이 바람직하다.
- [0349] 냉각 속도 측정 장치는, 예를 들면, 접합부의 표면에서의 온도를 연속적으로 측정하는 온도 측정 장치를 구비한다. 온도 측정 장치의 태양으로서는, 예를 들면,  $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치에 있어서의 접합부의 표면에서의 온도 측정용으로서 복수의 방사형 온도계를 설치한 것이나, ( $W=0$ ,  $0.2 \times D$  및  $0.5 \times D$ 의 위치를 포함하는 범위의 온도를 망라하여 측정하도록 설정한)서모그래피 등을 들 수 있다. 그리고, 온도 측정 장치로 측정된 온도 및, 접합 종료 시점에서 접합부의 표면의 온도가  $450^{\circ}\text{C}$ 에 도달할 때까지의 시간으로부터, 예를 들면, 연산 장치나 서모그래피에 부대하는 연산 기능을 이용하여, 상기식 (18)에 의해,  $CR_{W=0}$ ,  $CR_{W=0.2D}$  및  $CR_{W=0.5D}$ 를 산출한다.
- [0350] 또한, 상기 이외의 장치 구성 등에 대해서는 특별히 한정되지 않고, 종래 공지의 마찰 교반 접합 장치의 장치 구성으로 하면 좋다.
- [0351] [5] 전자 강대의 제조 장치
- [0352] 다음으로, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 장치를, 설명한다.
- [0353] 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 장치는, 상기 [4]의 마찰 교반 접합 장치를 구비하는 것이다.
- [0354] 또한, 본 발명의 일 실시 형태에 따르는 전자 강대의 제조 장치는, 연속 냉간 압연 라인에 있어서, 상기 [4]의 마찰 교반 접합 장치가, 냉간 압연 장치의 상류측, 또는, 산 세정 장치 및 냉간 압연 장치의 상류측(상류측으로

부터, 마찰 교반 접합 장치, 산 세정 장치 및 냉간 압연 장치의 순)에 배치된다. 또한, 산 세정 장치 및 냉간 압연 장치에 대해서는, 전자 강대의 연속 냉간 압연 라인에서 일반적으로 사용되고 있는 것을 적합하게 이용할 수 있다.

[0355] 또한, 연속 냉간 압연 라인이란, 강대를, 냉간 압연 장치에 의해 연속적으로 냉간 압연하는 제조 라인이다. 연속 냉간 압연 라인은, 예를 들면, 강대의 반송 장치와, 냉간 압연 장치를 구비한다. 연속 냉간 압연 라인에는, 임의로 추가로, 산 세정 장치나 어닐링로, 코팅 장치 등이 부대하는 경우도 있다.

[0356] 또한, 상기 이외의 장치 구성 등에 대해서는 특별히 한정되지 않고, 종래 공지의 전자 강대의 제조 장치의 장치 구성으로 하면 좋다.

[0357] 실시예

[0358] 이하, 본 발명의 작용 및 효과에 대해서, 실시예를 이용하여 설명한다. 또한, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되지 않는다.

[0359] 표 1에 나타내는 성분 조성(잔부는 Fe 및 불가피적 불순물)을 갖는 전자 강대를 피접합재(제1 전자 강대 및 제2 전자 강대)로 했다. 그리고, 표 2에 기재된 접합 조건 및 냉각 조건의 후냉각식 마찰 교반 접합에 의해, 연속 냉간 압연 라인 상에 있는 것을 모의하여 제1 전자 강대(선행 강대)와 제2 전자 강대(후행 강대)를 접합하여, 전자 강대의 접합 조인트를 제조했다. 여기에서, 맞댐 접합의 경우는, 개선(groove)을 피접합재인 2매의 전자 강대의 단면에 개선 각도를 부여하지 않는 소위 I형 개선으로 하고, 프레이즈 가공 정도의 표면 상태로 2매의 전자 강대를 맞대어, 접합을 행했다. 또한, 표 1에, 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값, 경도의 평균값 및 에릭센값을 병기하고 있다. 여기에서, 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값 및 경도의 평균값은, 전술의 방법에 의해 구한 것이다. 또한, 에릭센값은, JIS Z 2247로 규정하는 에릭센 시험 방법에 준거하여 측정된 값이다. 또한, 명기하고 있지 않은 조건에 대해서는, 상법에 따라, 설정했다.

[0360] 또한, 접합 공정에서는, 연직 방향 상측에 배치하는 표면측 회전 톨을 연직 방향 상측으로부터 보아 시계 방향으로 회전시키고, 연직 방향 하측에 배치하는 이면측 회전 톨을 연직 방향 상측으로부터 보아 반시계 방향으로 회전시켰다. 즉, 각각의 회전 톨의 선단부를 정면으로부터 본 상태에서는, 어느 쪽도 반시계 방향으로 회전시켰다. 또한, 도 2~8에 나타낸 형상의 회전 톨의 어느 것을 이용했다. 또한, 표면측 회전 톨과 이면측 회전 톨은, 동일한 단면 치수 및 형상의 회전 톨을 이용했다. 또한, 이들 회전 톨은 모두, 피접합재보다도 단단한 비커스 경도 HV1090의 탄화 텅스텐(WC)을 소재로 한 것이다. 또한, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 판두께가 상이한 경우에는, 제1 전자 강대와 제2 전자 강대의 맞댐부는 이면(이면측 회전 톨을 배치하는 측의 면)을 단차가 없는 상태로 하고, 표면(표면측 회전 톨을 배치하는 측의 면)을 단차가 있는 상태로 했다. 또한, 제1 전자 강대(선행 강대)를 어드밴싱 사이드(advancing side), 제2 전자 강대(후행 강대)를 리트리팅 사이드(retreating side)가 되도록 접합했다.

[0361] 또한, 겹침 접합의 경우는, 제1 전자 강대(선행 강대)를 겹침의 상측, 제2 전자 강대(후행 강대)를 겹침의 하측이 되도록 접합했다. 회전 톨의 회전 방향 및 회전 톨의 형상 등은, 맞댐 접합의 경우와 마찬가지로 한다.

[0362] 냉각 공정에서는, 회전 톨의 접합 방향의 후방에 배치한 냉각 장치를, 회전 톨에 연동시켜(접합 속도와 동일한 속도로) 접합 방향으로 이동시켰다. 또한, 냉각 장치에는, 불활성 가스의 분사 장치를 사용했다. 또한, 불활성 가스에는, 이산화탄소를 이용했다. 보다 구체적으로는, 냉각 장치는, 도 18에 나타내는 바와 같이, 직경 4mm의 환형의 분사구를 갖는 노즐 5개를 접합선 중앙 상에 종렬로 배치한 구성을 갖는다. 또한, 회전 톨의 후단에서 냉각 장치의 선두의 분사구(선단)까지의 거리(도 18 중의 L) 및 각 분사구의 (중심점)간격(도 18 중의 M)은 모두 30mm이다. 또한, 접합부의 표면에서 분사구까지의 거리는, 모두 20mm이다. 그리고, 각 분사구로부터 1MPa의 압력으로 이산화탄소 가스를 분사했다. 또한, 마찰 교반 접합 장치에 형성한 서모그래피에 의해, 피접합재의 양면에 있어서 접합부의 표면 온도를 측정하여, 접합부의 표면의 각 위치에서의 냉각 속도를 측정했다. 측정된 냉각 속도를, 표 2에 나타낸다. 또한,  $CR_W=0.20$  및  $CR_W=0.50$ 는 접합 중앙선을 사이에 두고 어드밴싱 사이드(제1 전자 강대측)와 리트리팅 사이드(제2 전자 강대측)의 양쪽에서 냉각 속도를 측정했지만, 거의 동일했다. 그 때문에, 여기에서는, 대표하여, 어드밴싱 사이드에서의 냉각 속도만을 기재하고 있다. 또한, 비교를 위해, 일부의 조건에서는 냉각 장치에 의한 냉각을 행하지 않았다.

