



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0030991  
(43) 공개일자 2018년03월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 27/90 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G01N 27/90 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7003583
- (22) 출원일자(국제) 2016년06월15일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2017년02월06일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2016/067808
- (87) 국제공개번호 WO 2017/010215  
국제공개일자 2017년01월19일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2015-142390 2015년07월16일 일본(JP)

- (71) 출원인  
스미토모 가가꾸 가부시키키가이샤  
일본국 도쿄도 주오구 신카와 2쥬메 27반 1고
- (72) 발명자  
타다, 도요카즈  
일본 7928521 에히메켄 니이하마시 소비라키쵸 5반 1고 스미토모 가가꾸 가부시키키가이샤 내  
스에츠구, 히데히코  
일본 7928521 에히메켄 니이하마시 소비라키쵸 5반 1고 스미토모 가가꾸 가부시키키가이샤 내
- (74) 대리인  
양영준, 이석재

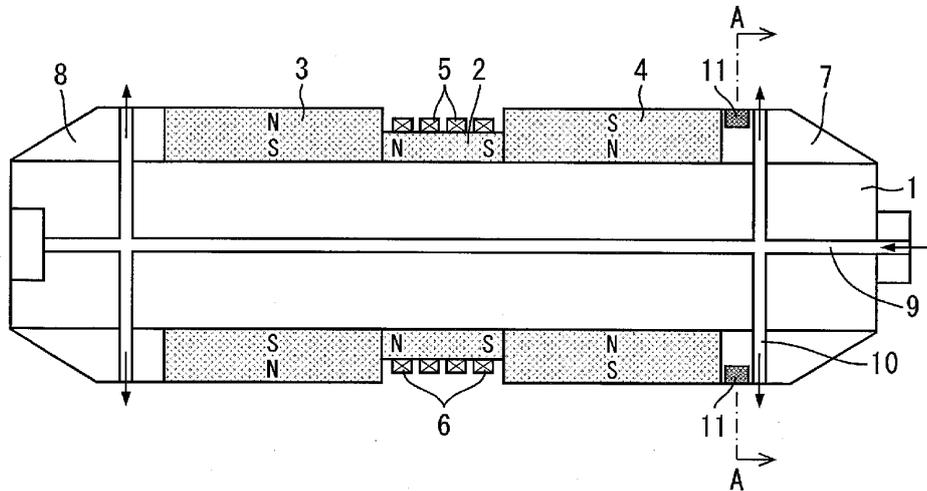
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **결함 측정 방법, 결함 측정 장치 및 검사 프로브**

**(57) 요약**

자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 신속하게 행한다. 자성체 부재와의 대향면과 교차하는 방향으로 분극한 제 3 자석(4)과, 제 3 자석(4)과 자성체 부재를 통하는 자속 밀도를 검지하는 홀 소자(11)를 구비하는 검사 프로브(100)를 사용하여, 홀 소자(11)의 출력 신호에 결함면이 표리의 어느 면인지에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 적용한다.

**대표도** - 도1



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

자성체 부재의 결함 측정 방법이며,

자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브를 사용하여, 상기 자기 센서의 출력을 측정하는 측정 공정과,

결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 발생하고 있는 표면 결함인지, 당해 대향면의 이면에 발생하고 있는 이면 결함인지를 판정하는 결함면 판정 공정과,

표면 결함 및 이면 결함 각각에 대해서 미리 설정된 평가 알고리즘 중, 상기 결함면 판정 공정의 판정 결과에 따른 평가 알고리즘을 상기 자기 센서의 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행하는 평가 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 자성체 부재의 와류 탐상 검사를 행하는 와류 탐상 공정을 포함하고,

상기 결함면 판정 공정에서는,

상기 와류 탐상 검사의 결과에 기초하여 결함이 상기 자성체 부재의 표리의 어느 면에 존재하는지를 판정하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 검사 프로브는,

상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과,

상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 자석에 있어서의 상기 자성체 부재와의 대향면측에 배치되어 있는, 상기 와류 탐상 검사를 행하기 위한 와류 탐상용 센서를 구비하고,

상기 자기 센서는, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 자성체 부재는 자성체관이며,

상기 측정 공정에서는, 상기 검사 프로브를 상기 자성체관 내에서 당해 자성체관의 축 방향을 따라서 이동시키는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 자기 센서는, 자속 밀도에 따른 전압값을 출력하고,

상기 평가 공정은, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 단면적에 대한 결손된 단면적의 비율인 단면 결손율을 산출하는 단면 결손율 산출 공정을 포함하고,

상기 단면 결손율 산출 공정에서는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 상기 각 자기 센서에 의해 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값과 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 단면 결손율의 관계에 기초하여 미리 설정된 단면 결손율 산출식과, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값에 기

초하여 상기 자성체관의 단면 결손율을 산출하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

**청구항 6**

제4항 또는 제5항에 있어서, 상기 평가 공정은, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출하는 결함 범위 산출 공정을 포함하고,

상기 결함 범위 산출 공정에서는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값 및 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위와의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관에 있어서의 결함의 결함 범위를 산출하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

**청구항 7**

제5항에 있어서, 상기 평가 공정은,

상기 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출하는 결함 범위 산출 공정과,

상기 자성체관에 발생하고 있는 결함의 결함 깊이를 산출하는 결함 깊이 산출 공정을 포함하고,

상기 결함 범위 산출 공정에서는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값 및 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위와의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관에 있어서의 결함의 결함 범위를 산출하고,

상기 결함 깊이 산출 공정에서는,

상기 자성체관의 외경의 반경을 r(mm), 상기 단면 결손율 산출 공정에서 산출한 단면 결손율을 S(%), 상기 결함 범위 산출 공정에서 산출한 결함 범위를  $\theta(^{\circ})$ , 결함 깊이를 d(mm)라 하면,

결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면의 이면에 존재하는 경우에는,

$$d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}$$

에 기초해서 결함 깊이를 산출하고,

결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 존재하는 경우에는,

$$d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}-(r-t)$$

에 기초해서 결함 깊이를 산출하는 것을 특징으로 하는 결함 측정 방법.

**청구항 8**

자성체 부재의 결함 측정 장치이며,

자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브와, 상기 자기 센서의 출력 신호에 기초하여 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 자속 저항 연산부를 구비하고,

상기 자속 저항 연산부는,

결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면 및 당해 대향면의 이면 중 어디에 형성되어 있는지에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 상기 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의

정량적 평가를 행할 수 있는, 결함 측정 장치.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 검사 프로브는,

상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과,

상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 와류 탐상용 센서와,

상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하고 있고,

상기 와류 탐상용 센서를 사용한 와류 탐상 검사의 결과에 기초하여 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 표리의 어느 면에 존재하는지를 판정할 수 있는 결함면 판정부를 구비하고,

상기 출력 신호에 상기 결함면 판정부의 판정 결과에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는, 결함 측정 장치.

**청구항 10**

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 자성체 부재는 자성체관이며,

상기 자속 저항 연산부는, 상기 검사 프로브를 자성체관 내에서 당해 자성체관의 축 방향을 따라서 이동시켰을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 신호에 기초하여 상기 자성체관의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는, 결함 측정 장치.

**청구항 11**

제10항에 있어서, 상기 자기 센서는, 자속 밀도에 따른 전압값을 출력하고,

상기 자속 저항 연산부는, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 단면적에 대한 결손된 단면적의 비율인 단면 결손율을 산출할 수 있는 단면 결손율 산출부를 구비하고,

상기 단면 결손율 산출부는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 상기 각 자기 센서에 의해 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값과, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 단면 결손율의 관계에 기초하여 미리 설정된 단면 결손율 산출식과, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값에 기초하여 상기 자성체관의 단면 결손율을 산출할 수 있는, 결함 측정 장치.

**청구항 12**

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 자속 저항 연산부는, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출할 수 있는 결함 범위 산출부를 구비하고,

상기 결함 범위 산출부는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 계산한 값의 합계값, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 계산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관의 결함 범위를 산출할 수 있는, 결함 측정 장치.

**청구항 13**

제11항에 있어서, 상기 자속 저항 연산부는,

상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출할 수 있는 결함 범위 산출부와,

상기 자성체관에 발생하고 있는 결함의 결함 깊이를 산출하는 결함 깊이 산출부를 구비하고,

상기 결함 범위 산출부는,

시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 계산한 값의 합계값, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 계산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관의 결함 범위를 산출하고,

상기 결함 깊이 산출부는,

상기 자성체관의 외경의 반경을  $r(\text{mm})$ , 상기 단면 결손율 산출부가 산출한 단면 결손율을  $S(\%)$ , 상기 결함 범위 산출부가 산출한 결함 범위를  $\theta(^{\circ})$ , 결함 깊이를  $d(\text{mm})$ 라 하면,

결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면의 이면에 존재하는 경우에는,

$$d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}$$

에 기초해서 결함 깊이를 산출하고,

결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 존재하는 경우에는,

$$d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}-(r-t)$$

에 기초해서 결함 깊이를 산출할 수 있는, 결함 측정 장치.

#### 청구항 14

자성체 부재의 결함을 검사하기 위한 검사 프로브이며,

상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과,

상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 와류 탐상용 센서와,

상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 검사 프로브.

#### 청구항 15

제14항에 있어서, 자성체를 포함하는 원통형의 요크를 구비하고,

상기 각 자석은 상기 요크의 축 방향을 따라서 할바흐 배열을 이루도록 배열하여 배치되고, 또한 각각의 상기 자석은 상기 요크의 외주면을 따라 원통형으로 배치되어 있고,

상기 자기 센서는, 상기 요크의 둘레 방향을 따라 복수 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 검사 프로브.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 자성체를 포함하는 부재의 결함을 측정하는 결함 측정 방법 및 결함 측정 장치 및 상기 결함의 측정에 사용되는 검사 프로브에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 종래, 자성체 부재에 있어서의 두께 감소나 균열 등의 결함의 유무를 조사하기 위한 검사 방법으로서, 특허문헌 1 등에 개시되어 있는 자화 와류 탐상 검사(자화 ECT(Eddy Current Testing))나, 특허문헌 2 등에 개시되어 있는 누설 자속법(MFL; Magnetic Flux Leakage) 등이 알려져 있다.

[0003] 또한, 자성체 부재에 있어서의 결함의 깊이 등을 정량적으로 측정하는 방법으로서, 수침 회전식 초음파 두께 측정법(IRIS; Internal Rotary Inspection Systems)이 알려져 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0004] (특허문헌 0001) 일본특허 제5169983호(2010년 11월 18일 공개)
- (특허문헌 0002) 일본특허공개 제2004-212161호 공보(2004년 7월 29일 공개)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 그러나, 자화 와류 탐상 시험 및 누설 자속법으로는, 결함의 유무를 검사할 수는 있기는 하지만, 결함의 깊이 등을 고정밀도로 정량적으로 측정할 수 없다는 문제가 있다.
- [0006] 또한, 수침 회전식 초음파 두께 측정법은, 결함의 깊이 등을 정량적이고 또한 고정밀도로 측정할 수 있기는 하지만, 검사에 시간이 걸린다는 문제가 있다.
- [0007] 본 발명은, 상기 문제점을 감안하여 이루어진 것으로, 그 목적은, 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 신속하게 행하는 데에 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0008] 본 발명의 일 형태에 따른 결함 측정 방법은, 자성체 부재의 결함 측정 방법이며, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브를 사용하여, 상기 자기 센서의 출력을 측정하는 측정 공정과, 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 발생하고 있는 표면 결함인지, 당해 대향면의 이면에 발생하고 있는 이면 결함인지를 판정하는 결함면 판정 공정과, 표면 결함 및 이면 결함의 각각에 대해서 미리 설정된 평가 알고리즘 중, 상기 결함면 판정 공정의 판정 결과에 따른 평가 알고리즘을 상기 자기 센서의 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행하는 평가 공정을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.
- [0009] 본 발명의 일 형태에 따른 결함 측정 장치는, 자성체 부재의 결함 측정 장치이며, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브와, 상기 자기 센서의 출력 신호에 기초하여 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 자속 저항 연산부를 구비하고, 상기 자속 저항 연산부는, 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면 및 당해 대향면의 이면 중 어디에 형성되어 있는지에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 상기 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 구성이다.
- [0010] 본 발명의 일 형태에 따른 검사 프로브는, 자성체 부재의 결함을 검사하기 위한 검사 프로브이며, 상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 와류 탐상용 센서와, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하고 있는 구성이다.

**발명의 효과**

- [0011] 이상과 같이, 본 발명의 결함 측정 방법, 결함 측정 장치 및 검사 프로브에 의하면, 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 신속하게 행할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0012] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에서 사용되는 검사 프로브의 단면 모식도이다.
- 도 2는 도 1에 도시한 A-A 단면의 단면도이다.
- 도 3은 도 1에 도시한 검사 프로브에 있어서의 와류 탐상부의 회로도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 구비되는 두께 감소 판정 처리부의 구성을 도시

하는 블록도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에서 행해지는 두께 감소 판정 처리의 개요를 도시하는 설명도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 있어서의 처리의 흐름을 나타내는 흐름도이다.

도 7의 (a)는 복수의 외면 두께 감소를 갖는 시험편의 일례를 나타내는 설명도이고, (b)는 복수의 내면 두께 감소를 갖는 시험편의 일례를 나타내는 설명도이고, (c)는 (a) 및 (b)에 나타난 각 시험편을 자속 저항법에 의해 측정된 각 홀 소자의 출력 신호의 합계값과, 각 시험편에 있어서의 각 두께 감소의 실제의 단면 결손율의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 의해 전체면 두께 감소 및 국부 두께 감소를 탐상했을 때의 각 홀 소자의 출력 전압값 및 형상 파라미터의 일례를 나타내는 설명도이다.

도 9는 도 7의 (a) 및 (b)에 나타난 시험편을 탐상한 결과에 기초해서 산출한  $V_{max}$  및  $V_{all}$ 을 나타내는 그래프이다.

도 10은 도 9에 나타난 데이터 중 외부 두께 감소의 시험편에 관한 데이터를 추출한 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 있어서의 제2 산출 방법에 의한 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 있어서의 제2 산출 방법에 의한 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.

도 13은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 의해 실기에서 사용된 관을 측정해서 얻어진 두께 평가값과, 실기에서 사용된 관을 실측해서 구한 두께 실측값의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 14의 (a)는 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 의해 내면 두께 감소가 발생하고 있는 자성체관을 검사했을 때의 각 홀 소자의 출력 전압을 플롯한 그래프이고, (b)는 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.

