



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년03월29일  
(11) 등록번호 10-2380317  
(24) 등록일자 2022년03월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B23H 3/04 (2006.01) B23H 3/08 (2006.01)  
B23H 3/10 (2006.01) B23H 9/14 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
B23H 3/04 (2013.01)  
B23H 3/08 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7035176
- (22) 출원일자(국제) 2018년07월02일  
심사청구일자 2019년11월28일
- (85) 번역문제출일자 2019년11월28일
- (65) 공개번호 10-2020-0003070
- (43) 공개일자 2020년01월08일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2018/025019
- (87) 국제공개번호 WO 2019/017191  
국제공개일자 2019년01월24일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2017-138772 2017년07월18일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP2013180389 A\*  
KR1020140043499 A\*  
JP2001205523 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
미즈비시 파워 가부시킴가이샤  
일본 가나가와켄 요코하마시 니시쿠 미나토미라이 3초메 3-1
- (72) 발명자  
마츠모토 고타  
일본 가나가와켄 요코하마시 니시쿠 미나토미라이 3초메 3반 1고 미즈비시 히타치 파워 시스템즈 가부시킴가이샤 내  
이도타 마사코  
일본 가나가와켄 요코하마시 니시쿠 미나토미라이 3초메 3반 1고 미즈비시 히타치 파워 시스템즈 가부시킴가이샤 내  
하시모토 다쿠로  
일본 가나가와켄 요코하마시 니시쿠 미나토미라이 3초메 3반 1고 미즈비시 히타치 파워 시스템즈 가부시킴가이샤 내
- (74) 대리인  
제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 12 항

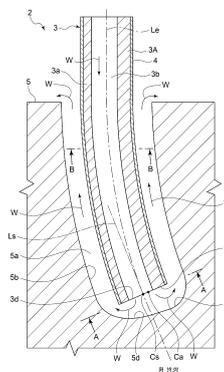
심사관 : 최영준

(54) 발명의 명칭 전해 가공 방법, 천공 부재의 제조 방법, 가공용 전극, 및, 전해 가공 시스템

(57) 요약

전해 가공 방법은, 전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 방법으로서, 가공용 전극의 내부 유로에 전해액을 유통시켜, 가공용 전극의 선단면에 마련된 내부 유로의 출구 개구로부터 전해액을 분출시키는 스텝과, 전해액을 가공용 전극의 출구 개구로부터 분출시키면서, 가공용 전극과 피가공물 사이에 전위차를 인가하는 스텝과, 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 스텝을 구비하고, 전해액을 분출시키는 스텝에서는, 가공용 전극의 선단면의 축심에 대해서, 가공용 전극의 선단면의 전류 밀도의 분포, 또는, 출구 개구로부터 분출되는 전해액의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 가공 구멍의 휩 방향 하류측으로 편심시킨다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*B23H 3/10* (2013.01)

*B23H 9/14* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 전해 가공 방법으로서,

가공용 전극의 내부 유로에 전해액을 유통시켜, 상기 가공용 전극의 선단면에 마련된 상기 내부 유로의 출구 개구로부터 상기 전해액을 분출시키는 스텝과,

상기 전해액을 상기 가공용 전극의 상기 출구 개구로부터 분출시키면서, 상기 가공용 전극과 상기 피가공물 사이에 전위차를 인가하는 스텝과,

상기 피가공물에 상기 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 스텝을 구비하고,

상기 전해액을 분출시키는 스텝에서는, 상기 가공용 전극의 상기 선단면의 축심에 대해서, 상기 가공용 전극의 선단면의 전류 밀도의 분포를 상기 가공 구멍의 휩 방향 하류측으로 편심(偏心)시키고, 본체 측면에 상기 전해액을 도출하기 위한 유체 도출부를 갖지 않는 상기 가공용 전극의 상기 출구 개구로부터 상기 전해액이 분출되고,

상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심(圖心)은, 상기 선단면의 상기 축심에 대해서 편심하고 있고,

상기 축심에 대한 상기 영역의 상기 도심의 어긋남 방향으로 상기 가공 구멍을 휘게 해서 형성하는 것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 내부 유로는 상기 선단면에 있어서 도전성 부재에 의해 일부 폐색됨으로써, 상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심이 상기 축심에 대해서 편심하고 있는 것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