[0363] 이렇게 하여 얻어진 전자 강대의 접합 조인트에 대해서, 전술의 요령에 의해, 접합부, 열 가공 영향부 및 모재부를 획정했다.

- [0364] 또한, 전술의 요령에 의해,
- [0365] Dsz: 접합부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0366] Dhaz1: 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0367] Dhaz2: 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0368] Dbm1: 제1 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0369] Dbm2: 제2 전자 강대의 모재부의 페라이트 입경의 평균값( $\mu\text{m}$ ),
- [0370] Hsz: 접합부의 경도의 평균값,
- [0371] Hbm1: 제1 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0372] Hbm2: 제2 전자 강대의 모재부의 경도의 평균값,
- [0373] 을 측정했다.
- [0374] 또한, 얻어진 전자 강대의 접합 조인트의 연직 방향의 절단면(도 3에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 관두께 방향이 포함되는 면))에 있어서, TszL: 접합부의 두께의 최소값(mm) 및 TszH: 접합부의 두께의 최대값(mm)을 측정했다.
- [0375] 결과를 표 3에 나타낸다. 또한, 후술하는 표면 결함 및 내부 결함의 확인에 있어서, 결함이 확인된 경우에는, 상기의 측정을 생략했다. 또한, 표면 결함이 확인된 경우에는, 내부 결함의 확인도 생략했다.
- [0376] 또한, 얻어진 전자 강대의 접합 조인트에 대해서, 이하의 요령으로, (I) 표면 결함의 유무 및 (II) 내부 결함의 유무를 확인했다. 결과를 표 4에 나타낸다.
- [0377] (I) 표면 결함의 유무
- [0378] 얻어진 전자 강대의 접합 조인트의 접합부 및 열 가공 영향부의 표면 및 이면에 있어서, 미접합 상태 및 균열의 유무를 육안에 의해 확인했다. 그리고, 이하의 기준에 의해, 표면 결함의 유무를 판정했다.
- [0379] 표면 결함 없음: 미접합 상태 및 균열이 모두 확인되지 않는다.
- [0380] 표면 결함 있음: 미접합 상태 및 균열의 적어도 한쪽이 확인된다.
- [0381] (II) 내부 결함의 유무
- [0382] 얻어진 전자 강대의 접합 조인트를, 도 17에 나타내는 면(즉, 접합 수직 방향과 관두께 방향이 포함되는 면)이 관찰면이 되도록, 관두께(연직) 방향으로 절단하여 시험편을 채취했다. 또한, 접합 방향에 있어서의 절단 위치는, 접합(용접) 개시측의 피접합재의 단부로부터 20mm의 위치, 접합(용접) 종료측의 피접합재의 단부로부터 20mm의 위치 및, 피접합재의 양단부의 중간이 되는 위치로 했다. 그리고, 당해 절단 위치에서의 절단면이 관찰면이 되도록, 합계 3매의 시험편을 채취했다. 이어서, 얻어진 시험편의 관찰면을, 광학 현미경(배율: 10배)으로 관찰했다. 그리고, 이하의 기준에 의해, 내부 결함의 유무를 판정했다.
- [0383] 내부 결함 없음: 3매의 시험편 모두에 있어서, 접합부에 미접합 상태 및 균열이 모두 확인되지 않는다.
- [0384] 내부 결함 있음: 적어도 1매의 시험편에 있어서, 접합부에 미접합 상태 및 균열의 적어도 한쪽이 확인된다.
- [0385] 또한, 얻어진 전자 강대의 접합 조인트에 대해서, 이하의 요령으로, 제조 라인에서의 코일 접합부의 파단 발생의 억지 효과(이하, 파단 억지 효과라고도 함)를 평가했다.
- [0386] 즉, 얻어진 전자 강대의 접합 조인트로부터, 접합부, 제1 전자 강대측의 열 가공 영향부 및 모재 그리고 제2 전자 강대측의 열 가공 영향부 및 모재가 포함되도록, 시험편을 채취했다. 이어서, 채취한 시험편을 이용하여, JIS Z 2247로 규정하는 에릭센 시험 방법에 준거하여 접합 조인트의 에릭센값을 측정했다. 그리고, 모재부의 에릭센값에 대한 접합 조인트의 에릭센값의 비율(이하, 에릭센값의 비율이라고도 함)에 의해, 이하의 기준으로 파단 억지 효과를 평가했다. 결과를 표 4에 나타낸다.
- [0387] [에릭센값의 비율(%)] = [접합 조인트의 에릭센값] / [모재부의 에릭센값] × 100
- [0388] 합격: 에릭센값의 비율이 90% 이상

- [0389] 불합격: 에릭센값의 비율이 90% 미만
- [0390] 또한, 제1 전자 강대의 모재부의 에릭센값과 제2 전자 강대의 모재부의 에릭센값이 상이한 경우, 모재부의 에릭센값은, 제1 전자 강대의 모재부의 에릭센값과 제2 전자 강대의 모재부의 에릭센값 중 작은 쪽의 값으로 한다.
- [0391] 또한, 이하의 요령으로, 회전 톨의 내구성의 평가를 행했다.
- [0392] 즉, 회전 톨의 파손이나 마모가 생기면, 내부 결함에 의한 접합 불량률이 높은 확률로 발생한다. 그래서, 상기와 동일한 조건으로 각각, 접합 길이 0.5m의 접합을 반복하여 행하고, 얻어진 접합 조인트에 대해서, 상기의 「(II) 내부 결함의 유무」에 나타낸 판정 방법에 의해, 내부 결함의 유무를 판정했다.
- [0393] 그리고, 내부 결함 없음으로 판정되는 조인트의 수가 전체의 90% 이상을 유지하는 최대 접합 횟수(이하, 90% 유지 최대 접합 횟수라고도 함)에 의해, 회전 톨의 내구성의 평가를 했다. 90% 유지 최대 접합 횟수를 표 4에 병기한다. 또한, 90% 유지 최대 접합 횟수가 15회 이상인 경우: 회전 톨의 내구성(수명)이 우수하다(합격), 90% 유지 최대 접합 횟수가 15회 미만인 경우: 회전 톨의 내구성(수명)이 충분하다고는 할 수 없다(불합격), 라고 판정했다.
- [0394] 여기에서, 90% 유지 최대 접합 횟수란, 접합순으로 얻어진 접합 조인트의 내부 결함의 유무를 확인하고, 내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트의 수를 N으로 했을 때에, 다음식 (a)를 만족하는, 최대의 N의 값이다.
- [0395] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함 없음으로 판정된 접합 조인트의 수]÷[내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트의 수]×100≥90 ····식 (a)
- [0396] 예를 들면, 1~4회째의 접합에서 얻어진 접합 조인트에서는 내부 결함 없음으로 판정되고, 5회째의 접합에서 얻어진 접합 조인트에서 내부 결함 있음으로 판정된 경우,
- [0397] N=4에서는,
- [0398] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함이 없는 접합 조인트의 합계수]÷[내부 결함을 확인한 접합 조인트의 수 N]×100
- [0399] = 4÷4×100=100≥90
- [0400] 이 되고,
- [0401] N=5에서는,
- [0402] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함이 없는 접합 조인트의 합계수]÷[내부 결함을 확인한 접합 조인트의 수 N]×100
- [0403] = 4÷5×100=80<90
- [0404] 이 된다.
- [0405] 즉, 이 경우에서는, N=4까지는 식 (a)를 만족하고, N=5일 시에는 처음으로 식 (a)를 만족하지 않게 되기 때문에, 90% 유지 최대 접합 횟수는 4가 된다.
- [0406] 또한, 1~10회째 및 12~19회째의 접합에서 얻어진 접합 조인트에서는 내부 결함 없음으로 판정되고, 11회째, 20회째 및 21회째의 접합에서 얻어진 접합 조인트에서 내부 결함 있음으로 판정된 경우,
- [0407] N=11에서는,
- [0408] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함이 없는 접합 조인트의 합계수]÷[내부 결함을 확인한 접합 조인트의 수 N]×100
- [0409] = 10÷11×100≈90.9≥90
- [0410] 이 되고,
- [0411] N=20에서는,
- [0412] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함이 없는 접합 조인트의 합계수]÷[내부 결함을 확인한 접합 조인트의 수 N]×100