도 15의 (a)는 본 발명의 일 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치에 의해 외면 두께 감소가 발생하고 있는 자성체관을 검사했을 때의 각 홀 소자의 출력 전압을 플롯한 그래프이고, (b)는 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.

도 16은 종래부터 행해지고 있는 누설 자속법과 본 발명에서 사용하는 자속 저항법의 차이를 도시하는 설명도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 명세서에 있어서, 자성체 부재는 자성체를 포함하는 부재이며, 예를 들어 자성체를 포함하는 케이블, 와이어, 판상 부재, 각종 구조물 등을 들 수 있다. 또한, 자성체 부재의 결함으로서, 두께 감소 형상의 결함(이하, 두께 감소라고 칭한다), 균열 형상의 결함 등을 들 수 있다. 또한, 두께 감소란, 기계적인 마모나, 화학적인 부식 등에 의해 두께가 얇아지는 현상이다.

[0014] 본 발명의 일 실시 형태에 대해서 설명한다. 본 실시 형태에서는, 자성체 부재로서 자성체관을 검사 대상으로 하여, 자기 센서로서 홀 소자를 사용하고, 와류 탐상용 센서로서 여자·검출 코일을 사용해서 두께 감소를 검사하는 실시예에 대해서 설명하지만, 본 발명의 적용 대상은 자성체관에 한정하는 것도, 두께 감소의 검사에 한정하는 것도 아니다.

[0015] 또한, 본 실시 형태에서는, 본 발명의 결함 측정 장치를 「두께 감소 측정 장치」라고 칭한다. 또한, 본 발명의 결함이 검사 프로브와의 대향면인 표면에 발생하고 있는 표면 결함 및 당해 대향면의 이면에 발생하고 있는 이면 결함을, 각각 「외면 두께 감소」 및 「내면 두께 감소」라고 칭한다. 또한, 본 발명의 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 「두께 감소 범위」라고 칭하고, 당해 결함 범위를 산출하는 결함 범위 산출부를 「두께 감소 범위 산출부」라고 칭한다. 또한, 본 발명의 자성체관에 발생하고 있는 결함의 결함 깊이를 「두께 감소 깊이」라고 칭하고, 당해 결함 깊이를 산출하는 결함 깊이 산출부를 「결함 깊이 산출부」라고 칭한다. 또한, 본 발명의 와류 탐상용 센서를 사용한 와류 탐상 검사의 결과에 기초하여 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 표리의 어느 면에 존재하는지를 판정할 수

있는 결함면 판정부를, 「두께 감소면 판정부」라고 칭한다. 또한, 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 발생하고 있는 표면 결함인지, 당해 대향면의 이면에 발생하고 있는 이면 결함인지를 판정하는 결함면 판정을, 「두께 감소면 판정」이라고 칭한다.

[0016] (1-1. 검사 프로브(100)의 구성)

[0017] 도 1은 검사 프로브(100)의 단면 모식도이다. 또한, 도 2는 도 1에 도시한 A-A 단면의 단면도이다.

[0018] 본 실시 형태에서는, 검사 프로브(100)를 자성체관의 관 내에 삽입해서 관 내를 이동시킴으로써, 자성체관의 자화 와류 탐상법(자화 ECT(Eddy Current Testing)) 및 자속 저항법(MFR; Magnetic Flux Resistance)에 의한 검사를 행한다. 검사 대상인 자성체관으로서, 예를 들어 탄소강, 페라이트계 스테인리스강, 페라이트상 및 오스테나이트상의 2상을 포함하는 2상 스테인리스강 등의 자성체를 포함하는 관체를 사용할 수 있다.

[0019] 검사 프로브(100)는, 도 1에 도시한 바와 같이, 요크(1), 제1 자석(2), 제2 자석(3), 제3 자석(4), 여자·검출 코일(5), 와전류 제어 코일(6), 가이드(7, 8), 공기 도입 구멍(9), 공기 분사 구멍(10) 및 홀 소자(11)를 구비하고 있다.

[0020] 요크(1)는, 자성체를 포함하는 중공 원통형의 부재이다. 요크(1)를 구성하는 자성체로서는, 예를 들어 탄소강이나 저합금강 등의 고투과율 금속을 사용할 수 있다.

[0021] 제1 자석(2), 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)은, 요크(1)의 외주면에 설치되어 있고, 요크(1)의 축 방향을 따라서 할바흐 배열을 이루도록 이 순으로 배치되어 있다.

[0022] 구체적으로는, 제1 자석(2)은, 단일의 자석을 포함하는 중공 원통형 혹은 둘레 방향으로 복수로 분할된 자석을 조합한 중공 원통형으로 형성되어 있고, 요크(1)의 축 방향 중앙부(제2 자석(3)과 제3 자석(4) 사이에 끼인 위치)의 외주면을 따라 장착되어 있다. 본 실시 형태에서는, 제1 자석(2)은, 중공 원통형으로 형성되고, 그 축선이 요크(1)의 축선과 동일 직선 상이 되도록 요크(1)에 장착되어 있다. 또한, 제1 자석(2)은, 요크(1)의 축 방향으로 대략 평행한 방향을 따라 분극되어 있고, 제2 자석(3)측의 자극이 N극, 제3 자석(4)측의 자극이 S극이 되도록 착자되어 있다. 제1 자석(2)으로서, 예를 들어 네오디뮴 자석 등의 고성능 영구 자석이 사용된다.

[0023] 제2 자석(3)은, 요크(1)에 있어서의 제1 자석(2)에 대하여 축 방향의 일단부측의 외주면을 따라 장착되어 있다. 본 실시 형태에서는, 제2 자석(3)은, 단일의 자석을 포함하는 중공 원통형 혹은 둘레 방향으로 복수로 분할된 자석을 조합한 중공 원통형으로 형성되어 있고, 그 축선이 요크(1)의 축선과 동일 직선 상이 되도록 요크(1)에 장착되어 있다. 또한, 제2 자석(3)은, 요크(1)의 반경 방향(자성체관(P)과 대향하는 방향)을 따라 분극되어 있고, 요크(1)측의 자극이 S극, 그 반대측(검사 대상인 자성체관측)의 자극이 N극이 되도록 착자되어 있다. 제2 자석(3)으로서, 예를 들어 네오디뮴 자석 등의 고성능 영구 자석이 사용된다.

[0024] 제3 자석(4)은, 요크(1)에 있어서의 제1 자석(2)에 대하여 축 방향의 타단부측(제2 자석(3)이 배치되는 측에 대하여 반대측)의 외주면을 따라 장착된다. 본 실시 형태에서는, 제3 자석(4)은, 단일의 자석을 포함하는 중공 원통형 혹은 둘레 방향으로 복수로 분할된 자석을 조합한 중공 원통형으로 형성되어 있고, 그 축선이 요크(1)의 축선과 동일 직선 상이 되도록 요크(1)에 장착된다. 또한, 제3 자석(4)은, 요크(1)의 반경 방향(자성체관(P)과 대향하는 방향)을 따라 분극되어 있고, 자극 방향이 제2 자석(3)과는 반대가 되도록 착자되어 있다. 즉, 본 실시 형태에서는, 제3 자석(4)은, 요크(1)측의 자극이 N극, 그 반대측의 자극이 S극이 되도록 착자되어 있다. 제3 자석(4)으로서, 예를 들어 네오디뮴 자석 등의 고성능 영구 자석이 사용된다.

[0025] 이와 같이, 제2 자석(3)과 제3 자석(4) 사이에, 제2 자석(3)측의 자극이 N극, 제3 자석(4)측의 자극이 S극이 되도록 제1 자석(2)을 장착함으로써(즉, 할바흐 배열을 이루도록 제2 자석(3), 제1 자석(2) 및 제3 자석(4)을 배치함으로써), 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)에 의해 형성되는 자속의 강도(자속 밀도)를 크게 함과 함께 자속 분포를 균일하게 할 수 있다.

[0026] 또한, 제1 자석(2), 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)의 사이즈는, 검사 대상인 자성체관에 삽입 가능하면 특별히 한정되는 것은 아니지만, 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)의 요크(1)의 축 방향 외측의 단부(제1 자석(2)으로부터 먼 측의 단부)에 있어서의 자속 밀도가 1.4T 내지 2.4T의 범위 내가 되는 사이즈인 것이 바람직하고, 1.5T 내지 2.2T의 범위 내인 것이 보다 바람직하다. 자속 밀도가 상기 범위 내인 경우, 자속 밀도의 변화에 대한 검사 대상인 자성체관의 비투과율이 선형으로 변화한다. 이 때문에, 자속 밀도를 상기 범위 내로 설정함으로써, 후술하는 자속 저항법(MFR; Magnetic Flux Resistance)에 의한 검사를 보다 고정밀도로 행할 수 있다.

[0027] 또한, 자석의 배치 개수도 특별히 한정되는 것은 아니고, 예를 들어 제1 자석(2)과 제2 자석(3) 사이 및 제1 자

석(2)과 제3 자석(4) 사이 중 한쪽 또는 양쪽에, 또 다른 자석을 구비해도 된다. 또한, 그 경우, 각 자석이 할 바흐 배열을 이루도록 각 자석을 배치해도 된다.

- [0028] 또한, 제1 자석(2), 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)의 요크(1)에 대한 장착 방법은 특별히 한정되는 것은 아니고, 예를 들어 접착제 등에 의해 요크(1)에 장착 해도 되고, 요크(1)에 끼워 맞춰도 된다.
- [0029] 여자·검출 코일(5)은 요크(1)의 축 방향 중앙부에 배치된 제1 자석(2)의 외주면을 따라 권취되어 있고, 자성체관(P)에 있어서의 제2 자석(3), 제1 자석(2) 및 제3 자석(4)에 의해 자기 포화된 영역(혹은 와전류가 충분히 침투 가능한 정도로 투자율이 저하된 영역)을 와류 탐상하는, 와류 탐상 검사를 행하기 위한 것이다. 와류 탐상 검사를 행함으로써, 여자·검출 코일(5)이 자성체관의 두께 감소부를 통과했을 때, 두께 감소량(체적)에 따른 진폭과 두께 감소 깊이에 따른 위상에 상관하는 두께 감소 신호(검출 신호)가 검출된다. 여자·검출 코일(5)의 구성은, 상기 두께 감소 신호를 검출할 수 있으면 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들어 선 직경이 0.02 내지 1.0mm인 동선이고, 권취수가 10 내지 200회인 코일을 사용할 수 있다.
- [0030] 와전류 제어 코일(6)은, 제1 자석(2)의 외주면에 있어서의 여자·검출 코일(5)에 대하여 요크(1)의 축 방향의 양측 위치에 권취되어 있고, 여자·검출 코일(5)이 여기하는 와전류와는 역방향으로 흐르는 와전류를 여기한다. 와전류 제어 코일(6)을 설치함으로써, 여자·검출 코일(5)이 여기하는 와전류의 잉여적인 도전 범위를, 당해 여자 코일로 역방향의 와전류를 여기함으로써 상쇄하여, 와전류의 잉여적인 도전 범위를 억제할 수 있다.
- [0031] 또한, 도 1에서는, 여자·검출 코일(5) 및 와전류 제어 코일(6)의 도선 및 그 취출 구멍에 대해서는 도시를 대략한다.
- [0032] 도 3은 검사 프로브(100)에 있어서의 와류 탐상부의 회로도이다. 이 도면에 도시한 바와 같이, 2개의 여자·검출 코일(5)(La, Lb), 2개의 와전류 제어 코일(6)(Lc, Ld) 및 4개의 가변 저항기(R1, R2, R3, R4)가, 전원(13)과 와류 탐상기(12) 사이에 병렬로 접속되어 있고, 검출 코일(La, Lb)과 가변 저항기(R1, R2)가 휘트스톤 브리지 회로가 되도록, 와류 탐상기(12)의 입력 신호용 단자에 접속되어 있다.
- [0033] 와류 탐상기(12)의 출력 단자는 도선에 의해 후술하는 와류 탐상부(30)에 접속되어 있다.
- [0034] 또한, 와류 탐상 검사는, 다음과 같이 해서 행한다. 즉, 먼저, 소정의 시험 주파수(예를 들어 100kHz) 및 소정의 인가 전압(예를 들어 5v)일 때의 여자·검출 코일(5) 및 와전류 제어 코일(6)의 임피던스를 측정하고, 가변 저항기(R1, R2)의 저항값을, 그 측정된 저항값으로 조정한다. 또한, 이때의 여자·검출 코일(5)과 가변 저항기(R1, R2)의 합성 임피던스를 측정하고, 와전류 제어 코일(6)에 접속하는 가변 저항기(R3, R4)의 저항값을, 그 측정된 저항값의 전후로 변화시켜서 탐상하고, 최종적으로 검출 감도가 좋은 조건에서 탐상을 행한다. 검사 프로브(100)에 의한 탐상 속도는, 예를 들어 약 2 내지 50mm/초의 범위로 설정되고, 더 작은 두께 감소를 고정밀도로 검출할 필요가 있는 경우에는 약 2 내지 10mm/초의 범위로 설정된다.
- [0035] 홀 소자(11)는, 도 1 및 도 2에 도시한 바와 같이, 제3 자석(4)에 있어서의 제1 자석(2)으로부터 먼 측의 단부 근방의 위치에, 요크(1)의 둘레 방향을 따라 대략 균등한 간격으로 8개 배치되어 있다. 이들 각 홀 소자(11)는, 제3 자석(4)과 자성체관을 통하는 자속 밀도(자속의 강도)에 따른 전압값(출력 신호)을 후술하는 자속 저항 탐상부(40)에 출력한다. 즉, 홀 소자(11)는, 제3 자석(4) 및 자성체관(P)이 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하고, 검지 결과에 따른 출력 신호를 자속 저항 탐상부(40)에 출력한다. 자속 저항 탐상부(40)에서는, 각 홀 소자(11)의 출력 신호를 사용하여, 후술하는 자속 저항법에 의한 두께 감소의 정량적 평가를 행한다. 도 1에서는 홀 소자(11)의 도선 및 그 취출 구멍에 대해서는 도시를 대략한다.
- [0036] 또한, 본 실시 형태에서는, 요크(1)의 둘레 방향을 따라 8개의 홀 소자(11)를 배치하고 있지만, 홀 소자(11)의 개수는 이것에 한정하는 것은 아니다. 또한, 본 실시 형태에서는, 자기 센서로서 홀 소자를 사용하고 있지만, 자기 센서의 종류는 특별히 한정되는 것은 아니고, 자속 밀도에 따른 출력 신호를 출력 가능한 것이면 된다. 또한, 홀 소자(11)의 설치 위치는, 제3 자석(4)과 자성체관(P)을 통하는 자속 밀도를 측정 가능한 위치이면 되고, 예를 들어 제3 자석(4)에 대하여 검사 프로브(100)의 축 방향에 대향하는 위치여도 되고, 둘레 방향에 대향하는 위치여도 된다. 또한, 홀 소자(11)의 설치 위치는, 제3 자석(4)에 맞는 위치여도 되고, 제3 자석(4)으로부터 이격된 위치여도 된다.
- [0037] 또한, 본 실시 형태에서는, 홀 소자(11)에 의해 제3 자석(4)과 자성체관(P)을 통하는 자속 밀도를 측정하고 있지만, 이에 한정하지 않고, 홀 소자(11)를 제2 자석(3) 및 자성체관(P)이 형성하는 자기 회로 상에 배치하고, 제2 자석(3)과 자성체관(P)을 통하는 자속 밀도를 측정하도록 해도 된다. 또한, 제2 자석(3) 및 자성체관(P)이

형성하는 자기 회로 상과, 제3 자석(4) 및 자성체관(P)이 형성하는 자기 회로 상에 각각 홀 소자(11)를 배치하고, 제3 자석(4)과 자성체관(P)을 통하는 자속 밀도 및 제2 자석(3)과 자성체관(P)을 통하는 자속 밀도를 각각 측정하도록 해도 된다.