#### 청구항 3

전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 전해 가공 방법으로서,

가공용 전극의 내부 유로에 전해액을 유통시켜, 상기 가공용 전극의 선단면에 마련된 상기 내부 유로의 출구 개구로부터 상기 전해액을 분출시키는 스텝과,

상기 전해액을 상기 가공용 전극의 상기 출구 개구로부터 분출시키면서, 상기 가공용 전극과 상기 피가공물 사이에 전위차를 인가하는 스텝과,

상기 피가공물에 상기 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 스텝을 구비하고,

상기 전해액을 분출시키는 스텝에서는, 상기 가공용 전극의 상기 선단면의 축심에 대해서, 상기 출구 개구로부터 분출되는 상기 전해액의 유속 분포를 상기 가공 구멍의 휩 방향 하류측으로 편심(偏心)시키는

것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 출구 개구의 도심은, 상기 선단면의 상기 축심에 대해서 편심하고 있고,

상기 축심에 대한 상기 출구 개구의 상기 도심의 어긋남 방향으로 상기 가공 구멍을 휘게 해서 형성하는 것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,

상기 내부 유로는 일부 폐색됨으로써, 상기 출구 개구의 상기 도심이 상기 축심에 대해서 편심하고 있는 것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 6**

전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 전해 가공 방법으로서,

가공용 전극의 내부 유로에 전해액을 유통시켜, 상기 가공용 전극의 선단면에 마련된 상기 내부 유로의 출구 개구로부터 상기 전해액을 분출시키는 스텝과,

상기 전해액을 상기 가공용 전극의 상기 출구 개구로부터 분출시키면서, 상기 가공용 전극과 상기 피가공물 사이에 전위차를 인가하는 스텝과,

상기 피가공물에 상기 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 스텝을 구비하고,

상기 전해액을 분출시키는 스텝에서는, 상기 가공용 전극의 상기 선단면의 축심에 대해서, 상기 가공용 전극의 선단면의 전류 밀도의 분포, 또는, 상기 출구 개구로부터 분출되는 상기 전해액의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 상기 가공 구멍의 휩 방향 하류측으로 편심(偏心)시키는 것을 행하고,

상기 내부 유로는 칸막이부에 의해 복수로 분할되어 있고, 상기 복수로 분할된 상기 내부 유로 중 적어도 1개가 폐색되는

것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 가공용 전극의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 상기 내부 유로의 도심은 상기 가공용 전극의 축심에 대해서 편심하고 있는

것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 가공용 전극의 선단에는, 둘레 방향에 있어서의 적어도 일부에, 선단을 향함에 따라 외형 치수가 작아지는 테이퍼면이 형성되어 있는

것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 전해액은, 질산 또는 질산 나트륨을 포함하는 것을 특징으로 하는 전해 가공 방법.

**청구항 10**

청구항 1 내지 9 중 어느 한 항에 기재된 방법에 의해 상기 피가공물에 상기 가공 구멍을 형성해서 천공 부재를 제조하는 스텝을 구비하는 것을 특징으로 하는 천공 부재의 제조 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 천공 부재는, 상기 가공 구멍으로서의 휩 형상의 냉각 구멍을 갖는 가스 터빈 동익인 것을 특징으로 하는 천공 부재의 제조 방법.

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하기 위한 가공용 전극을 적어도 구비하고, 상기 가공용 전극을 이용한 전해 가공에 의해 상기 피가공물에 상기 가공 구멍을 형성 가능하게 구성되어 있는 전해 가공 시스템에 있어서,

상기 가공용 전극은,

상기 가공용 전극의 축 방향을 따라 전해액을 유통 가능하게 구성되어 있는 내부 유로와,

상기 전해액을 분출하기 위한 상기 내부 유로의 출구 개구가 형성된 선단면을 구비하고,

상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심, 또는, 상기 출구 개구의 도심 중 적어도 한쪽은, 상기 선단면의 축심에 대해서 편심하고 있고,