[0413]  $= 18 \div 20 \times 100 = 90 \geq 90$

[0414] 이 되고,

[0415]  $N=21$ 에서는,

[0416] [내부 결함의 유무를 확인한 접합 조인트 중, 내부 결함이 없는 접합 조인트의 합계수]  $\div$  [내부 결함을 확인한 접합 조인트의 수  $N$ ]  $\times 100$

[0417]  $= 18 \div 21 \times 100 = 85.7 < 90$

[0418] 이 된다.

[0419] 즉, 이 경우에는,  $N=20$ 까지는 식 (a)를 만족하고,  $N=21$ 일 시에 처음으로 식 (a)를 만족하지 않게 되기 때문에, 90% 유지 최대 접합 횟수는 20이 된다.

[0420] 또한, 상기의 (I) 표면 결함의 유무 또는 (II) 내부 결함의 유무에서 결함 있음으로 판정된 것은, 90% 유지 최대 접합 횟수는 0이 된다.

표 1

강종	관두께 (mm)	성분 조성(질량%)					모재부의 페라이트입경 평균값 ( $\mu\text{m}$ )	모재부의 경도의평균값	모재부의 허리크레프트 (mm)
		C	Si	Mn	P	S			
B1-1	2.0	0.02	2.5	0.01	0.015	0.006	280	219	12.4
B1-2	2.6	0.02	2.5	0.01	0.015	0.006	280	219	13.5
B2-1	2.0	0.01	3.5	0.02	0.012	0.006	310	242	3.5
B2-2	2.6	0.01	3.5	0.02	0.012	0.006	310	242	3.8

[0421]

표 2

표 2	조인트 형식		배경형제				회전률				경량 조건				(1)식 (2)식 (9)식	
	제1 전자 강대		제2 전자 강대		T <sub>1</sub> (mm)	D (mm)	dv 또는 dc (mm)	dv/D 또는 dc/D (mm)	경사 각도 α (°)	축대부 크기 G (mm)	회전수 RS (회/분)	결합 속도 JS (mm <sup>2</sup> /분)	RS x D <sup>2</sup> / JS			
	강종	만두께 t1 (mm)	강종	만두께 t2 (mm)										표면층 이면층		
발명예 1	와임	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.3	0.014	0	1.80	800	2000	3704	단축	단축	단축
발명예 2	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	0.3	0.023	-	1.80	800	1000	1759	단축	단축	단축
발명예 3	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	0.3	0.014	-	2.20	1500	3000	4631	단축	단축	단축
발명예 4	와임	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	-	-	0	1.80	1200	3000	3704	단축	단축	단축
발명예 5	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	-	-	0	1.80	800	2000	3704	단축	단축	단축
발명예 6	와임	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.5	0.024	0	2.20	1500	3000	4631	단축	단축	단축
발명예 7	와임	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	0.5	0.038	-	1.20	3000	3000	2197	단축	단축	단축
발명예 8	와임	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	0.3	0.023	-	1.40	1500	3000	1099	단축	단축	단축
발명예 9	와임	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.5	0.024	-	1.80	1200	3000	3704	단축	단축	단축
발명예 10	와임	B1-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	0.3	0.023	0	1.40	3000	4000	1648	단축	단축	단축
발명예 11	와임	B1-1	2.0	B1-2	2.6	2.3	0.5	0.024	0	2.20	1000	3000	3087	단축	단축	불인축
발명예 12	결침	B1-1	2.0	B1-1	2.0	4.0	0.5	0.024	0	2.20	1500	2000	6946	단축	단축	단축
비교예 1	와임	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.3	0.014	0	1.80	800	2000	3704	단축	단축	단축
비교예 2	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	0.3	0.023	-	1.80	800	1000	1759	단축	단축	단축
비교예 3	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	0.3	0.014	-	2.20	1500	3000	4631	단축	단축	단축
비교예 4	와임	B1-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	-	-	0	1.80	1200	3000	3704	단축	단축	단축
비교예 5	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	-	-	0	1.80	800	2000	3704	단축	단축	단축
비교예 6	와임	B1-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.5	0.024	0	2.20	1500	3000	4631	단축	단축	단축
비교예 7	와임	B2-1	2.0	B1-1	2.0	2.0	0.5	0.038	-	1.20	3000	3000	2197	단축	단축	단축
비교예 8	와임	B1-1	2.0	B2-1	2.0	2.0	0.3	0.023	-	1.40	1500	3000	1099	단축	단축	단축
비교예 9	와임	B2-2	2.6	B1-2	2.6	2.6	0.5	0.024	-	1.80	1200	3000	3704	단축	단축	단축
비교예 10	와임	B2-2	2.6	B2-2	2.6	2.6	-	-	0	1.80	800	2000	3704	단축	단축	단축
비교예 11	와임	B1-1	2.0	B1-2	2.6	2.3	0.5	0.024	0	2.20	1000	3000	3087	단축	단축	불인축
비교예 12	결침	B1-1	2.0	B1-1	2.0	4.0	0.5	0.024	0	2.20	1500	2000	6946	단축	단축	단축