- [0038] 검사 프로브(100)의 축 방향 양단부에는, 가이드(7, 8)가 설치되어 있다. 가이드(7, 8)는, 예를 들어 아세탈 수지, 스테인리스강 등으로 형성되고, 나사 구조에 의해 요크(1)에 장착된다.
- [0039] 또한, 요크(1)의 축 방향의 양 단부면에 있어서의 요크(1)의 대략 중심부에는 공기 도입 구멍(9)이 설치되어 있고, 요크(1)의 양단부 근방에는 공기 도입 구멍(9)과 연통하여, 요크(1)의 반경 방향으로 연장되는 복수의 공기 분사 구멍(10)이 설치되어 있다. 이에 의해, 요크(1)의 양 단부면에 설치된 공기 도입 구멍(9)으로부터 공기가 도입되고, 공기 분사 구멍(10)으로부터 공기가 분사된다. 자성체관의 탐상에서는, 검사 프로브(100)에 장착한 강력한 영구 자석에 의한 관 내면으로 달라붙는 것에 의해, 검사 프로브(100)의 주사(이동) 및 센터링이 곤란해 지지만, 공기 분사 구멍(10)으로부터 자성체관에 있어서의 검사 프로브(100)와의 대향면에 대략 수직으로 공기가 분사됨으로써, 관으로 달라붙는 것을 경감시켜서 검사 프로브(100)의 주사를 용이하게 할 수 있다. 또한, 공기 분사 구멍(10)은, 예를 들어 구멍 직경이 약  $2\text{mm}\phi$  이고, 공기 도입 구멍(9)으로부터 둘레 방향으로 약 6 내지 10개 설치된다.
- [0040] (1-2. 자속 저항법 개요)
- [0041] 도 16은 종래부터 행해지고 있는 누설 자속법(MFL; Magnetic Flux Leakage)과 본 실시 형태에서 사용하는 자속 저항법(MFR; Magnetic Flux Resistance)의 차이를 도시하는 설명도이다.
- [0042] 누설 자속법에서는, 도 16에 도시한 바와 같이, 할바흐 배열로 배치된 제2 자석(3), 제1 자석(2) 및 제3 자석(4) 중, 중앙에 배치된 제1 자석(2)에 있어서의 자성체관(P)과의 대향면에 홀 소자(11b)를 배치하고, 이 홀 소자(11b)에 의해 자성체관(P) 내를 흐르는 자속이 자성체관(P)의 두께 감소부에서 관 밖으로 누설되는 것을 검출한다. 이 경우, 누설 자속이 발생하는 것은 두께 감소 단부 등의 형상 불연속부만이고, 도 16에 도시한 바와 같이, 전체면 두께 감소나 완만한 두께 감소부에서는 누설 자속은 발생하지 않는다. 따라서, 누설 자속법에서는, 전체면 두께 감소나 완만한 두께 감소부를 검출하거나, 두께 감소를 정량적으로 평가하거나 할 수 없다.
- [0043] 이에 반해, 자속 저항법에서는, 할바흐 배열의 단부에 배치된 자석(자성체관(P)과 대향하는 방향으로 분극한 제3 자석(4) 및 자성체관(P)이 형성하는 자기 회로 상에 홀 소자(11)를 배치하고, 당해 자석과 자성체관(P)을 흐르는 자속 밀도를 측정한다. 이에 의해, 자성체관(P)의 두께에 따라서 증감하는 자속 밀도를 직접 측정할 수 있으므로, 자속 저항법에서는, 전체면 두께 감소나 완만한 두께 감소부에 대해서도 검출할 수 있고, 또한 자성체관(P)의 두께 감소 깊이 및 두께를 정확하게 측정할 수 있다.
- [0044] (1-3. 두께 감소 판정 처리부(20)의 구성)
- [0045] 도 4는 본 실시 형태에 따른 두께 감소 측정 장치(200)의 구성을 도시하는 블록도이다. 또한, 도 5는 본 실시 형태에 있어서의 두께 감소 판정 처리의 개요를 도시하는 설명도이다.
- [0046] 두께 감소 측정 장치(200)는, 도 4에 도시한 바와 같이, 여자·검출 코일(5), 홀 소자(11) 및 두께 감소 판정 처리부(20)를 구비하고 있다. 또한, 두께 감소 판정 처리부(20)는, 와류 탐상부(30)와 자속 저항 탐상부(40)를 구비하고 있다.
- [0047] 본 실시 형태에서는, 도 4 및 도 5에 도시한 바와 같이, 여자·검출 코일(5)에 의해 와류 탐상 검사를 행하고, 이 와류 탐상 검사의 검출 신호를 사용해서 와류 탐상부(30)가 자성체관(P)의 내면에 두께 감소가 발생하고 있는지 외면에 두께 감소가 발생하고 있는지를 판단한다. 또한, 제3 자석(4)과 자성체관(P)을 흐르는 자속 밀도를 홀 소자(11)에 의해 검출하고, 이 검출 결과와 와류 탐상부(30)에 의한 두께 감소면의 판정 결과를 사용해서 자속 저항 탐상부(40)가 자성체관(P)의 두께 감소를 정량적으로 평가한다. 또한, 본 실시 형태에 있어서, 자성체관(P)의 내면이란, 자성체관(P)과 검사 프로브(100)의 대향면인 표면이고, 외면이란, 해당 대향면의 이면이다.
- [0048] 와류 탐상부(30)는, 도 4에 도시한 바와 같이, 제1 검출부(31), 제1 기억부(32) 및 와류 탐상 연산부(33)를 구비하고 있고, 와류 탐상 연산부(33)는 검출 위치 특정부(34) 및 두께 감소면 판정부(35)를 구비하고 있다.
- [0049] 또한, 자속 저항 탐상부(40)는, 제2 검출부(41), 제2 기억부(42) 및 자속 저항 연산부(43)를 구비하고 있고, 자속 저항 연산부(43)는 검출 위치 특정부(44), 단면 결손율 산출부(45), 형상 파라미터 산출부(46), 두께 감소

범위 산출부(47) 및 두께 감소 깊이 산출부(48)를 구비하고 있다.

- [0050] 제1 검출부(31)는, 여자·검출 코일(5)로부터 와류 탐상기(12)를 통해서 입력되는 검출 신호를 취득하고, 취득한 검출 신호와 당해 검출 신호가 검출된 검출 시각(검출 타이밍)을 대응지어 제1 기억부(32)에 기억시킨다.
- [0051] 제2 검출부(41)는, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값을 취득하고, 취득한 전압값과 당해 각 전압값의 검출 시각(검출 타이밍)을 대응지어 제2 기억부(42)에 기억시킨다.
- [0052] 제1 기억부(32) 및 제2 기억부(42)의 구성은 특별히 한정되는 것은 아니고, 예를 들어 자기 테이프나 카세트 테이프 등의 테이프계, 플로피(등록상표) 디스크/하드디스크 등의 자기 디스크나 CD-ROM/MO/MD/DVD/CD-R 등의 광 디스크를 포함하는 디스크계, IC 카드(메모리 카드를 포함한다)/광 카드 등의 카드계, 혹은 마스크 ROM/EPROM/EEPROM(등록상표)/플래시 ROM 등의 반도체 메모리계 등의 기록 매체를 사용할 수 있다.
- [0053] 검출 위치 특정부(34) 및 검출 위치 특정부(44)는, 제1 기억부(32)에 기억되어 있는 여자·검출 코일(5)의 검출 신호 및 그 검출 시각과, 제2 기억부(42)에 기억되어 있는 각 홀 소자(11)의 출력 전압값 및 그 검출 시각에 기초하여, 자성체관(P)에 있어서의 여자·검출 코일(5)의 검출 신호에 대응하는 검출 위치와 각 홀 소자(11)의 전압 출력값에 대응하는 검출 위치를 대응짓는다.
- [0054] 두께 감소면 판정부(35)는, 여자·검출 코일(5)의 검출 신호에 기초하여, 검사 대상인 자성체관에 존재하는 두께 감소가 내면 두께 감소인지 외면 두께 감소인지를 판정한다.
- [0055] 단면 결손율 산출부(45)는, 후술하는 단면 결손율 산출식에 기초하여 자성체관의 축 방향을 따른 각 위치에 있어서의 단면 결손율을 산출한다. 단면 결손율이란, 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 단면적에 대한 결손된 단면적의 비율이고, 결손한 단면적이란, 두께 감소에 의해 감소한 단면적이다. 또한, 본 실시 형태에서는, 상세는 후술하지만, 내면 두께 감소의 경우와 외면 두께 감소의 경우에 다른 단면 결손율 산출식을 사용한다.
- [0056] 형상 파라미터 산출부(46)는, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값에 기초하여 형상 파라미터를 산출한다. 본 실시 형태에서는, 형상 파라미터 산출부(46)는, 형상 파라미터로서, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값 중 최댓값인  $V_{max}$  와, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값을  $V_{max}$ 로 정규화(제산)한 값의 합계값인  $V_{all}$ 을 산출한다.
- [0057] 두께 감소 범위 산출부(47)는, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값에 기초하여, 자성체관의 두께 감소 범위를 산출한다.
- [0058] 두께 감소 깊이 산출부(48)는, 단면 결손율 산출부(45)가 산출한 단면 결손율과, 두께 감소 범위 산출부(47)가 산출한 두께 감소 범위에 기초하여, 자성체관의 직경 방향에 관한 두께 감소 깊이를 산출한다.
- [0059] 또한, 와류 탐상 연산부(33) 및 자속 저항 연산부(43)는, ASIC(Application specific integrated circuit) 등의 집적 회로(하드웨어 로직)여도 되고, CPU 등의 프로세서를 탑재한 컴퓨터가 소프트웨어를 실행함으로써 실현되는 것이어도 되고, 그들을 조합해서 실현되는 것이어도 된다.
- [0060] 또한, 와류 탐상 연산부(33) 및 자속 저항 연산부(43)는, 제1 검출부(31), 제1 기억부(32), 제2 검출부(41) 및 제2 기억부(42)와 공통의 하우징에 구비되는 것이어도 되고, 별개로 구비되는 것이어도 된다. 후자의 경우, 와류 탐상 연산부(33) 및 자속 저항 연산부(43)는, 제1 기억부(32) 및 제2 기억부(42)에 기억된 정보를, 유선 통신, 무선 통신, 혹은 착탈 가능한 기억 매체 등을 통해서 취득하고, 연산 처리를 행한다.
- [0061] (1-4. 두께 감소 검사 처리)
- [0062] 도 6은 본 실시 형태에 있어서의 두께 감소 검사 처리의 흐름을 나타내는 흐름도이다.
- [0063] 먼저, 검사 프로브(100)를 검사 대상인 자성체관에 삽입해서 자성체관 내를 축 방향을 따라서 이동시키면서 여자·검출 코일(5) 및 홀 소자(11)에 의한 측정 처리를 행한다(S1).
- [0064] 구체적으로는, 제1 검출부(31)가 여자·검출 코일(5)로부터 와류 탐상기(12)를 통해서 출력되는 검출 신호와 당해 검출 신호를 검출한 검출 시각을 취득하고, 그들을 대응지어 제1 기억부(32)에 기억시킨다. 또한, 제2 검출부(41)가 각 홀 소자(11)의 출력 전압값과 해당 전압값을 검출한 검출 시각을 취득하고, 그들을 대응지어 제2 기억부(42)에 기억시킨다.
- [0065] 또한, 검사 프로브(100)를 자성체관 내에서 이동시키는 방법은 특별히 한정되는 것은 아니고, 예를 들어 검사 프로브(100)에 접속한 와이어 등 인장함으로써 이동시켜도 되고, 검사 프로브(100)를 막대 형상의 부재로 누름

으로써 이동시켜도 되고, 검사 프로브(100)에 구동 수단을 설치해서 자주시켜도 된다.