상기 전해 가공 시스템은,

1개의 상기 가공용 전극에 형성된 복수의 상기 내부 유로 각각으로의 상기 전해액의 공급량을 조정 가능하게 구성되어 있는 전해액 공급량 조정 장치를 더 구비하는

것을 특징으로 하는 전해 가공 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 개시는, 전해 가공에 의해 피가공물에 휩 형상의 가공 구멍을 형성하는 전해 가공 방법, 해당 방법에 의해 가공 구멍을 형성하는 천공 부재의 제조 방법, 전해 가공에 이용되는 가공용 전극, 및, 해당 가공용 전극을 구비하는 전해 가공 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 기계 가공이 곤란한 난삭재(難削材)의 천공 가공은, 일반적으로 전해 가공법이나 방전 가공법에 의해서 행해지고 있다. 특히, 고(高)어스펙트비를 갖는 난삭재에 대해서 천공 가공을 할 때에는, 전해 가공법이 이용되는 경우가 있다. 예를 들면 가스 터빈의 가스 터빈 동익 내에는, 해당 가스 터빈 동익을 냉각하도록 냉각 매체가 유통되기 위한 냉각 구멍이 형성되어 있다. 해당 냉각 구멍의 냉각 효율을 높이기 위해서는, 해당 냉각 구멍의 형상을 가스 터빈 동익의 기하 형상을 따라 만족시키는 것이 바람직한 경우가 있다.

[0003] 특허문헌 1이 개시하는 전해 가공 공구의 전극은, 가요성(flexibility)을 가짐과 함께, 본체 측면에 전해액을 지름 방향 외측을 향해 도출하는 유체 도출부를 갖는다. 해당 전극은, 유체 도출부로부터 전해액을 도출할 때의 반동을 이용해서 전극을 도출 방향과는 반대측에 휘게 함으로써, 전극의 진행 방향을 변화시켜서 원하는 곡률의 휩 구멍을 형성 가능하게 되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허 제5955207호 공보

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 그러나, 특허문헌 1의 방법에서는, 전해 가공 공구의 전극에 유체 도출부를 마련할 필요가 있고, 전극의 구성이 복잡화되어 버린다.
- [0006] 진술한 사정을 감안하여, 본 발명의 적어도 일 실시형태의 목적은, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있는 전해 가공 방법, 전공 부재의 제조 방법, 가공용 전극, 및, 전해 가공 시스템을 제공하는 것에 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] (1) 본 발명의 적어도 일 실시형태에 따른 전해 가공 방법은,
- [0008] 전해 가공에 의해 피가공물에 휨 형상의 가공 구멍을 형성하는 전해 가공 방법으로서,
- [0009] 가공용 전극의 내부 유로에 전해액을 유통시켜, 상기 가공용 전극의 선단면에 마련된 상기 내부 유로의 출구 개구로부터 상기 전해액을 분출시키는 스텝과,
- [0010] 상기 전해액을 상기 가공용 전극의 상기 출구 개구로부터 분출시키면서, 상기 가공용 전극과 상기 피가공물 사이에 전위차를 인가하는 스텝과,
- [0011] 상기 피가공물에 상기 휨 형상의 가공 구멍을 형성하는 스텝을 구비하고,
- [0012] 상기 전해액을 분출시키는 스텝에서는, 상기 가공용 전극의 상기 선단면의 축심에 대해서, 상기 가공용 전극의 선단면의 전류 밀도의 분포, 또는, 상기 출구 개구로부터 분출되는 상기 전해액의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 상기 가공 구멍의 휨 방향 하류측으로 편심(偏心)시킨다.
- [0013] 본 발명자들에 의한 예의 검토의 결과, 가공용 전극의 선단면의 축심에 대해서, 전극 선단면에 있어서의 전류 밀도의 분포, 또는, 전해액의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 편심시킴으로써, 휨 형상의 가공 구멍을 형성할 수 있는 것이 밝혀졌다.
- [0014] 상기 (1) 방법은 본 발명자들의 상기 지견에 기초하는 것으로, 해당 휨 형상의 가공 구멍은, 가공용 전극에 예를 들면 유체 도출부 등을 마련하지 않아도, 진술한 편심한 방향을 향해 만곡한다. 여기에서, 피가공물의, 휨 방향 상류측에 위치하는 내면에 비해서, 가공 구멍의 휨 방향 하류측에 위치하는 내면은 깊이 가공되므로, 해당 내면과 가공용 전극의 선단면 사이의 간격이 넓어져, 해당 간격을 흐르는 전해액의 액압이 저하된다. 가공용 전극은, 주위를 흐르는 전해액의 액압에 의해, 진술한 전해액의 액압이 저하된 쪽으로, 선단부가 휘도록 축구되어서, 피가공물을 진술한 편심한 방향으로 가공되어 간다. 따라서, 상기의 방법에 의하면, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있다.
- [0015] (2) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1) 방법에 있어서,
- [0016] 상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심(圖心)은, 상기 선단면의 상기 축심에 대해서 편심하고 있고,
- [0017] 상기 축심에 대한 상기 영역의 상기 도심의 어긋남 방향으로 상기 가공 구멍을 휘게 해서 형성한다.
- [0018] 상기 (2) 방법에 의하면, 축심에 대해서 출구 개구를 제외한 영역의 도심이 어긋남 방향으로, 가공용 전극의 전류 밀도의 분포를 편심시킬 수 있으므로, 해당 영역의 도심이 어긋남 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0019] (3) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (2) 방법에 있어서,
- [0020] 상기 내부 유로는 상기 선단면에 있어서 도전성 부재에 의해 일부 폐색됨으로써, 상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심이 상기 축심에 대해서 편심하고 있다.
- [0021] 상기 (3) 방법에 의하면, 내부 유로가 일부 폐색되기 전은, 축심에 대해서 출구 개구를 제외한 영역의 도심이 편심하고 있지 않는 경우에도, 내부 유로를 선단면에 있어서 도전성 부재에 의해 일부 폐색함으로써, 해당 도전성 부재에 전류가 흐르므로, 축심에 대해서 해당 영역의 도심을 편심시킬 수 있다. 이 때문에, 축심에 대해서 해당 영역의 도심이 어긋남 방향으로, 가공용 전극의 전류 밀도의 분포를 편심시킬 수 있으므로, 해당 영역의 도심이 어긋남 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.