단축: 당해 식의 면적을 단축하지 않음  
불인축: 당해 식의 면적을 단축하지 않음

표 2

조인트 형식	냉각 환경												(10) 식	(11) 식	(12) 식	(16) 식	(17) 식
	표면측						이면측										
	냉각 장치의 유무	CR <sub>W=0</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 2D</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 3D</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 3D</sub> / CR <sub>W=0</sub>	냉각 장치의 유무	CR <sub>W=0</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 2D</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 3D</sub> (°C/°s)	CR <sub>W=0, 2D</sub> / CR <sub>W=0</sub>	CR <sub>W=0, 3D</sub> / CR <sub>W=0</sub>						
발명예 1	있음	30.9	30.9	30.8	1.00	1.00	30.9	30.8	1.00	0.99	31.0	30.9	1.00	0.99	민족	민족	민족
발명예 2	있음	42.7	42.6	42.4	1.00	0.99	42.8	42.5	1.00	0.99	42.8	42.5	1.00	0.99	민족	민족	민족
발명예 3	있음	25.8	25.7	25.7	1.00	1.00	25.7	25.6	1.00	1.00	25.7	25.6	1.00	1.00	민족	민족	민족
발명예 4	있음	26.3	26.2	26.1	1.00	0.99	26.3	26.2	1.00	0.99	26.3	26.2	1.00	0.99	민족	민족	민족
발명예 5	있음	31.1	31.0	30.9	1.00	0.99	31.1	30.9	1.00	0.99	31.1	30.9	1.00	0.99	민족	민족	민족
발명예 6	있음	22.7	22.6	22.6	1.00	1.00	16.6	16.5	1.00	0.99	16.6	16.5	0.99	0.99	민족	민족	민족
발명예 7	있음	24.0	23.9	23.8	1.00	0.99	17.9	17.8	1.00	0.99	17.9	17.8	1.00	0.99	민족	민족	민족
발명예 8	있음	25.3	25.1	35.0	0.99	1.38	19.0	19.1	1.00	1.00	19.0	19.0	1.01	1.00	민족	민족	민족
발명예 9	있음	23.2	23.0	23.0	0.99	0.99	17.2	17.1	1.00	0.99	17.2	17.0	0.99	0.99	민족	민족	민족
발명예 10	있음	28.3	26.7	26.5	0.94	0.94	21.1	16.7	16.2	0.79	16.7	16.2	0.79	0.77	민족	민족	불민족
발명예 11	있음	25.1	24.9	24.8	0.99	0.99	25.1	24.8	24.6	0.99	25.1	24.8	0.99	0.98	민족	민족	민족
발명예 12	관찰	30.3	29.8	29.7	0.98	0.98	30.1	29.8	29.8	0.99	30.1	29.8	0.99	0.99	민족	민족	민족
비교예 1	있음	8.7	8.6	8.4	0.99	0.97	8.8	8.6	8.4	0.98	8.8	8.4	0.98	0.95	불민족	불민족	민족
비교예 2	있음	10.6	10.3	10.1	0.97	0.95	10.7	10.4	10.2	0.97	10.7	10.2	0.97	0.95	불민족	불민족	민족
비교예 3	있음	8.0	7.9	7.9	0.99	0.99	7.8	7.7	7.7	0.99	7.8	7.7	0.99	0.99	불민족	불민족	민족
비교예 4	있음	8.8	8.6	8.5	0.98	0.97	8.8	8.7	8.4	0.98	8.8	8.4	0.98	0.95	불민족	불민족	민족
비교예 5	있음	8.9	8.8	8.6	0.99	0.97	9.0	8.8	8.6	0.98	9.0	8.6	0.98	0.96	불민족	불민족	민족
비교예 6	있음	7.8	7.7	7.7	0.99	0.99	7.6	7.5	7.5	0.99	7.6	7.5	0.99	0.99	불민족	불민족	민족
비교예 7	있음	10.0	9.8	9.7	0.98	0.97	9.9	9.9	9.7	1.00	9.9	9.7	1.00	0.98	불민족	불민족	민족
비교예 8	있음	12.1	11.8	11.6	0.98	0.96	11.7	11.9	11.7	1.02	11.7	11.7	1.02	1.00	불민족	불민족	민족
비교예 9	있음	8.6	8.4	8.4	0.96	0.96	8.6	8.5	8.3	0.99	8.6	8.3	0.99	0.97	불민족	불민족	민족
비교예 10	있음	40.7	40.6	40.5	1.00	1.00	40.7	40.6	40.5	1.00	40.7	40.5	1.00	1.00	민족	민족	민족
비교예 11	있음	7.8	7.6	7.4	0.97	0.95	7.7	7.5	7.3	0.97	7.7	7.3	0.97	0.95	불민족	불민족	민족
비교예 12	관찰	5.0	4.9	4.8	0.98	0.96	4.8	4.6	4.6	0.96	4.8	4.6	0.96	0.96	불민족	불민족	민족

민족: 당해 식의 관계를 만족함  
 불민족: 당해 식의 관계를 만족하지 않음

표 3

	조인트 형식	점합 방법	피접합재												경량부					웨이브 영역부				
			제1 전자 강대			제2 전자 강대			Dsz (μm)	Hsz (mm)	TszL (mm)	TszH (mm)	페라이트상 면적률 (%)	제1 전자 강대측		제2 전자 강대측								
			강종	Dhm1 (μm)	Hbm1 (mm)	강종	Dhm2 (μm)	Hbm2 (mm)						Dhm1 (μm)	Hbm1 (mm)	Dhm2 (μm)	Hbm2 (mm)	TbmL (mm)	TbmH (mm)	Dhaz1 (μm)	페라이트상 면적률 (%)	Dhaz2 (μm)		
									판두께 (mm)	판두께 (mm)														
발명예 1	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	25	242	2.4	2.8	2.8	2.8	99	212	99	209
발명예 2	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	23	262	2.4	2.7	2.7	2.7	99	217	99	219
발명예 3	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	46	260	2.6	2.6	2.6	2.6	99	250	99	251
발명예 4	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	33	241	2.5	2.7	2.7	2.7	99	210	99	230
발명예 5	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	29	261	2.4	2.6	2.6	2.6	99	183	99	196
발명예 6	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	53	239	2.6	2.7	2.7	2.7	99	227	99	225
발명예 7	맞면	양면	B2-1	310	242	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	99	44	240	1.8	2.0	2.0	2.0	99	208	99	185
발명예 8	맞면	양면	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	99	78	237	1.8	2.1	2.1	2.1	99	224	99	250
발명예 9	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	42	240	2.4	2.6	2.6	2.6	99	231	99	209
발명예 10	맞면	양면	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	99	33	246	1.8	2.0	2.0	2.0	99	227	99	226
발명예 11	맞면	양면	B1-1	280	219	2.0	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	36	245	2.3	2.6	2.6	2.6	99	230	99	231
발명예 12	격침	양면	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	99	31	246	3.4	3.8	3.8	3.8	99	229	99	228
비교예 1	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	105	230	2.3	2.8	2.8	2.8	99	217	99	214
비교예 2	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	103	257	2.4	2.7	2.7	2.7	99	221	99	225
비교예 3	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	167	249	2.6	2.6	2.6	2.6	99	255	99	257
비교예 4	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	110	242	2.4	2.8	2.8	2.8	99	215	99	235
비교예 5	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	113	255	2.4	2.8	2.8	2.8	99	199	99	203
비교예 6	맞면	양면	B1-2	280	219	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	151	225	2.6	2.7	2.7	2.7	99	233	99	231
비교예 7	맞면	양면	B2-1	310	242	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	99	102	243	1.7	2.0	2.0	2.0	99	215	99	190
비교예 8	맞면	양면	B1-1	280	219	2.0	B2-1	310	242	2.0	2.0	2.0	2.0	99	159	237	1.8	2.1	2.1	2.1	99	230	99	256
비교예 9	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	109	242	2.4	2.7	2.7	2.7	99	237	99	214
비교예 10	맞면	양면	B2-2	310	242	2.6	B2-2	310	242	2.6	2.6	2.6	2.6	99	104	244	2.4	2.8	2.8	2.8	99	250	99	255
비교예 11	맞면	양면	B1-1	280	219	2.0	B1-2	280	219	2.6	2.6	2.6	2.6	99	125	235	2.3	2.6	2.6	2.6	99	241	99	244
비교예 12	격침	양면	B1-1	280	219	2.0	B1-1	280	219	2.0	2.0	2.0	2.0	99	190	236	3.4	4.0	4.0	4.0	99	236	99	243