- [0066] 이어서, 검출 위치 특정부(34 및 44)가, 제1 기억부(32)에 기억되어 있는 정보에 기초하여, 여자·검출 코일(5)의 검출 신호에 대응하는 검출 위치(자성체관의 축 방향의 위치)와, 홀 소자(11)의 출력 전압값에 대응하는 검출 위치(자성체관의 축 방향의 위치)를 대응짓는다(S2).
- [0067] 이어서, 두께 감소면 판정부(35)가, S2에서 대응지음을 행한 검출 위치의 1개를 주목 검출 위치로 해서 추출하고(S3), 당해 검출 위치의 두께 감소면 판정 처리(당해 검사 위치의 두께 감소가 외면 두께 감소인지 내면 두께 감소인지를 판정하는 처리)를 행한다(S4). 이에 의해, 본 실시 형태에서는, 외면 두께 감소인 경우에는 외면 두께 감소용 평가 알고리즘(S5 내지 S11)에 의해 두께 감소의 정량적 평가(단면 결손율, 두께 감소 범위 및 두께 감소 깊이의 산출)가 행해지고, 내면 두께 감소인 경우에는 내면 두께 감소용의 평가 알고리즘(S12 내지 S15)에 의해 두께 감소의 정량적 평가가 행해진다.
- [0068] 자화 와류 탐상법에 의한 측정 결과에서는, 두께 감소가 자성체관의 내면측에 존재하는 경우와 외면측에 존재하는 경우에 출력 전압값의 위상각이 명확하게 다르다. 구체적으로는, 자화 와류 탐상법에서는, X축을 X 방향의 전압 진폭으로 하고, Y축을 Y 방향의 전압 진폭으로 한 그래프에 있어서, 두께 감소가 내면에 존재하는 경우에는 검출 결과가 제1 사분면측으로 쏠리고, 두께 감소가 외면에 존재하는 경우에는 제3 사분면측으로 쏠린다. 따라서, 자화 와류 탐상법을 사용함으로써, 두께 감소가 자성체관의 내면측에 존재하는지 외면측에 존재하는지를 용이하게 판정할 수 있다.
- [0069] 또한, 본 실시 형태에서는, 두께 감소면(두께 감소가 자성체관의 외면측에 존재하는 두께 감소인지 내면측에 존재하는 두께 감소인지)을 자화 와류 탐상법에 의해 판정하고 있다. 이에 의해, 검사 프로브(100)를 사용하여, 자속 저항법에 의한 측정 데이터의 취득과 자화 와류 탐상법에 의한 측정 데이터의 취득을 동시에 행하여, 실시간으로 두께 감소면 판정을 행할 수 있다. 이 때문에, 내면 두께 감소 및 외면 두께 감소가 혼재하는 경우 등에는 자화 와류 탐상법에 의한 두께 감소면 판정이 특히 유리하다. 단, 두께 감소면의 판정 방법은 자화 와류 탐상법에 한정하는 것은 아니고, 다른 판정 방법을 사용해서 판정해도 된다. 또한, 예를 들어 검사 대상인 자성체관의 사용 환경이나 목시 검사 결과 등으로부터 두께 감소면을 특정할 수 있는 경우에는, 두께 감소면 판정을 유저가 행하게 해도 된다.
- [0070] 이어서, 단면 결손율 산출부(45)가, 두께 감소면 판정부(35)에 의한 두께 감소면의 판정 결과에 기초하여, 주목 검사 위치의 두께 감소가 외면 두께 감소인지의 여부를 판단한다(S5).
- [0071] S5에 있어서 외면 두께 감소라고 판단한 경우, 단면 결손율 산출부(45)는, 외면 두께 감소용 단면 결손율 산출식에 기초하여 단면 결손율 Cout를 산출한다(S6).
- [0072] 또한, 외면 두께 감소용 단면 결손율 산출식 및 내면 두께 감소용 단면 결손율 산출식은, 복수 종류의 두께 감소를 갖는 시험편(시험용 자성체관)을, 검사 프로브(100)를 사용해서 자속 저항법에 의해 측정한 결과에 기초해서 미리 설정해 둔다.
- [0073] 도 7의 (a)는 복수의 외면 두께 감소를 갖는 시험편의 일례를 나타내는 설명도이고, (b)는 복수의 내면 두께 감소를 갖는 시험편의 일례를 나타내는 설명도이다.
- [0074] 도 7의 (a)에 도시한 바와 같이, 외면 두께 감소의 시험편으로서, 외경 25.4mm, 두께 2.0mm인 STB관에, 두께 감소 범위 및 두께 감소율이 다른 9종류의 두께 감소를 형성한 시험편을 사용했다. 즉, [두께 감소 범위, 두께 감소율]이 각각 [45°, 25%], [45°, 50%], [45°, 75%], [90°, 25%], [90°, 50%], [90°, 75%], [135°, 25%], [135°, 50%], [135°, 75%]인 9종류의 두께 감소를 갖는 시험편을 사용했다. 또한, 둘레 방향의 두께 감소 범위가 360도라 한다면, 자성체관(P)의 전체 둘레에 걸쳐서 두께 감소가 발생하고 있는 것을 나타내고 있다. 또한, 본 실시 형태에 있어서의 두께 감소율이란, 건전한 상태에 있어서의 자성체관(P)의 두께에 대한, 자성체관(P)과 제1 자석(2)이 대향하는 방향에 있어서의 두께 감소부의 깊이의 비율을 나타내는 값이며, 두께 감소율이 75%라 한다면, 자성체관(P)의 두께가 건전한 상태의 1/4이 되어 있는 것을 나타낸다. 또한, 각 두께 감소에 있어서의 자성체관의 축 방향의 폭은 5mm이다.
- [0075] 또한, 도 7의 (b)에 도시한 바와 같이, 내면 두께 감소의 시험편으로서, (i) 외경 25.4mm, 두께 2.0mm인 STB관에, 직경 5mm, 두께 감소율 25%의 바닥이 평평한 구멍 형상의 두께 감소 및 직경 5mm, 두께 감소율 50%의 바닥이 평평한 구멍 형상의 두께 감소를 형성한 시험편과, (ii) 외경 25.4mm, 두께 2.0mm인 STB관에, 두께 감소 범위 90°, 두께 감소율 25%, 자성체관의 축 방향 폭 5mm의 두께 감소 및 두께 감소 범위 90°, 두께 감소율

50%, 자성체관의 축 방향 폭 5mm의 두께 감소를 형성한 시험편을 사용했다.

- [0076] 도 7의 (c)는, 도 7의 (a) 및 (b)에 나타난 각 시험편을 자속 저항법에 의해 측정된 결과(각 홀 소자(11)의 출력 전압값의 합계값  $V_{sum}(V)$ )와, 각 시험편에 있어서의 각 두께 감소의 실제의 단면 결손율(실측값에 기초하여 산출한 단면 결손율)의 관계를 나타내는 그래프이다. 상기 실측값은, 초음파 두께계 또는 수침 회전식 초음파 두께 측정법을 사용하여 측정했다. 또한, 이 그래프에는, 외면의 전체 둘레 홈 두께 감소(외면 둘레 홈 두께 감소) 및 내면의 전체 둘레 홈 두께 감소(내면 둘레 홈 두께 감소)를 측정된 결과에 대해서도 플롯하고 있다.
- [0077] 도 7의 (c)에 도시한 바와 같이, 국부 두께 감소의 경우나 전체 둘레 홈 두께 감소의 경우도, 전홀 소자(11)의 출력 전압값의 합계값  $V_{sum}$ 과 두께 감소의 단면 결손율 사이에는 매우 높은 상관성이 있고, 양자의 관계는 1차 함수에서 근사할 수 있다.
- [0078] 그래서, 본 실시 형태에서는, 미리 준비한 시험편의 측정 결과에 기초하는  $V_{sum}$ 과 실제의 단면 결손율의 관계에 기초하여,  $V_{sum}$ 으로부터 단면 결손율을 산출하기 위한 단면 결손율 산출식을 미리 산출해 둔다.
- [0079] 또한, 도 7의 (c)에 도시한 바와 같이,  $V_{sum}$ 과 단면 결손율의 그래프에 있어서, 외면 두께 감소용 단면 결손율 산출식과 내면 두께 감소용 단면 결손율 산출식은, 기울기는 거의 동일하지만, 내면 두께 감소용 쪽이 절편의 값이 작아진다. 즉, 외면 두께 감소용 단면 결손율  $C_{out}$ 를 산출하기 위한 단면 결손율 산출식은 「 $C_{out}=a \times V_{sum}$ 」으로 표현되는 데 반해, 내면 두께 감소용 단면 결손율  $C_{in}$ 을 산출하기 위한 단면 결손율 산출식은 「 $C_{in}=a \times V_{sum}-b$ 」로 표현된다. 또한, 상기 a, b의 값은, 측정 대상의 자성체관의 재질이나 사이즈 등에 따라서 미리 준비한 시험편의 측정을 행함으로써, 측정 대상의 자성체관의 두께 감소 검사 처리를 행하기 전에 결정해 둔다.
- [0080] S6에서 외면 두께 감소의 단면 결손율  $C_{out}$ 를 산출한 후, 형상 파라미터 산출부(46)가, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값에 기초하여, 소정의 형상 파라미터를 산출한다(S7).
- [0081] 본 실시 형태에서는, 형상 파라미터로서, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값 중 최댓값인  $V_{max}$ 와, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값을  $V_{max}$ 으로 정규화한 값의 합계값인  $V_{all}$ 을 산출한다.
- [0082] 도 8은 전체면 두께 감소 및 국부 두께 감소를 탐상했을 때의 8개의 홀 소자(11)(ch1 내지 ch8)의 출력 전압값의 일례를 나타내는 설명도이다. 이 도면에 도시한 바와 같이, 모든 홀 소자(11)의 출력 전압값이 대략 동일해지는 전체면 두께 감소에서는, 출력 전압값은 직사각형의 분포가 된다. 한편, 국부 두께 감소의 경우, 국부 두께 감소 개소의 바로 아래에 배치된 홀 소자(11)의 출력 전압값이 가장 높아지고, 거기에서 이격됨에 따라서 출력 전압값이 낮아지는 산형의 분포가 된다.
- [0083] 이어서, 두께 감소 범위 산출부(47)가, 형상 파라미터 산출부(46)에 의해 산출된 형상 파라미터( $V_{max}$ ,  $V_{all}$ )를 사용한 소정의 제1 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출 가능한지 여부를 판정한다(S8). 또한, S8에 있어서의 판정 방법에 대해서는 후술한다.
- [0084] 그리고, S8에 있어서 제1 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출 가능하다고 판단한 경우에는 두께 감소 범위 산출부(47)는 제1 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출하고(S9), 제1 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출할 수 없다고 판단한 경우에는 두께 감소 범위 산출부(47)는 소정의 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출한다(S10).
- [0085] 도 9는 상술한 외면 두께 감소의 시험편(도 7의 (a) 참조) 및 내부 두께 감소의 시험편(도 7의 (b) 참조)을 탐상한 결과에 기초해서  $V_{max}$  및  $V_{all}$ 을 산출하고, 횡축을  $V_{all}$ , 종축을  $V_{max}$ 로서 플롯한 그래프이다. 또한, 도 10은 도 9에 나타난 데이터 중 외부 두께 감소의 시험편에 관한 데이터를 추출한 그래프이다.
- [0086] 도 9 및 도 10에 도시한 바와 같이, 외면 두께 감소에 대해서는,  $V_{all}$ 이 소정값(예를 들어 3V) 이상인 경우,  $V_{all}$  및  $V_{max}$ 를 플롯한 그래프에 있어서, 둘레 방향의 두께 감소 범위에 따른 명확한 분포가 얻어진다. 따라서, 외면 두께 감소의 시험편을 탐상한 결과에 기초해서 두께 감소 범위마다  $V_{all}$ 과  $V_{max}$ 의 상관 관계를 나타내는 함수(두께 감소 범위 산출용 데이터)를 각각 산출해 두고, 그들 함수를 사용한 보간 연산을 행함으로써, 검사 대상인 자성체관을 탐상해서 얻어진  $V_{all}$  및  $V_{max}$ 에 대응하는 두께 감소 범위를 산출할 수 있다. 본 실시 형태에서는 이 산출 방법을 제1 산출 방법이라고 칭한다.
- [0087] 구체적으로는, 제1 산출 방법에서는, 외면 두께 감소의 시험편을 탐상한 결과에 기초하여, 두께 감소 범위 45° 인 경우의  $V_{all}$ 과  $V_{max}$ 의 상관 관계를 나타내는 직선 L45, 두께 감소 범위 90° 인 경우의  $V_{all}$ 과  $V_{max}$ 의 상관 관계를 나타내는 직선 L90 및 두께 감소 범위 135° 인 경우의  $V_{all}$ 과  $V_{max}$ 의 상관 관계를 나타내는 직선 L135를

각각 미리 산출해 둔다.