- [0022] (4) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1)~(3) 방법에 있어서,
- [0023] 상기 출구 개구의 도심은, 상기 선단면의 상기 축심에 대해서 편심하고 있고,
- [0024] 상기 축심에 대한 상기 출구 개구의 상기 도심의 어긋남 방향으로 상기 가공 구멍을 휘게 해서 형성한다.
- [0025] 상기 (4) 방법에 의하면, 축심에 대해서 출구 개구의 도심이 어긋남 방향으로, 출구 개구로부터 분출되는 전해액의 유속 분포를 편심시킬 수 있으므로, 출구 개구의 도심이 어긋남 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0026] (5) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (4) 방법에 있어서,
- [0027] 상기 내부 유로는 일부 폐색됨으로써, 상기 출구 개구의 상기 도심이 상기 축심에 대해서 편심하고 있다.
- [0028] 상기 (5) 방법에 의하면, 내부 유로가 일부 폐색되기 전은, 축심에 대해서 출구 개구의 도심이 편심하고 있지 않는 경우에도, 내부 유로를 일부 폐색함으로써, 축심에 대해서 출구 개구의 도심을 편심시킬 수 있다. 이 때문에, 축심에 대해서 출구 개구의 도심이 어긋남 방향으로, 출구 개구로부터 분출되는 전해액의 유속 분포를 편심시킬 수 있으므로, 출구 개구의 도심이 어긋남 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0029] (6) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1)~(5) 방법에 있어서,
- [0030] 상기 내부 유로는 칸막이부에 의해 복수로 분할되어 있고, 상기 복수로 분할된 상기 내부 유로 중 적어도 1개가 폐색된다.
- [0031] 상기 (6) 방법에 의하면, 칸막이부에 의해서 복수로 분할된 내부 유로 중 적어도 1개를 폐색함으로써, 가공용 전극의 선단면의 축심에 대해서, 가공용 전극의 선단면의 전류 밀도의 분포나, 출구 개구로부터 분출되는 전해액의 유속 분포를 가공 구멍의 휨 방향 하류측으로 편심시키는 것을 용이하게 행할 수 있다.
- [0032] (7) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1)~(6) 방법에 있어서,
- [0033] 상기 가공용 전극의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 상기 내부 유로의 도심은 상기 가공용 전극의 축심에 대해서 편심하고 있다.
- [0034] 상기 (7) 방법에 의하면, 가공용 전극의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 내부 유로의 도심은 가공용 전극의 축심에 대해서 편심하고 있으므로, 선단면에 있어서의 전해액의 유속 분포는, 가공용 전극의 축심에 대해서 내부 유로의 도심이 어긋남 방향으로 편심한다. 따라서, 내부 유로의 도심이 어긋남 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0035] (8) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1)~(7) 방법에 있어서,
- [0036] 상기 가공용 전극의 선단에는, 둘레 방향에 있어서의 적어도 일부에, 선단을 향함에 따라 외형 치수가 작아지는 테이퍼면이 형성되어 있다.
- [0037] 상기 (8) 방법에 의하면, 테이퍼면이 형성된 부분의 근방을 흐르는 전해액이, 전기 절연층의 외주와 가공 구멍의 내면 사이에 흘러 들어오는 것이 용이하게 되므로, 전해 가공의 효율 저하를 방지할 수 있다.
- [0038] (9) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (1)~(8) 방법에 있어서,
- [0039] 상기 전해액은, 질산 또는 질산 나트륨을 포함한다.
- [0040] 상기 (9) 방법에 의하면, 전해액은 전해 가공 능력이 큰 질산 또는 질산 나트륨을 포함하므로, 전해 가공의 효율화를 도모할 수 있다.
- [0041] (10) 본 발명의 적어도 일 실시형태에 따른 천공 부재의 제조 방법은,
- [0042] 상기 (1)~(9)에 기재된 방법에 의해 상기 피가공물에 상기 가공 구멍을 형성해서 천공 부재를 제조하는 스텝을 구비한다.
- [0043] 상기 (10) 방법에 의하면, 전술한 방법에 의해, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 가공 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있으므로, 가공 구멍을 갖는 천공 부재를 용이하게 제조할 수 있다.
- [0044] (11) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (10) 방법에 있어서,
- [0045] 상기 천공 부재는, 상기 가공 구멍으로서의 휨 형상의 냉각 구멍을 갖는 가스 터빈 동익이다.