[0424]

표 4

	(3)시	(4)시	(5)시	(6)시	(7)시	(8)시	표면 결함	내부 결함	점합 조인트의 에릭센값 (mm)	에릭센값의 비율 (%)	동평균	90%유지 최대 결함 횟수	동평균
발명예 1	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	13.2	98	적합	18	적합
발명예 2	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.8	100	적합	26	적합
발명예 3	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.7	97	적합	19	적합
발명예 4	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.6	95	적합	17	적합
발명예 5	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.7	97	적합	23	적합
발명예 6	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	13.0	96	적합	19	적합
발명예 7	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.3	94	적합	24	적합
발명예 8	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.5	100	적합	20	적합
발명예 9	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.7	97	적합	21	적합
발명예 10	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	11.6	94	적합	20	적합
발명예 11	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	11.3	91	적합	22	적합
발명예 12	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	11.2	90	적합	15	적합
비교예 1	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	12.1	89	적합	16	적합
비교예 2	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.2	84	적합	25	적합
비교예 3	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.1	82	적합	18	적합
비교예 4	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.1	82	적합	15	적합
비교예 5	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.1	82	적합	23	적합
비교예 6	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	11.5	85	적합	17	적합
비교예 7	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.2	88	적합	22	적합
비교예 8	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	2.9	83	적합	18	적합
비교예 9	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.1	82	적합	20	적합
비교예 10	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	3.1	82	적합	10	적합
비교예 11	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	9.5	77	적합	21	적합
비교예 12	적합	적합	적합	적합	적합	적합	양	양	8.1	65	적합	14	적합

단축: 당해 시의 관계를 만족함  
 불만족: 당해 시의 관계를 만족하지 않음

[0425]

[0426]

표 4로부터, 발명예에서는 모두, 점합 속도: 1000mm/분 이상이라는 높은 시공 능력의 점합을 행하면서, 결함이 없고, 에릭센값의 비율이 90% 이상이 되는 매우 우수한 파단 억지 효과를 갖는 전자 강대의 점합 조인트가 얻어졌다. 또한, 회전 틀의 내구성(수명)의 점에서도 우수했다.

[0427]

한편, 비교예에서는, 점합 속도: 1000mm/분 이상의 점합을 행한 경우, 충분한 파단 억지 효과가 얻어지지 않았다.

**부호의 설명**

[0428]

- 1 : 제1 전자 강대(피점합재)
- 2 : 제2 전자 강대(피점합재)
- 3-1 : 회전 틀(표면측 회전 틀)

3-2 : 회전 톨(이면측 회전 톨)

4 : 집합부

4-1 : 열 가공 영향부(제1 전자 강대측)

4-2 : 열 가공 영향부(제2 전자 강대측)

5-1, 5-2 : 솔더부

6-1, 6-2 : 프로브

7 : 파지 장치

9-1, 9-2 : 선단부

10-1 : 냉각 장치(표면측 냉각 장치)

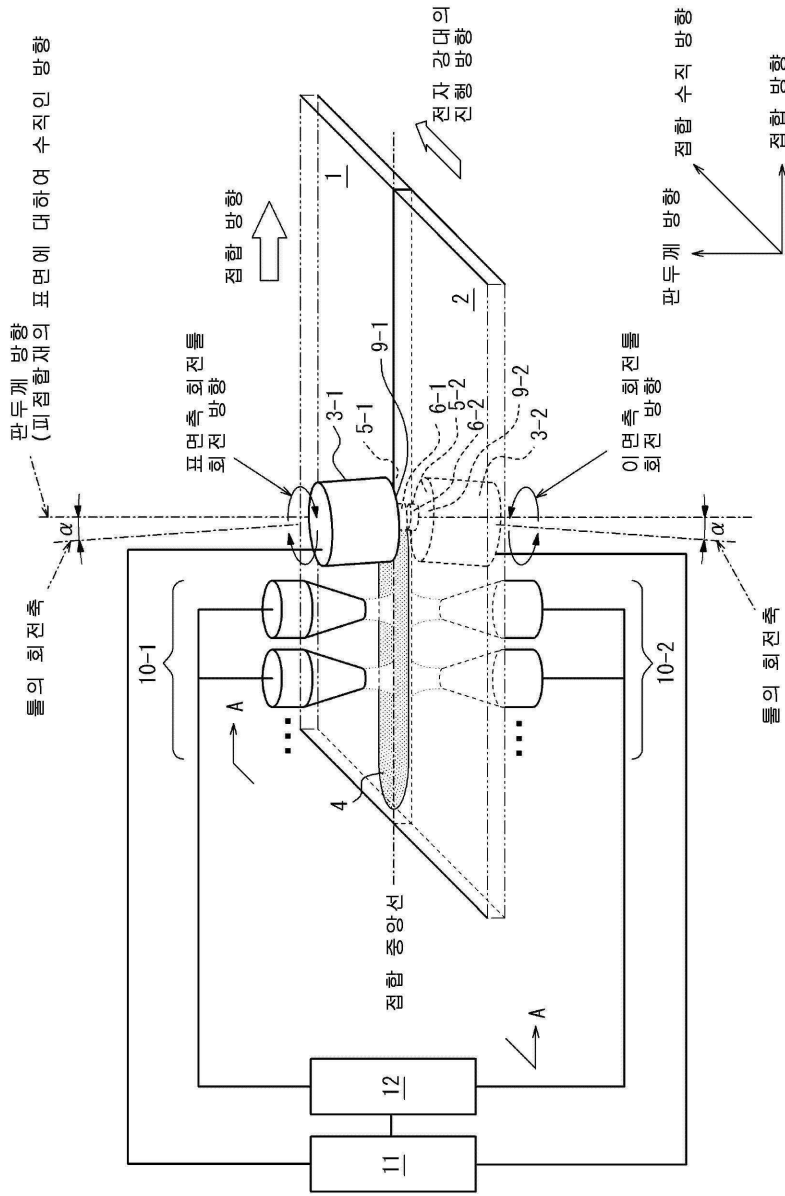
10-2 : 냉각 장치(이면측 냉각 장치)