- [0088] 그리고, 검사 대상인 자성체관을 탐상해서 얻어진  $V_{max}$ 와 각 직선 L45, L90, L135와의 교점을 산출하고, 검사 대상인 자성체관을 탐상해서 얻어진  $V_{a11}$ 과 상기 각 교점과의 차를 산출하고, 산출한 각 차의 비에 따라서 두께 감소 범위를 산출한다.
- [0089] 예를 들어, 외면 국부 두께 감소의  $V_{max}$ 값이 0.15V,  $V_{a11}$ 값이 3.8인 경우, 도 10에 도시한 바와 같이, 직선 L90 및 L135 상의  $V_{max}=0.15$ 에 대응하는  $V_{a11}$ 의 값 a, b를 각각 산출한다. 그리고,  $(b-3.8)$ 과  $(3.8-a)$ 의 비에 따라서 두께 감소 범위를 산출한다. 예를 들어, 검사 대상의 두께 감소의 두께 감소 범위를 X라 하면, 「 $(135-X):(X-90)=(b-3.8):(3.8-a)$ 」의 관계로부터, 두께 감소 범위 X를 산출한다. 이에 의해,  $V_{max}=0.15V$ ,  $V_{a11}=3.8$ 인 경우의 두께 감소 범위는 약  $100^\circ$ 로 산출된다.
- [0090] 한편, 외부 두께 감소라도, 예를 들어 8개의 홀 소자(11) 중 1개밖에 자속 변화를 검출할 수 없는 두께 감소 범위가 좁은 국부 두께 감소의 경우,  $V_{a11}$ 값이 평가 맵(도 10의 그래프)의 범위 밖이 되어 버려, 상기 제1 산출 방법에서는 두께 감소 범위를 산출할 수 없다.
- [0091] 또한, 내부 두께 감소의 경우, 도 9에 도시한 바와 같이, 외부 두께 감소에 비하여  $V_{a11}$ 이 작고,  $V_{max}$ 가 크다고 하는 경향이 보였지만, 외면 두께 감소와 같은 둘레 방향의 두께 감소 범위에 따른 명확한 분포는 얻을 수 없다. 이것은, 내면 두께 감소의 바로 하부에서는, 홀 소자(11)와 자성체관 사이의 공간이 넓어짐으로써 외관 상의 자기 저항이 증가해서 출력 신호  $V_{max}$ 가 커지고, 이  $V_{max}$ 로 정규화했을 때  $V_{a11}$ 이 균일하게 작아지기 때문이라 생각된다.
- [0092] 그래서, 본 실시 형태에서는, 두께 감소 범위 산출부(47)가, (i) 외부 두께 감소이며  $V_{a11}$ 의 값이 소정값(예를 들어 3) 미만인 경우 및 (ii) 내부 두께 감소의 경우에는, 제1 산출 방법이 아니고, 이하에서 설명하는 제2 산출 방법을 사용해서 두께 감소 범위를 산출한다. 즉, 두께 감소 범위 산출부(47)는, 외부 두께 감소의 경우, S8의 처리에 있어서  $V_{a11}$ 의 값이 소정값 이상인지 여부를 판단하여, 소정값 이상인 경우에는 S9에 있어서 제1 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출하고, 소정값 미만인 경우에는 S10에 있어서 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출한다. 또한, 두께 감소 범위 산출부(47)는, 내부 두께 감소의 경우, 후술하는 S14의 처리에 있어서 제2 산출 방법을 사용해서 두께 감소 범위를 산출한다.
- [0093] 도 11은 제2 산출 방법에 의한 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.
- [0094] 제2 산출 방법에서는, 먼저, 시험편에 형성된 두께 감소의 1개를 기준 두께 감소로서 추출한다. 본 실시 형태에서는, 외면 두께 감소를 측정하는 경우의 기준 두께 감소를 두께 감소 범위  $45^\circ$ , 두께 감소율 25%의 두께 감소를 기준 두께 감소로 한다. 또한, 내면 두께 감소를 측정하는 경우, 두께 감소 범위  $90^\circ$ , 두께 감소율 50%의 두께 감소(호 형상 두께 감소)를 기준 두께 감소로 한다. 또한, 시험편에 있어서의 어느 두께 감소를 기준 두께 감소로 할지는, 사전에 검증 실험을 행하고, 그 실험 결과에 따라서 적절히 선택하면 된다.
- [0095] 그리고, 기준 두께 감소의 형상 프로파일(각 홀 소자(11)의 출력 전압을  $V_{max}$ 로 정규화한 값을 연결해서 이루어지는 프로파일)인 기준 프로파일(도 11 참조)에 있어서,  $V_{max}$ 가 검출된 홀 소자(11)의 양옆에 배치된 홀 소자(11)의 출력 전압값의 평균값을 기준값으로 하고, 기준 프로파일에 있어서의 기준값에 대응하는 2점간의 거리 L1을 산출한다.
- [0096] 또한, 검출 대상의 자성체관을 탐상한 결과에 기초해서 얻어지는 형상 프로파일에 있어서의 상기 기준값에 대응하는 2점간의 거리 L2를 산출한다. 또한, 검출 대상의 자성체관을 탐상한 결과에 기초해서 얻어지는 형상 프로파일의 폭 L2가 기준 프로파일의 폭 L1보다 좁은 경우( $L1 > L2$ 인 경우),  $V_{max}=1$ 과,  $V_{max}$ 가 검출된 홀 소자(11)의 양옆의 홀 소자(11)의 출력 전압을 각각  $V_{max}$ 로 정규화한 값을 직선 또는 곡선으로 연결하는 가상 프로파일을 구하고, 이 가상 프로파일에 있어서의 상기 기준값에 대응하는 2점간의 거리를 거리 L2로서 산출하면 된다.
- [0097] 그 후, 기준 결과의 두께 감소 범위(본 실시 형태에서는  $45^\circ$ )에 L2/L1을 승산한 값을 검출 대상의 자성체관의 두께 감소 범위로서 산출한다.
- [0098] 그리고, S9 또는 S10에 있어서 두께 감소 범위를 산출한 후, 두께 감소 깊이 산출부(48)가, 두께 감소 결손율과 두께 감소 범위에 기초하여 두께 감소 깊이를 산출한다(S11).
- [0099] 또한, 외면 두께 감소의 경우의 두께 감소 깊이 d는, 검사 대상인 자성체관의 외경 반경을 r(mm), 건전부의 두께를 t(mm), 두께 감소 결손율을 S(%), 두께 감소 범위를  $\theta(^\circ)$ 라 하면,

- [0100]  $d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \Theta)\}^{1/2}$
- [0101]로부터 산출할 수 있다.
- [0102] 한편, S5에 있어서 외면 두께 감소가 아니라고(내면 두께 감소라고) 판단한 경우, 단면 결손율 산출부(45)는, 상술한 내면 두께 감소용 단면 결손율 산출식에 기초하여 단면 결손율 Cin을 산출한다(S12).
- [0103] 이어서, 형상 파라미터 산출부(46)가, 각 홀 소자(11)의 출력 전압값에 기초하여, 형상 파라미터를 산출한다(S13). 본 실시 형태에서는, 외면 두께 감소의 경우와 마찬가지로, 형상 파라미터로서, Vmax와 Vall을 산출한다.
- [0104] 그 후, 두께 감소 범위 산출부(47)가, 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출한다(S14). 또한, 본 실시 형태에서는, 상술한 바와 같이, 내면 두께 감소를 측정하는 경우, 두께 감소 범위 90°, 두께 감소율 50%의 두께 감소(호 형상 두께 감소)를 기준 두께 감소라 하고, 이 기준 두께 감소의 형상 프로파일을 기준 프로파일로서 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위를 산출한다. 도 12는 제2 산출 방법에 의한 두께 감소 범위의 산출 방법을 도시하는 설명도이다.
- [0105] 그리고, S14에서 두께 감소 범위를 산출한 후, 두께 감소 깊이 산출부(48)가, 두께 감소 결손율과 두께 감소 범위에 기초하여 두께 감소 깊이를 산출하고(S15), 처리를 종료한다.
- [0106] 또한, 내면 두께 감소의 경우의 두께 감소 깊이 d는, 검사 대상인 자성체관의 외경의 반경을 r(mm), 건전부의 두께를 t(mm), 두께 감소 결손율을 S(%), 두께 감소 범위를  $\Theta(^{\circ})$ 라 하면,
- [0107]  $d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \Theta)\}^{1/2}-(r-t)$
- [0108]로부터 산출할 수 있다.
- [0109] 그 후, 두께 감소면 판정부(35)가, 모든 검사 위치에 대해서 단면 결손율, 두께 감소 범위 및 두께 감소 깊이의 산출 처리가 완료되었는지 여부를 판단하고(S16), 산출 처리를 행하지 않은 검출 위치가 남아 있는 경우에는 S3으로 되돌아가서 마찬가지로 처리를 반복한다. 또한, S16에 있어서 모든 검출 위치에 대해서 산출 처리가 완료되었다고 판단한 경우, 두께 감소 검사 처리를 종료한다.
- [0110] 도 13은 본 실시 형태의 방법에 의해 실기에서 사용된 관을 측정해서 얻어진 두께 평가값과, 실기에서 사용된 관을 실측해서 구한 두께 실측값의 관계를 나타내는 그래프이다. 두께 평가값은, 본 실시 형태의 방법에서 실기에서 사용된 관의 두께 감소 깊이를 산출하고, 건전한 상태에 있어서의 관의 두께와 해당 두께 감소 깊이의 차를 구함으로써 산출하고, 두께 실측값은, 초음파 두께계 또는 수침 회전식 초음파 두께 측정법을 사용하여 측정했다. 이 도면에 도시한 바와 같이, 본 실시 형태에 따른 방법에 의해, 대략  $\pm 0.15\text{mm}$ 의 정밀도로 두께 평가를 행할 수 있었다.
- [0111] (1-5. 두께 감소 검사의 평가예)
- [0112] (1-5-1. 내면 두께 감소의 평가예)
- [0113] 도 14의 (a)는, 내면 두께 감소가 발생하고 있는 외경 27.2mm, 두께 2.6mm의 STB관(자성체관)을 검사했을 때의 각 홀 소자(11)의 출력 전압을 플롯한 그래프이다.
- [0114] 이 평가예에서는, 도 14의 (a)에 도시한 바와 같이, 두께 감소는 둘레 방향의 일부 위치에 치우쳐서 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 이 평가예에서는, 홀 소자(11)의 출력 전압이 둘레 방향에서 피크를 1개만 갖는 비교적 완만한 국부 두께 감소가 발생하였다.
- [0115] 이 평가예에 대해서, 도 14의 (a)에 나타낸 대표적인 두께 감소부를 도 6에 나타낸 플로우에 따라서 평가한바, 이하의 결과가 얻어졌다.
- [0116] <대표적인 두께 감소부의 평가 결과>
- [0117] (1) 두께 감소면 판정 결과: 내면 두께 감소
- [0118] (2) 각 홀 소자(11)의 출력 전압 합계값  $V_{\text{sum}}=1.19\text{V}$
- [0119] (3) 단면 결손율 $S=16.7\%(35.9\text{mm}^2)$ ( $a=16.163$ ,  $b=2.5$ )

- [0120] (4) 둘레 방향의 두께 감소 범위  $\theta=110^\circ$
- [0121] (내면 두께 감소인 점에서 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위  $\theta$ 를 산출했다. 즉, 도 14의 (b)에 도시하는 바와 같이 L1, L2를 구하고,  $L2/L1=1.96$ 을 산출했다. 그리고,  $L2/L1$ 을 기준 두께 감소의 두께 감소 범위( $56.3^\circ$ )에 승산함으로써, 상기 평가예의 두께 감소 범위  $\theta=56.3 \times 1.96 \approx 110^\circ$ 를 산출했다)
- [0122] (5) 두께 감소 깊이  $d=1.6\text{mm}$
- [0123] (내면 두께 감소인 점에서,  $d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}-(r-t)$ 로부터 두께 감소 깊이  $d$ 를 산출했다)
- [0124] (1-5-2. 외면 두께 감소의 평가예)
- [0125] 도 15의 (a)는, 외면 두께 감소가 발생하고 있는 외경 25.4mm, 두께 2.0mm인 STB관(자성체관)을 검사했을 때의 각 홀 소자(11)의 출력 전압을 플롯한 그래프이다.
- [0126] 이 평가예에서는, 도 15의 (a)에 도시한 바와 같이, 부식(두께 감소)은 관축 방향의 대략 전역에 걸쳐 국부 두께 감소 및 배플부에서의 국부 두께 감소가 발생하였다.
- [0127] 이 평가예에 대해서, 대표적인 두께 감소부를 도 6에 나타낸 플로우에 따라서 평가한바, 이하의 결과가 얻어졌다.
- [0128] <대표적인 두께 감소부의 평가 결과>
- [0129] (1) 두께 감소면 판정 결과: 외면 두께 감소
- [0130] (2) 각 홀 소자(11)의 출력 전압 합계값  $V_{\text{sum}}=0.27\text{V}$
- [0131] (3) 단면 결손율  $S=4.4\%$  ( $6.5\text{mm}^2$ )( $a=16.163$ )
- [0132] (4) 두께 감소 범위  $\theta=51.3^\circ$
- [0133] (외면 두께 감소이지만,  $V_{a11}<3.0\text{V}$ 이므로 제2 산출 방법에 의해 두께 감소 범위  $\theta$ 를 산출했다. 즉, 도 15의 (b)에 도시하는 바와 같이 L1, L2를 구하고,  $L2/L1=1.14$ 를 산출했다. 그리고,  $L2/L1$ 을 기준 두께 감소의 두께 감소 범위( $45.0^\circ$ )에 승산함으로써, 상기 평가예의 두께 감소 범위  $\theta=45.0 \times 1.14 \approx 51.3^\circ$ 를 산출했다)
- [0134] (5) 두께 감소 깊이  $d=0.69\text{mm}$
- [0135] (외면 두께 감소인 점에서,  $d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}$ 로부터 두께 감소 깊이  $d$ 를 산출했다)
- [0136] (1-6. 정리)
- [0137] 이상과 같이, 본 실시 형태에서는, 검사 프로브(100)는, 제3 자석(4)과, 제3 자석(4)과 자성체관이 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 홀 소자(11)를 구비하고 있고, 이 검사 프로브(100)를 자성체관 내에서 축 방향을 따라서 이동시켰을 때의 홀 소자(11)의 출력 신호에 기초하여 자성체관의 두께 감소의 정량적 평가를 행한다. 이때, 두께 감소가 자성체관의 내면측에 발생하고 있는지 이면측에 발생하고 있는지(내면 두께 감소인지 외면 두께 감소인지)에 따라서, 내면 두께 감소용의 평가 알고리즘 또는 외면 두께 감소용의 평가 알고리즘을 적용해서 두께 감소의 정량적 평가를 행한다.
- [0138] 이에 의해, 결함의 정량적 평가를 정확하고 또한 신속하게 행할 수 있다. 즉, 종래의 자화 와류 탐상 시험이나 누설 자속법에서는, 결함의 유무를 검사할 수 있기는 하지만 결함의 정량적 평가를 행할 수 없었는데, 본 실시 형태에 따른 방법에 따르면, 자성체관의 결함 정량적 평가를 정확하게 행할 수 있다. 또한, 종래의 수침 회전식 초음파 두께 측정법에서는, 결함의 정량적 평가를 행할 수 있기는 하지만 검사 속도가 느리다고 하는 문제가 있었는데, 본 실시 형태에 따른 방법에 따르면 결함 정량적 평가를 신속하게 행할 수 있다.
- [0139] 또한, 본 실시 형태에서는, 검사 프로브(100)가, 요크(1)를 구비하고 있는 구성을 나타냈지만, 반드시 요크(1)를 구비하고 있을 필요는 없다. 즉, 검사 프로브(100)는, 도 5에 도시한 자속 밀도를 자성체관(P)에 작용할 수 있는 구성이면 된다.
- [0140] 또한, 본 실시 형태에서는, 검사 프로브(100)에 있어서의 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)의 분극 방향이, 자성체관(P)과 대향하는 방향이 되도록 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)이 배치되어 있는 구성을 나타냈지만, 이에 한정하는 것은 아니고, 도 5에 도시하는 자속 밀도를 자성체관(P)에 작용시킬 수 있는 구성이면 된다. 예를 들어, 제2

자석(3) 및 제3 자석(4)은, 자성체관(P)의 축 방향과 분극 방향이 평행해지도록 배치되어 있어도 된다. 그러한 경우에도, 홀 소자(11) 및 요크(1)는, 제2 자석(3) 및 제3 자석(4)과 자성체관(P)으로 구성되는 자기 회로 위에 설치되어 있으면 된다.

[0141] 또한, 본 실시 형태에서는, 검사 프로브(100)를 검사 대상인 자성체관(P)에 삽입하고, 자성체관(P) 내를 축 방향을 따라서 이동시키면서 홀 소자(11)에 의한 측정 처리를 행하는 구성으로 하였지만, 이것에 한정하는 것은 아니다. 즉, 검사 프로브(100)를 검사 대상인 자성체관(P)에 삽입하고, 자성체관(P)에 있어서의 임의의 위치에서 홀 소자(11)의 출력을 측정함으로써, 자성체관(P)의 당해 위치에 있어서의 결합의 정량적 평가를 행하는 구성으로 해도 된다.