- [0046] 상기 (11) 방법에 의하면, 가공 구멍(냉각 구멍)의 휨 형상을 가스 터빈 동익의 기하 형상을 따라 만족시키거나 할 수 있다.
- [0047] (12) 본 발명의 적어도 일 실시형태에 따른 가공용 전극은,
- [0048] 전해 가공에 의해 피가공물에 휨 형상의 가공 구멍을 형성하기 위한 가공용 전극으로서,
- [0049] 상기 가공용 전극의 축 방향을 따라 전해액을 유통 가능하게 구성되어 있는 내부 유로와,
- [0050] 상기 전해액을 분출하기 위한 상기 내부 유로의 출구 개구가 형성된 선단면을 구비하고,
- [0051] 상기 선단면 중 상기 출구 개구를 제외한 영역의 도심, 또는, 상기 출구 개구의 도심 중 적어도 한쪽은, 상기 선단면의 축심에 대해서 편심하고 있다.
- [0052] 상기 (12)의 구성은 본 발명자들의 상기 지견에 기초하는 것으로, 가공용 전극은, 예를 들면 유체 도출부 등을 마련하지 않아도, 전술한 편심한 방향을 향해 만족하는 휨 형상의 가공 구멍을 형성할 수 있다. 따라서, 상기의 구조에 의하면, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있다.
- [0053] (13) 본 발명의 적어도 일 실시형태에 따른 전해 가공 시스템은,
- [0054] 상기 (12)에 기재된 상기 가공용 전극을 구비하고,
- [0055] 상기 가공용 전극을 이용한 전해 가공에 의해 상기 피가공물에 상기 가공 구멍을 형성 가능하게 구성되어 있다.
- [0056] 전술한 바와 같이, 상기 (12)에 기재된 가공용 전극은, 예를 들면 유체 도출부 등을 마련하지 않아도, 전술한 편심한 방향을 향해 만족하는 휨 형상의 가공 구멍을 형성할 수 있다. 따라서, 상기 (13)의 구조에 의하면, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있다.
- [0057] (14) 몇 개의 실시형태에서는, 상기 (13)의 구조에 있어서,
- [0058] 1개의 상기 가공용 전극에 형성된 복수의 상기 내부 유로 각각으로의 상기 전해액의 공급량을 조정 가능하게 구성되어 있는 전해액 공급량 조정 장치를 더 구비한다.
- [0059] 상기 (14)의 구조에 의하면, 전해액 공급량 조정 장치에 의해 내부 유로를 통과하는 전해액의 유속 분포의 편심 시킴으로써, 출구 개구로부터 분출되는 전해액의 유속 분포가 편심하므로, 내부 유로를 통과하는 전해액의 유속 분포가 편심한 방향으로 가공 구멍을 휘게 해서 형성 가능하다.