11 : 회전 톨의 구동 장치

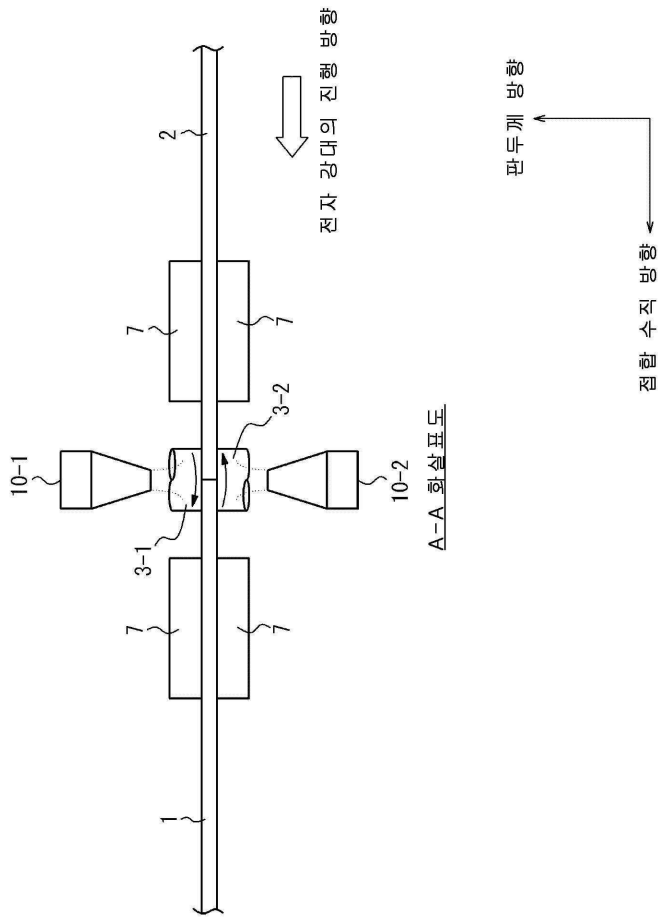
12 : 동작 제어 장치

도면

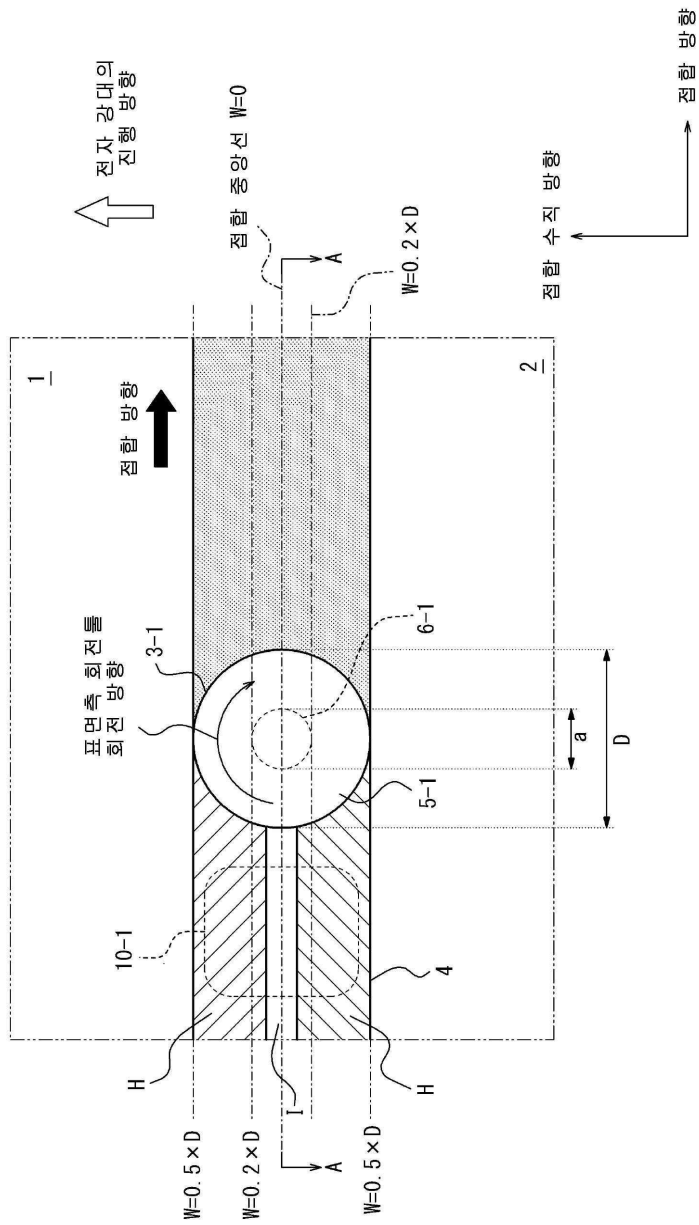
도면1a



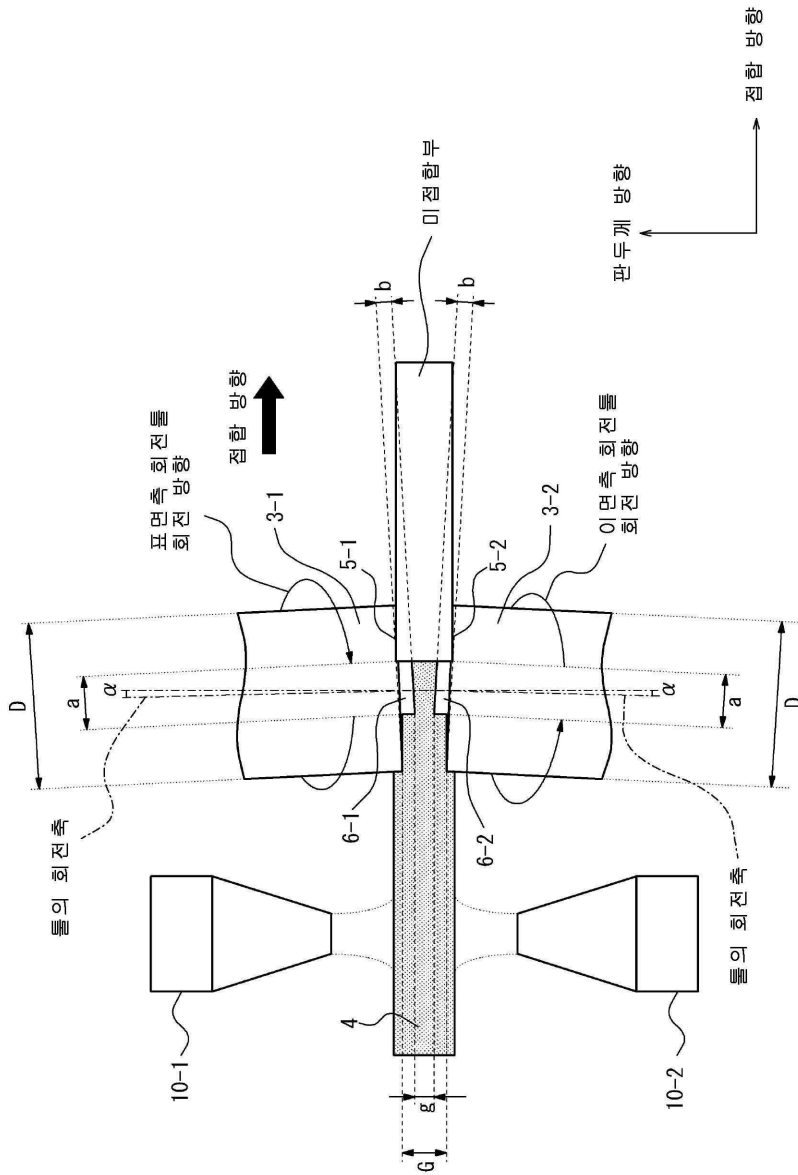
도면1b



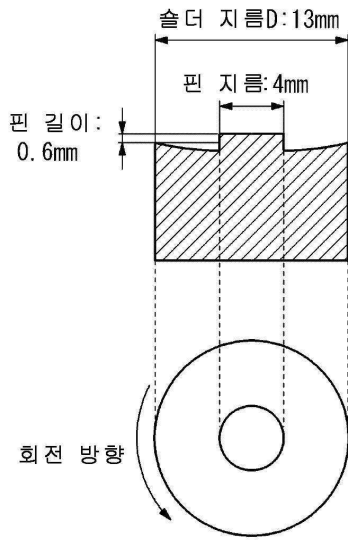
도면1c



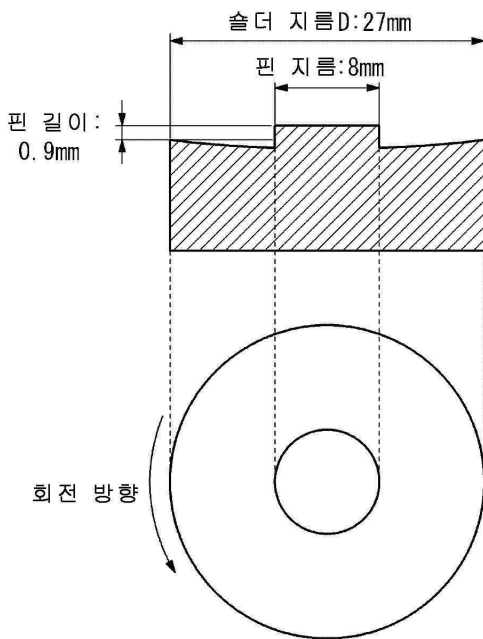
도면1d



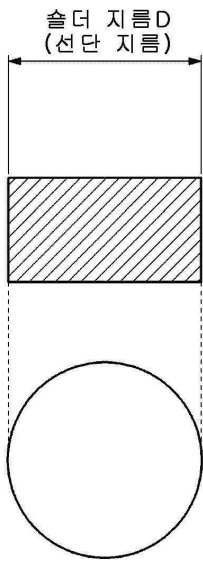