[0142] (기타)

[0143] 본 발명의 일 형태에 따른 결합 측정 방법은, 자성체 부재의 결합 측정 방법이며, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브를 사용하여, 상기 자기 센서의 출력을 측정하는 측정 공정과, 결합이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 발생하고 있는 표면 결합인지, 당해 대향면의 이면에 발생하고 있는 이면 결합인지를 판정하는 결합면 판정 공정과, 표면 결합 및 이면 결합 각각에 대해서 미리 설정된 평가 알고리즘 중, 상기 결합면 판정 공정의 판정 결과에 따른 평가 알고리즘을 상기 자기 센서의 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결합의 정량적 평가를 행하는 평가 공정을 포함하는 것을 특징으로 하고 있다.

[0144] 상기 방법에 따르면, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브를 사용해서 상기 자기 센서의 출력을 측정하고, 상기 자기 센서의 출력 신호에, 결합면 판정 공정의 판정 결과에 따른 평가 알고리즘을 적용함으로써, 자속 저항법을 사용해서 결합의 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0145] 또한, 상기 자성체 부재의 와류 탐상 검사를 행하는 와류 탐상 공정을 포함하고, 상기 결합면 판정 공정에서는, 상기 와류 탐상 검사의 결과에 기초하여 결합이 상기 자성체 부재의 표리의 어느 면에 존재하는지를 판정하도록 해도 된다.

[0146] 상기 구성에 따르면, 와류 탐상 검사에 의해 표면 결합인지 이면 결합인지를 판정하고, 그 판정 결과에 따른 평가 알고리즘을 적용함으로써, 자속 저항법을 사용해서 결합의 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0147] 또한, 상기 검사 프로브는, 상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 자석에 있어서의 상기 자성체 부재와의 대향면측에 배치되어 있는, 상기 와류 탐상 검사를 행하기 위한 와류 탐상용 센서를 구비하고, 상기 자기 센서는, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 것이어도 된다.

[0148] 상기 구성에 따르면, 와류 탐상 공정과 측정 공정을 병행하여 행할 수 있으므로, 작업 효율을 향상시킬 수 있다.

[0149] 또한, 상기 자성체 부재는 자성체관이며, 상기 측정 공정에서는, 상기 검사 프로브를 상기 자성체관 내에서 당해 자성체관의 축 방향을 따라서 이동시키도록 해도 된다.

[0150] 상기 방법에 따르면, 자성체관의 결합의 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0151] 또한, 상기 자기 센서는, 자속 밀도에 따른 전압값을 출력하고, 상기 평가 공정은, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 단면적에 대한 결손된 단면적의 비율인 단면 결손율을 산출하는 단면 결손율 산출 공정을 포함하고, 상기 단면 결손율 산출 공정에서는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결합을 상기 각 자기 센서에 의해 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값과 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결합의 실제의 단면 결손율의 관계에 기초하여 미리 설정된 단면 결손율 산출식과, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값에 기초하여 상기 자성체관의 단면 결손율을 산출하도록 해도 된다.

[0152] 상기 방법에 따르면, 자성체관의 결합 단면 결손율을 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0153] 또한, 상기 평가 공정은, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결합의 범위

를 나타내는 결함 범위를 산출하는 결함 범위 산출 공정을 포함하고, 상기 결함 범위 산출 공정에서는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값 및 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위와의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관에 있어서의 결함의 결함 범위를 산출하도록 해도 된다.

[0154] 상기 방법에 따르면, 자성체관 결함 결함 범위를 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0155] 또한, 상기 평가 공정은, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출하는 결함 범위 산출 공정과, 상기 자성체관에 발생하고 있는 결함의 결함 깊이를 산출하는 결함 깊이 산출 공정을 포함하고, 상기 결함 범위 산출 공정에서는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최댓값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값 및 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위와의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최댓값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최댓값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관에 있어서의 결함의 결함 범위를 산출하고, 상기 결함 깊이 산출 공정에서는, 상기 자성체관의 외경의 반경을  $r(\text{mm})$ , 상기 단면 결손율 산출 공정에서 산출한 단면 결손율을  $S(\%)$ , 상기 결함 범위 산출 공정에서 산출한 결함 범위를  $\theta(^{\circ})$ , 결함 깊이를  $d(\text{mm})$ 라 하면, 결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면의 이면에 존재하는 경우에는,  $d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}$ 에 기초하여 결함 깊이를 산출하고, 결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 존재하는 경우에는,  $d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}-(r-t)$ 에 기초해서 결함 깊이를 산출하도록 해도 된다.

[0156] 상기 방법에 따르면, 자성체관의 결함의 결함 깊이를 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0157] 본 발명의 일 형태에 따른 결함 측정 장치는, 자성체 부재의 결함 측정 장치이며, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브와, 상기 자기 센서의 출력 신호에 기초하여 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 자속 저항 연산부를 구비하고, 상기 자속 저항 연산부는, 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면 및 당해 대향면의 이면 중 어디에 형성되어 있는지에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 상기 출력 신호에 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 구성이다.

[0158] 상기 구성에 따르면, 자석과, 상기 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하는 검사 프로브를 사용하여, 상기 자기 센서의 출력 신호에, 결함이 자성체 부재의 표면 및 이면 중 어디에 형성되어 있는지에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 적용함으로써, 자속 저항법을 사용해서 결함의 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0159] 또한, 상기 검사 프로브는, 상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 와류 탐상용 센서와, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하고 있고, 상기 와류 탐상용 센서를 사용한 와류 탐상 검사의 결과에 기초하여 결함이 상기 자성체 부재에 있어서의 표리의 어느 면에 존재하는지를 판정할 수 있는 결함면 판정부를 구비하고, 상기 출력 신호에 상기 결함면 판정부의 판정 결과에 따라서 선택되는 평가 알고리즘을 적용함으로써, 상기 자성체 부재의 결함의 정량적 평가를 행할 수 있는 구성으로 해도 된다.

[0160] 상기 구성에 따르면, 와류 탐상용 센서에 의한 측정과 자기 센서에 의한 측정을 병행해서 행할 수 있으므로, 작업 효율을 향상시킬 수 있다.

[0161] 또한, 상기 자성체 부재는 자성체관이며, 상기 자속 저항 연산부는, 상기 검사 프로브를 자성체관 내에서 당해 자성체관의 축 방향을 따라서 이동시켰을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 신호에 기초하여 상기 자성체관의 결함 정량적 평가를 행할 수 있는 구성으로 해도 된다.

[0162] 상기 구성에 따르면, 자성체관의 결함의 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0163] 또한, 상기 자기 센서는, 자속 밀도에 따른 전압값을 출력하고, 상기 자속 저항 연산부는, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직한 단면에 있어서의 단면적에 대한 결손된 단면적의 비율인 단면 결손율을 산출할 수 있는 단면

결손을 산출부를 구비하고, 상기 단면 결손을 산출부는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 상기 각 자기 센서에 의해 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값과, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 단면 결손율의 관계에 기초하여 미리 설정된 단면 결손율 산출식과, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 합계값에 기초하여 상기 자성체관의 단면 결손율을 산출할 수 있는 구성으로 해도 된다.

[0164] 상기 구성에 따르면, 자성체관의 결함의 단면 결손율을 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0165] 또한, 상기 자속 저항 연산부는, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출할 수 있는 결함 범위 산출부를 구비하고, 상기 결함 범위 산출부는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최대값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최대값으로 제산한 값의 합계값, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최대값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최대값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관의 결함 범위를 산출할 수 있는 구성으로 해도 된다.

[0166] 상기 구성에 따르면, 자성체관의 결함 결함 범위를 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0167] 또한, 상기 자속 저항 연산부는, 상기 자성체관의 축 방향으로 수직인 단면에 있어서의 둘레 방향을 따른 결함의 범위를 나타내는 결함 범위를 산출할 수 있는 결함 범위 산출부와, 상기 자성체관에 발생하고 있는 결함의 결함 깊이를 산출하는 결함 깊이 산출부를 구비하고, 상기 결함 범위 산출부는, 시험용 자성체관에 형성된 복수 종류의 결함을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값 중 최대값, 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최대값으로 제산한 값의 합계값, 시험용 자성체관에 형성된 상기 각 결함의 실제의 결함 범위의 관계에 기초하여 미리 설정된 결함 범위 산출용 데이터와, 상기 자성체관을 측정했을 때의 상기 각 자기 센서의 출력 전압값의 최대값 및 상기 각 자기 센서의 출력 전압값을 상기 최대값으로 제산한 값의 합계값에 기초하여, 상기 자성체관의 결함 범위를 산출하고, 상기 결함 깊이 산출부는, 상기 자성체관의 외경 반경을  $r(\text{mm})$ , 상기 단면 결손율 산출부가 산출한 단면 결손율을  $S(\%)$ , 상기 결함 범위 산출부가 산출한 결함 범위를  $\theta(^{\circ})$ , 결함 깊이를  $d(\text{mm})$ 라 하면, 결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면의 이면에 존재하는 경우에는,  $d=r-\{r^2-S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}$ 에 기초하여 결함 깊이를 산출하고, 결함이 상기 자성체관에 있어서의 상기 검사 프로브와의 대향면인 표면에 존재하는 경우에는,  $d=\{(r-t)^2+S \cdot 360/(\pi \cdot \theta)\}^{1/2}-(r-t)$ 에 기초해서 결함 깊이를 산출할 수 있는 구성으로 해도 된다.

[0168] 상기 구성에 따르면, 자성체관의 결함의 결함 깊이를 신속하고 또한 적절하게 산출할 수 있다.

[0169] 본 발명의 일 형태에 따른 검사 프로브는, 자성체 부재의 결함을 검사하기 위한 검사 프로브이며, 상기 자성체 부재와의 대향면을 따라 할바흐 배열을 이루도록 배치되어 있는 복수의 자석과, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 중앙부에 배치되어 있는 와류 탐상용 센서와, 상기 복수의 자석 중 할바흐 배열의 단부에 배치되어 있는 자석 및 상기 자성체 부재가 형성하는 자기 회로 상에 배치되고, 당해 자기 회로를 흐르는 자속 밀도를 검지하는 자기 센서를 구비하고 있는 구성이다.

[0170] 상기 구성에 따르면, 와류 탐상용 센서의 검지 결과에 기초하여 자성체 부재의 결함이 검사 프로브와의 대향면 측에 존재하는지 그 이면측에 존재하는지를 판정함과 함께, 자기 센서의 검지 결과에 기초하여 자속 저항법에 의해 결함의 정량적 평가를 행할 수 있다. 또한, 와류 탐상용 센서에 의한 측정 데이터의 취득과 자기 센서에 의한 측정 데이터의 취득을 병행해서 행할 수 있으므로, 작업 효율을 향상시킬 수 있다.

[0171] 또한, 자성체를 포함하는 원통형의 요크를 구비하고, 상기 각 자석은 상기 요크의 축 방향을 따라서 할바흐 배열을 이루도록 배열하여 배치되고, 또한 각각의 상기 자석은 상기 요크의 외주면을 따라 원통형으로 배치되어 있고, 상기 자기 센서는, 상기 요크의 둘레 방향을 따라 복수 배치되어 있는 구성으로 해도 된다.

[0172] 상기 구성에 따르면, 자성체관의 결함 정량적 평가를 신속하고 또한 적절하게 행할 수 있다.

[0173] (부기 사항)

[0174] 본 발명은 상술한 실시 형태에 한정되는 것은 아니고, 청구항에 나타난 범위에서 다양한 변경이 가능하다. 즉, 청구항에 나타난 범위에서 적절히 변경한 기술적 수단을 조합해서 얻어지는 실시 형태에 대해서도 본 발명의 기술적 범위에 포함된다.

**산업상 이용가능성**

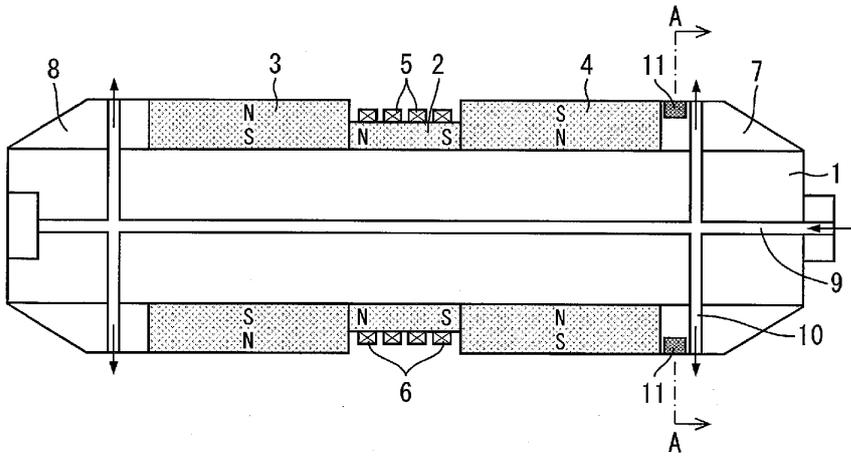
[0175] 본 발명은 자성체를 포함하는 부재의 결함을 측정하는 결함 측정 방법 및 결함 측정 장치, 및 상기 결함의 측정에 사용되는 검사 프로브에 적용할 수 있다.