**발명의 효과**

- [0060] 본 발명의 적어도 일 실시형태에 의하면, 전극의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍의 형성을 용이하게 행할 수 있는 전해 가공 방법, 천공 부재의 제조 방법, 가공용 전극, 및, 전해 가공 시스템이 제공된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0061] 도 1은, 본 발명의 일 실시형태에 따른 가공용 전극을, 피가공물과 함께 개략적으로 나타내는 종단면도이다.
- 도 2는, 본 발명의 일 실시형태에 따른 전해 가공 방법을 설명하기 위한 플로 차트이다.
- 도 3은, 일 실시형태에 따른 전해 가공 방법을 설명하기 위한 도면으로서, 전해 가공 시스템의 일례를 나타내는 개략도이다.
- 도 4는, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 선단면의 구성을 나타내는 도면이다.
- 도 5는, 도 4에 나타내는 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- 도 6은, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 선단면의 구성을 나타내는 도면이다.
- 도 7은, 도 6에 나타내는 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- 도 8은, 선단에 테이퍼면이 형성된 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- 도 9는, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 선단면의 구

성을 나타내는 도면이다.

도 10은, 도 9에 나타내는 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.

도 11은, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 선단면의 구성을 나타내는 도면이다.

도 12는, 도 11에 나타내는 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.

도 13은, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 선단면의 구성을 나타내는 도면이다.

도 14는, 도 13에 나타내는 가공용 전극을 이용해서 가공 구멍을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.