도면2a



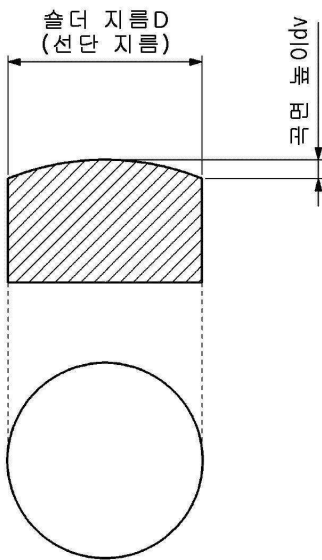
도면2b



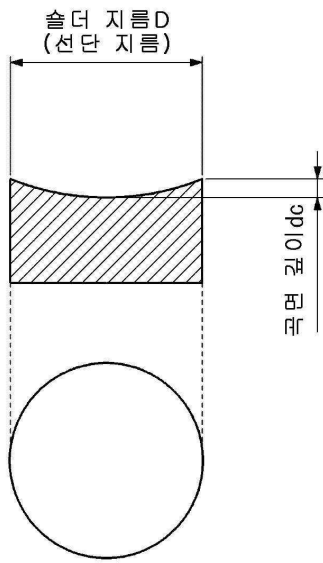
도면3



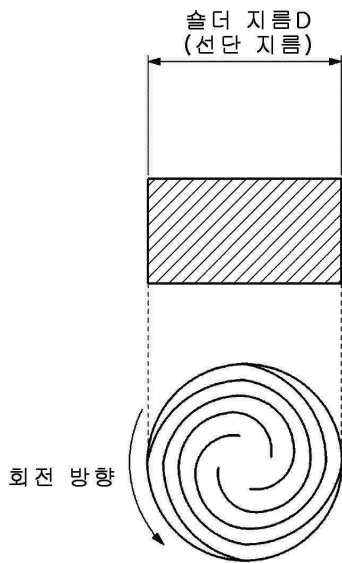
도면4



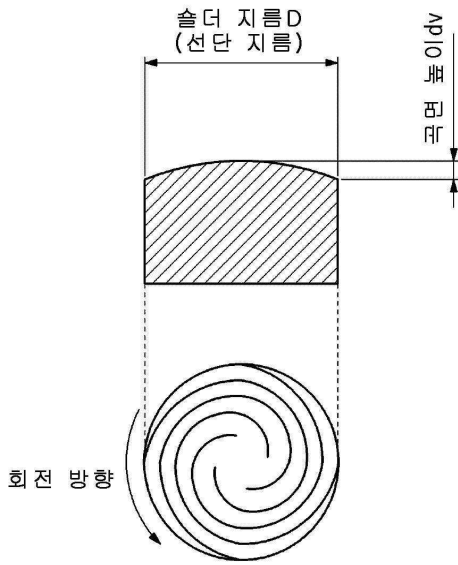
도면5



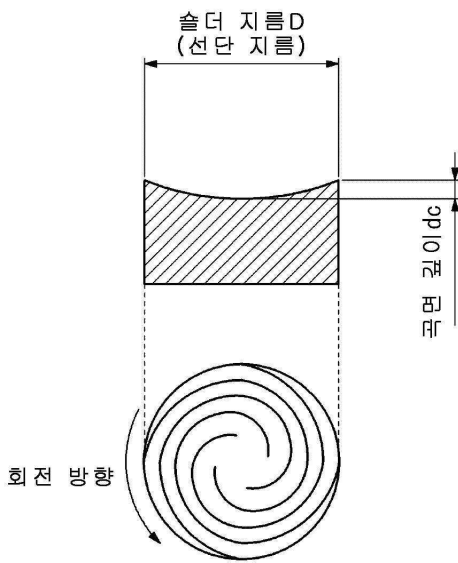
도면6



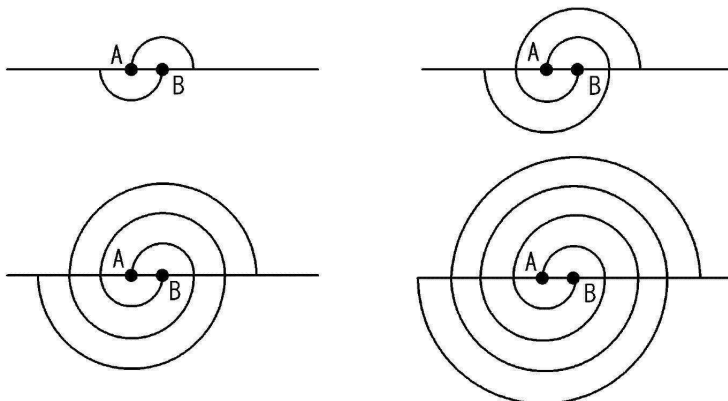
도면7



도면8