**부호의 설명**

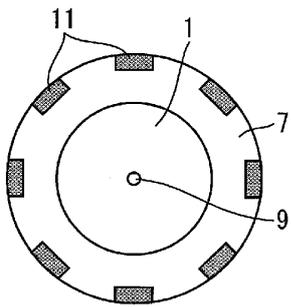
- [0176]
- 1 : 요크
  - 2 : 제1 자석
  - 3 : 제2 자석
  - 4 : 제3 자석
  - 5 : 여자·검출 코일(와류 탐상용 센서)
  - 11 : 홀 소자(자기 센서)
  - 20 : 두께 감소 판정 처리부(결함 판정 처리부)
  - 30 : 와류 탐상부
  - 31 : 제1 검출부
  - 32 : 제1 기억부
  - 33 : 와류 탐상 연산부
  - 34 : 검출 위치 특정부
  - 35 : 두께 감소면 판정부(결함면 판정부)
  - 40 : 자속 저항 탐상부
  - 41 : 제2 검출부
  - 42 : 제2 기억부
  - 43 : 자속 저항 연산부
  - 44 : 검출 위치 특정부
  - 45 : 단면 결손율 산출부
  - 46 : 형상 파라미터 산출부
  - 47 : 두께 감소 범위 산출부(결함 범위 산출부)
  - 48 : 산출부
  - 100 : 검사 프로브
  - 200 : 두께 감소 측정 장치(결함 측정 장치)
  - P : 자성체판(자성체 부재)