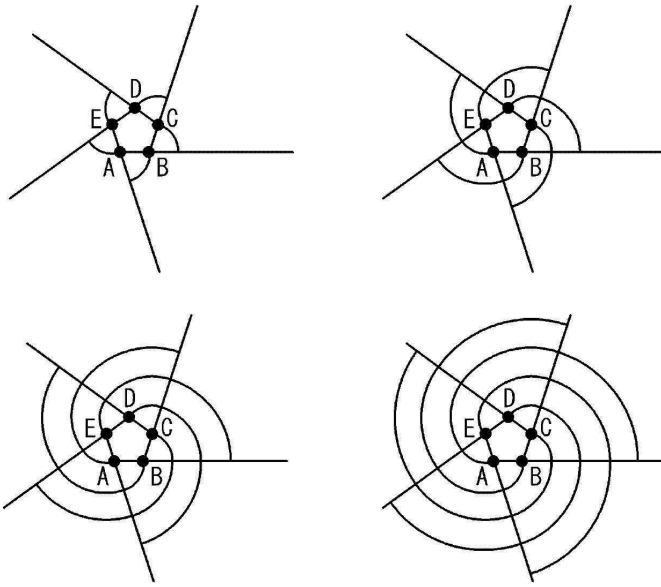


도면9

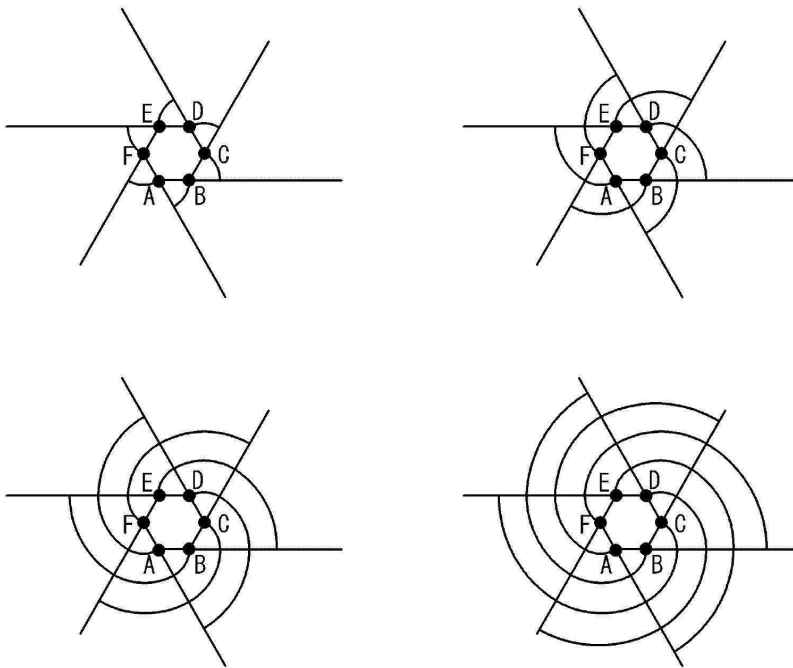




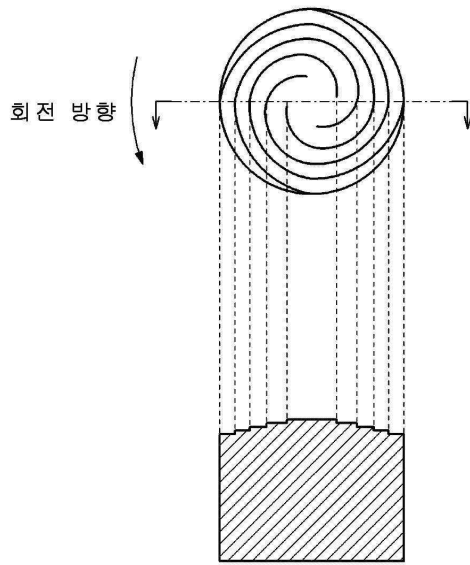
도면12



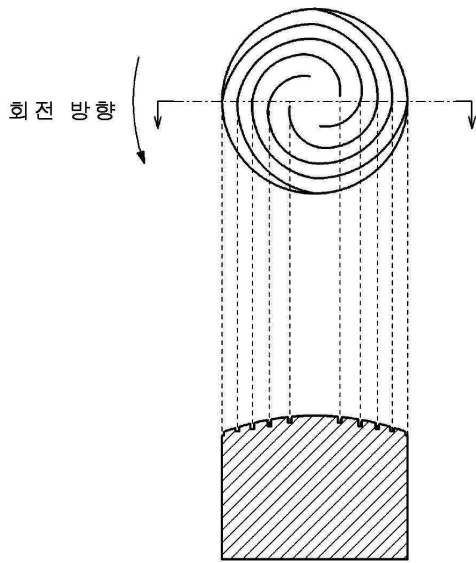
도면13



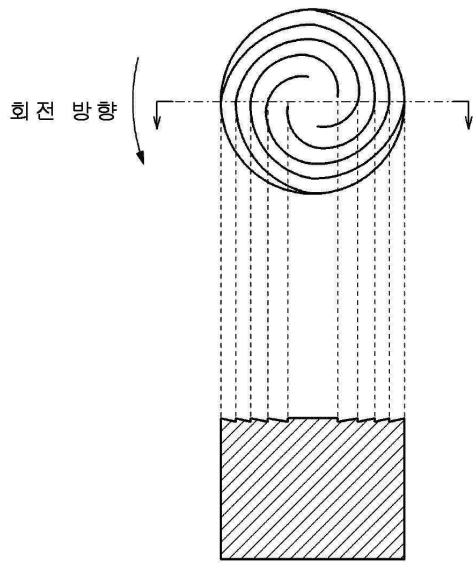
도면14



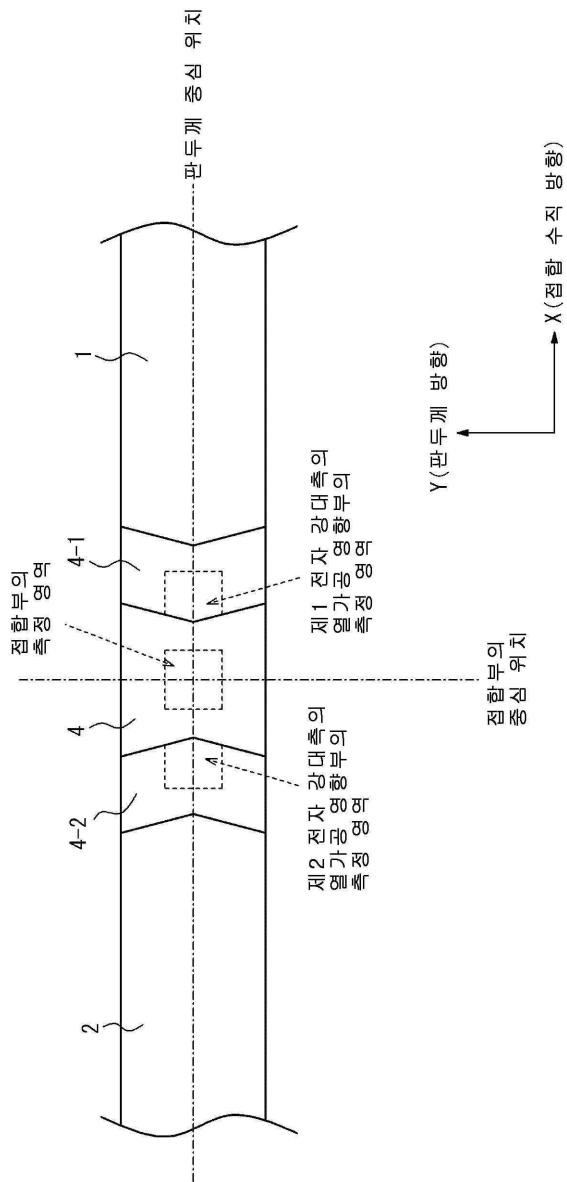
도면15



도면16



도면17



도면18