도면

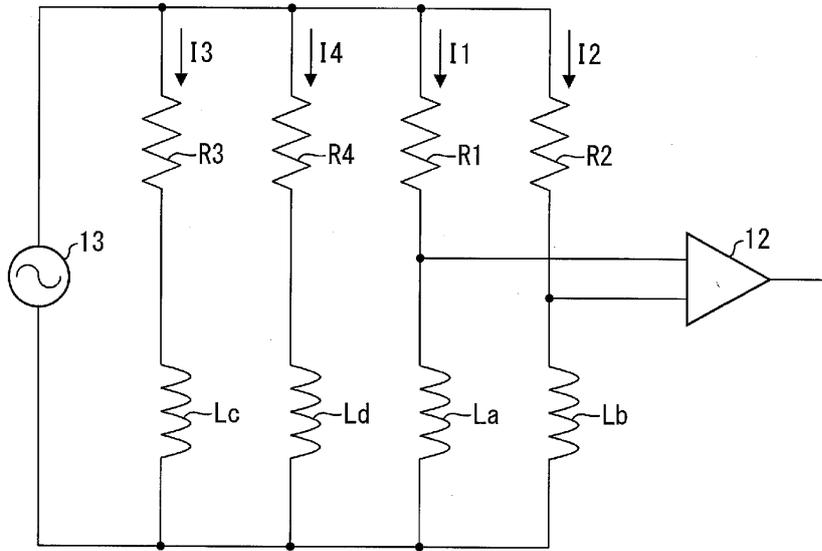
도면1



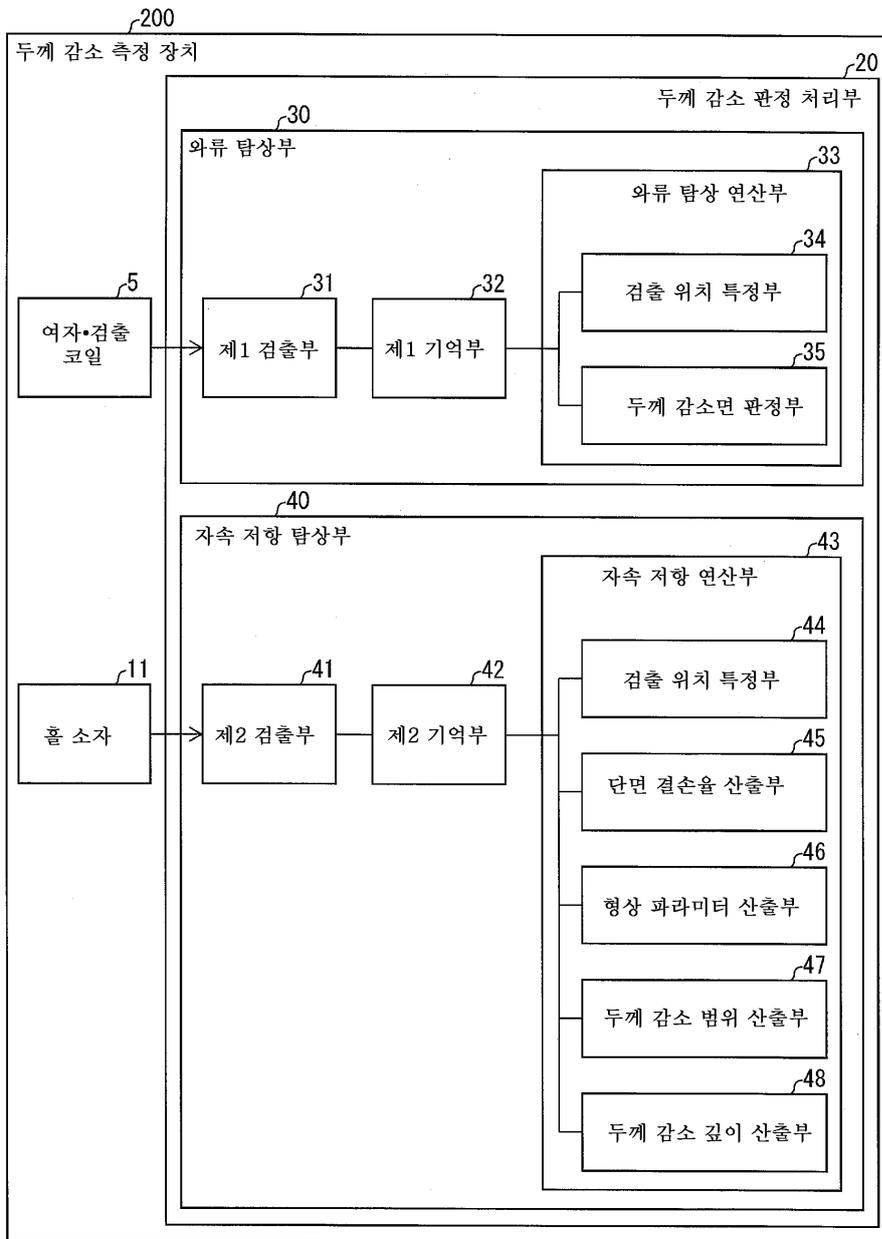
도면2



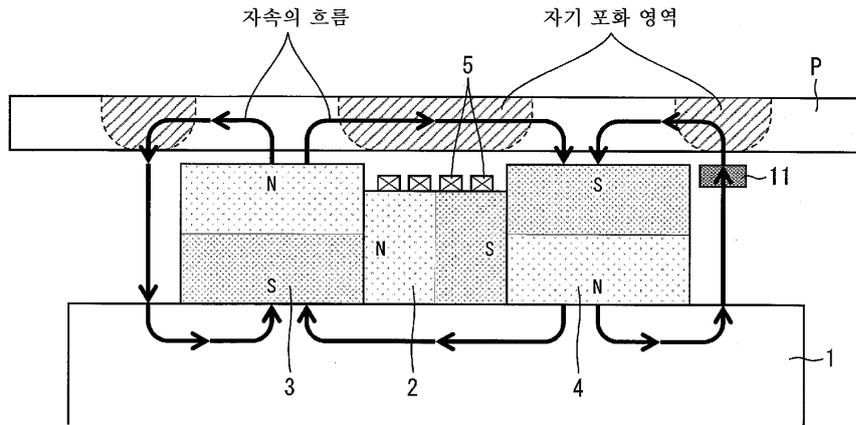
도면3



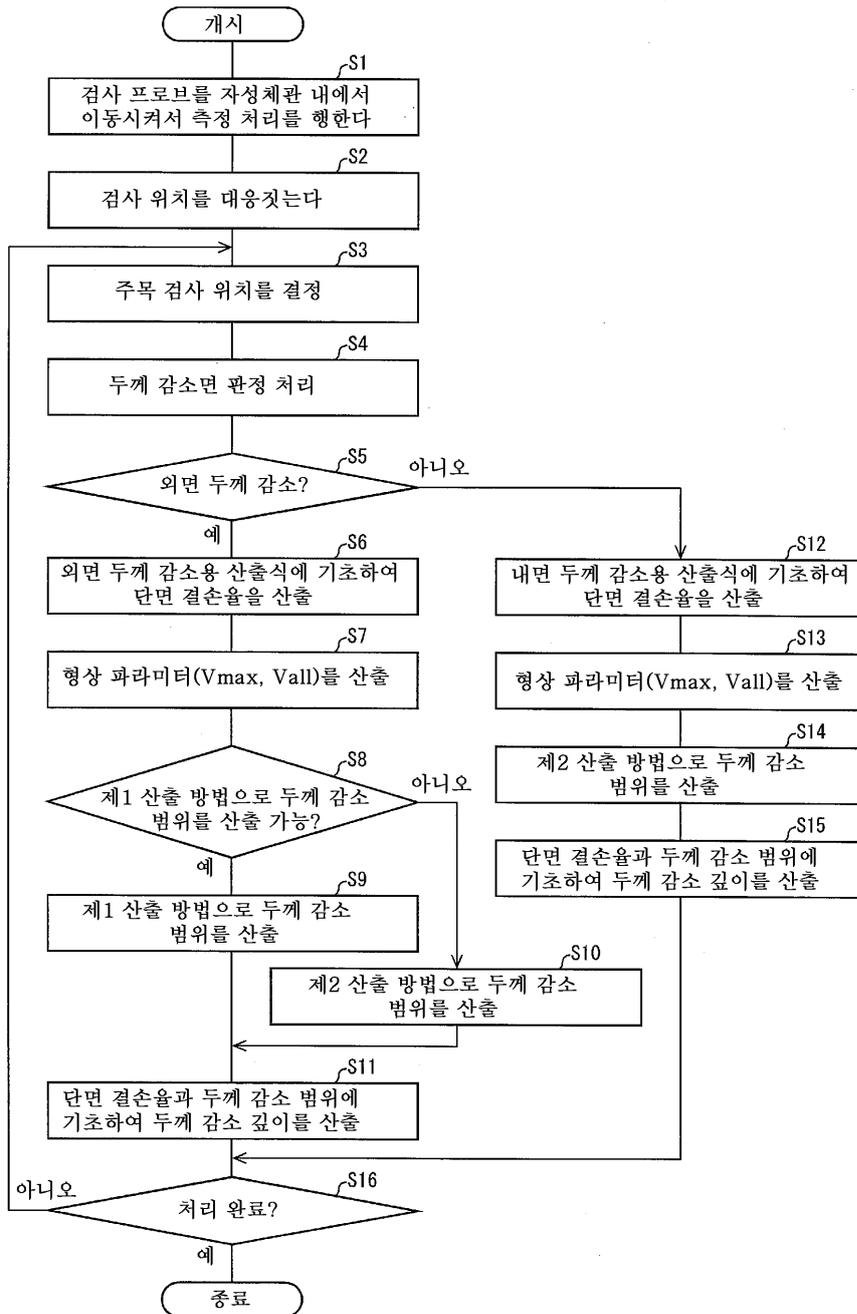
도면4



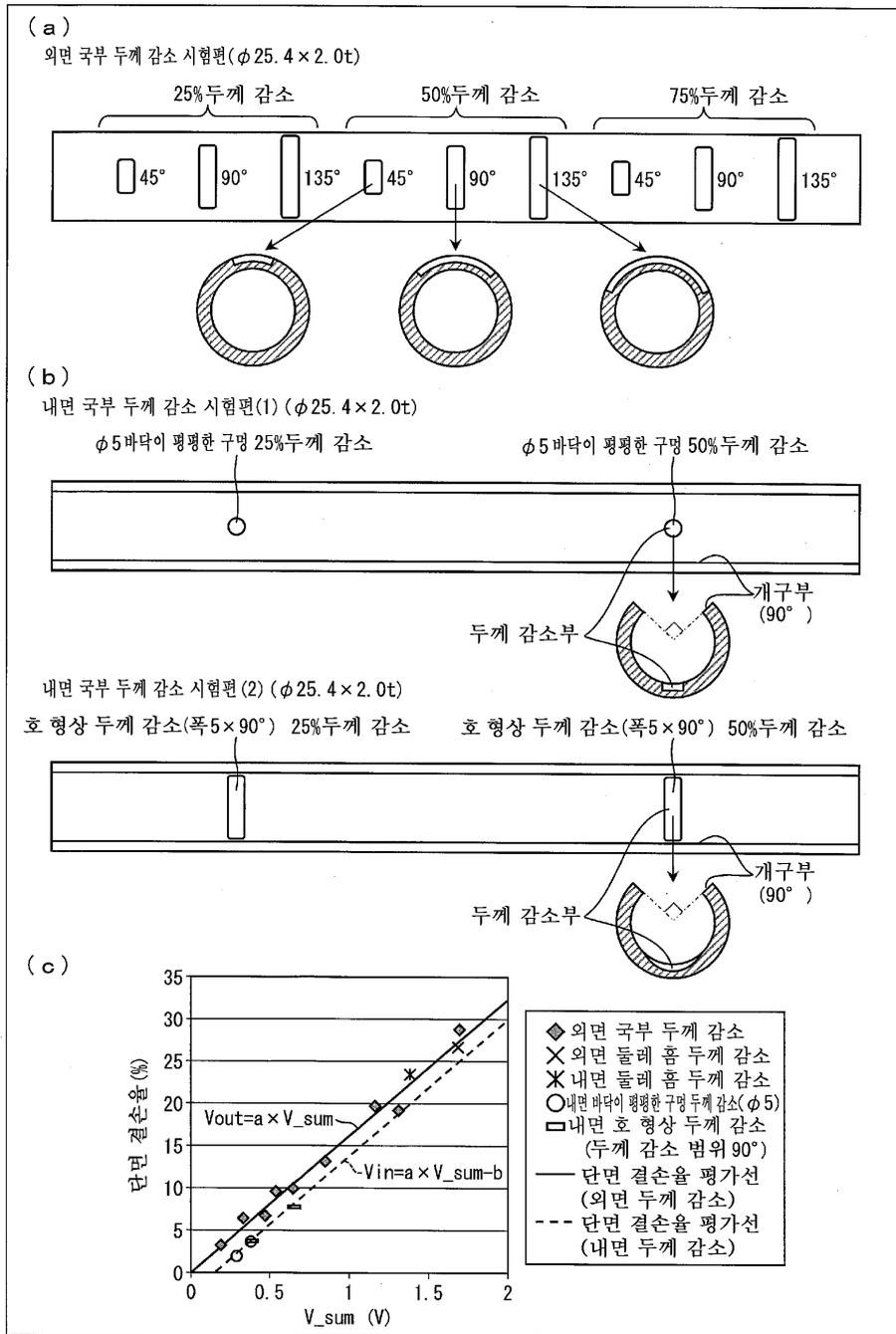
도면5



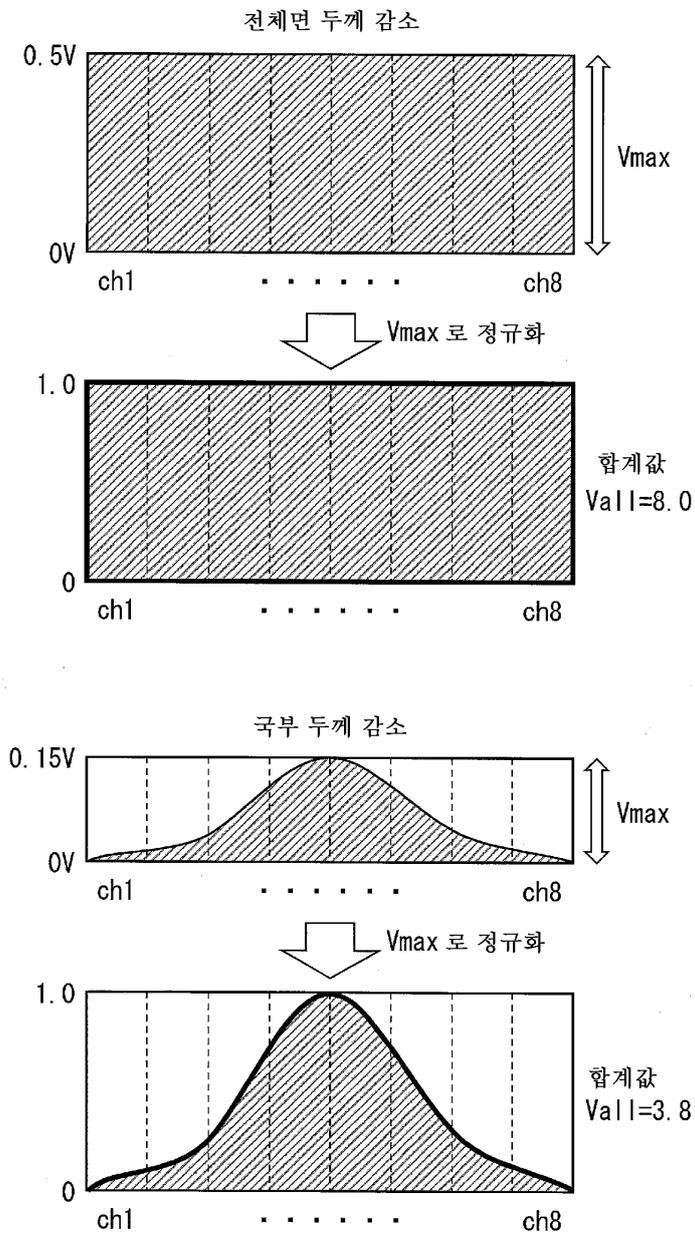
도면6



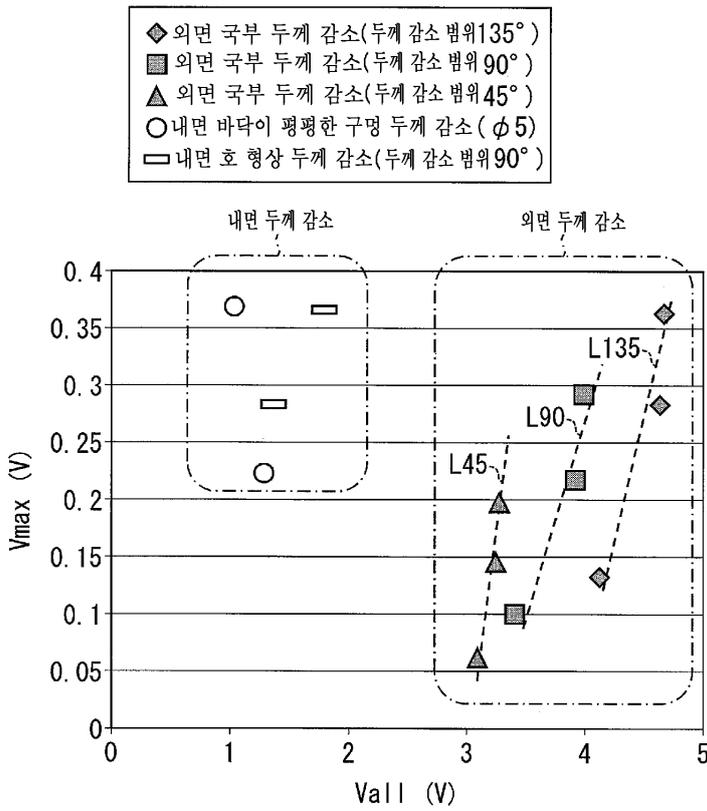
도면7



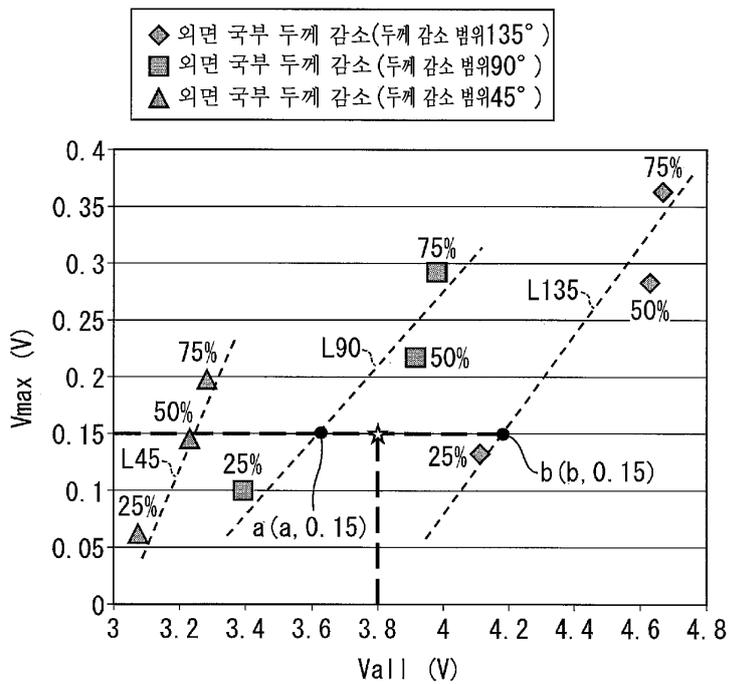
도면8



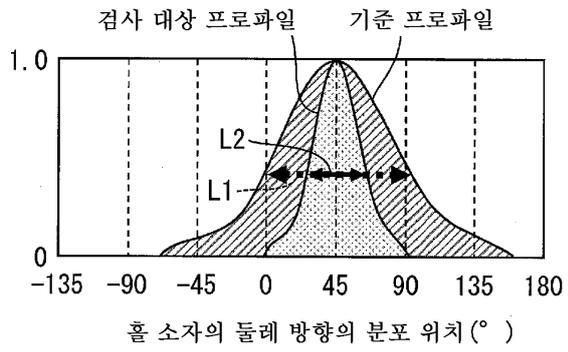
도면9



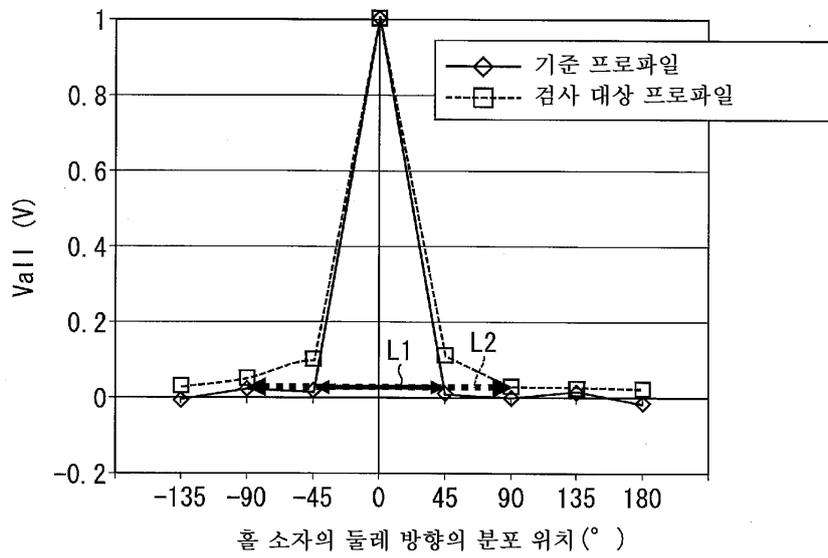
도면10



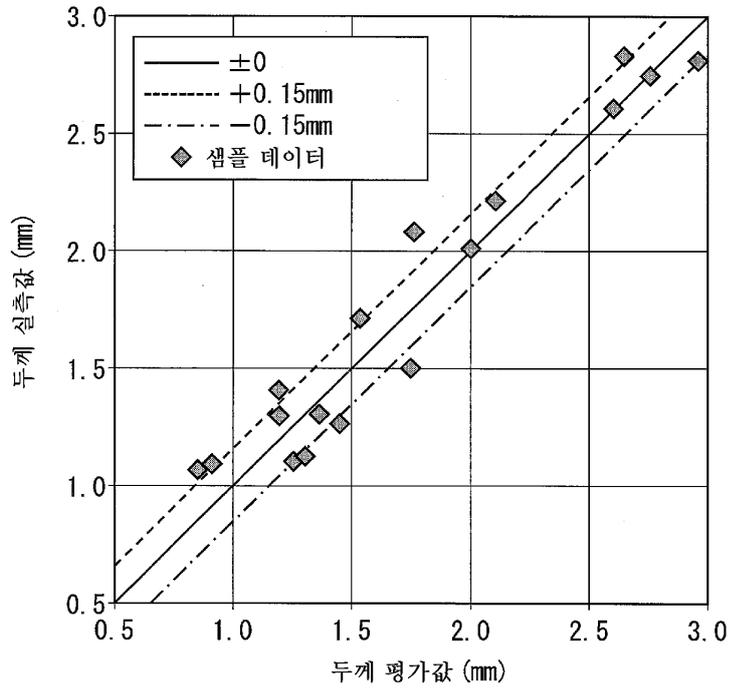
도면11



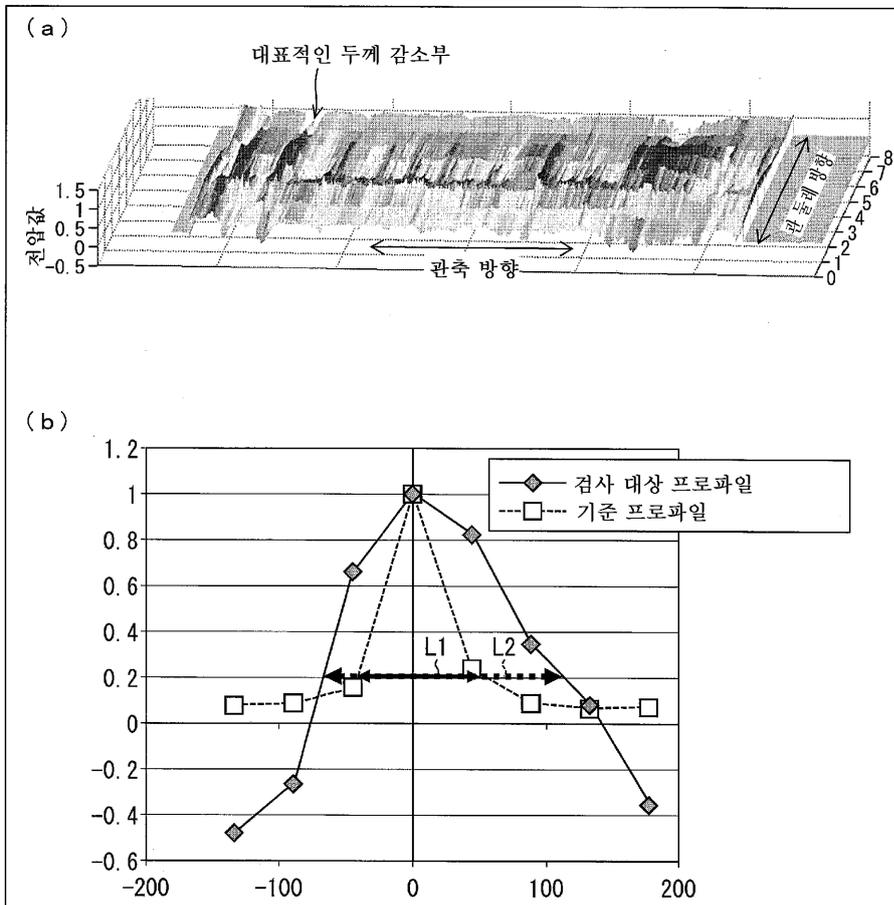
도면12



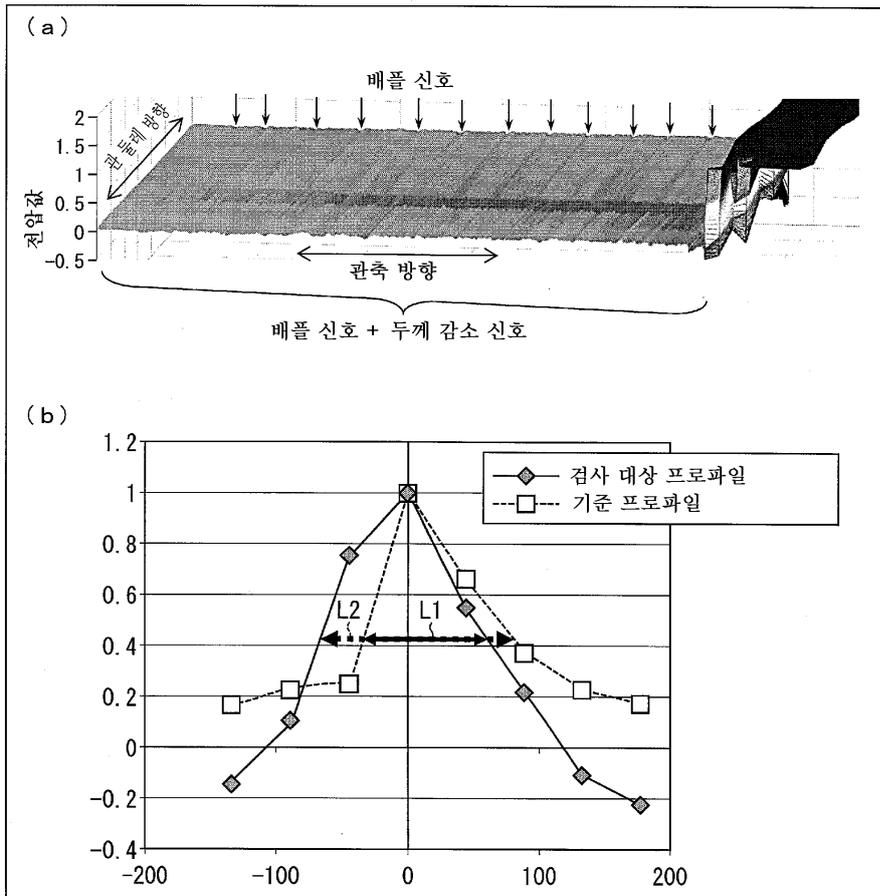
도면13



도면14



도면15



도면16