도 15는, 도 1에 나타내는 B-B선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극의 단면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0062] 이하, 첨부 도면을 참조해서 본 발명의 몇 개의 실시형태에 대해서 설명한다. 단, 실시형태로서 기재되어 있거나 또는 도면에 나타내어지고 있는 구성 부품의 치수, 재질, 형상, 그의 상대적 배치 등은, 본 발명의 범위를 이에 한정하는 취지가 아니고, 단순한 설명예에 지나지 않는다.
- [0063] 예를 들면, 「어느 방향으로」, 「어느 방향을 따라」, 「평행」, 「직교」, 「중심」, 「동심」 또는 「동축」 등의 상대적 또는 절대적인 배치를 나타내는 표현은, 엄밀하게 그와 같은 배치를 나타낼 뿐만 아니라, 공차(公差; tolerance), 또는, 동일한 기능이 얻어지는 정도의 각도나 거리로써 상대적으로 변위하고 있는 상태도 나타내는 것으로 한다.
- [0064] 예를 들면, 「동일」, 「동등하다」 및 「균질」 등의 사물이 동등한 상태인 것을 나타내는 표현은, 엄밀하게 동등한 상태를 나타낼 뿐만 아니라, 공차, 또는, 동일한 기능이 얻어지는 정도의 차가 존재하고 있는 상태도 나타내는 것으로 한다.
- [0065] 예를 들면, 4각 형상이나 원통 형상 등의 형상을 나타내는 표현은, 기하학적으로 엄밀한 의미에서의 4각 형상이나 원통 형상 등의 형상을 나타낼 뿐만 아니라, 동일한 효과가 얻어지는 범위에서, 요철부나 모따기부 등을 포함하는 형상도 나타내는 것으로 한다.
- [0066] 한편, 하나의 구성 요소를 「갖추다」, 「대비한다」, 「구비한다」, 「포함한다」, 또는, 「갖는다」라고 하는 표현은, 다른 구성 요소의 존재를 제외한 배타적인 표현은 아니다.
- [0067] 도 1은, 본 발명의 일 실시형태에 따른 가공용 전극을, 피가공물과 함께 개략적으로 나타내는 종단면도이다. 도 2는, 본 발명의 일 실시형태에 따른 전해 가공 방법을 설명하기 위한 플로 차트이다. 도 3은, 일 실시형태에 따른 전해 가공 방법을 설명하기 위한 도면으로서, 전해 가공 시스템의 일례를 나타내는 개략도이다. 이하, 도 1, 3에 나타내는, 가공용 전극(3) 및 전해 가공 시스템(2)의 설명과 함께, 도 2에 나타내는 전해 가공 방법(1) 및 천공 부재의 제조 방법을 설명한다.
- [0068] 몇 개의 실시형태에 따른 전해 가공 방법(1)은, 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 전해 가공에 의해 피가공물(5)에 휠 형상의 가공 구멍(5a)을 형성하는 전해 가공 방법이다. 해당 전해 가공 방법(1)은, 도 2에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 내부 유로(3b)에 전해액(W)을 유통시켜, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)에 마련된 내부 유로(3b)의 출구 개구(3d)로부터 전해액(W)을 분출시키는 스텝(S101)과, 전해액(W)을 가공용 전극(3)의 출구 개구(3d)로부터 분출시키면서, 가공용 전극(3)과 피가공물(5) 사이에 전위차를 인가하는 스텝(S102)과, 피가공물(5)에 휠 형상의 가공 구멍(5a)을 형성하는 스텝(S103)을 구비하고 있다.
- [0069] 전술한 스텝(S101)에서는, 도 3에 나타내는 전해액 공급 장치(7)에 의해, 가공용 전극(3)의 내부 유로(3b)에 전해액(W)이 공급되고 있고, 가공용 전극(3)의 내부 유로(3b)에 전해액(W)을 유통시켜, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)에 마련된 내부 유로(3b)의 출구 개구(3d)로부터 전해액(W)을 분출시킨다.
- [0070] 전술한 스텝(S102)에서는, 전해액(W)을 가공용 전극(3)의 출구 개구(3d)로부터 분출시키면서, 도 3에 나타내는 전원(6)에 의해 전해액(W) 중의, 가공용 전극(3)과 피가공물(5) 사이에 전위차가 인가되고 있다. 도 3에 나타내어지는 실시형태에서는, 전해액(W) 중의, 음전압을 인가하는 가공용 전극(3)과 양전압을 인가하는 피가공물(5) 사이에 전압을 가해서 전류를 흘리고, 전기 화학 반응에 의해 피가공물(5)을 전해액(W) 중에 용출시키고 있

다.

- [0071] 전술한 스텝(S103)에서는, 후술하는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포, 또는, 전해액(W)의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 편심시킴으로써, 피가공물(5)에 휜 형상의 가공 구멍(5a)을 형성한다. 스텝(S103)에서는, 휜 형상의 가공 구멍(5a)을 형성하기 위해서, 도 3에 나타내는 전극 전송 장치(9)에 의해, 가공용 전극(3)이 피가공물(5)의 가공 구멍(5a) 내로 보내진다. 전극 전송 장치(9)는, 가공 구멍(5a)에 휜 형상을 형성하는 경우에는, 가공용 전극(3)이 축을 중심으로 해서 회전하지 않도록, 가공용 전극(3)의 회전을 제한한 상태로, 가공 구멍(5a) 내로 보내도록 되어 있다. 한편, 전극 전송 장치(9)는, 가공 구멍(5a)에 직선적인 형상을 형성하는 경우에는, 가공용 전극(3)을 회전시킨 상태로, 가공 구멍(5a) 내로 보내도록 되어 있다.
- [0072] 이하, 전술한 전해 가공 방법(1)을 실시하기 위해서 이용할 수 있는, 가공용 전극(3), 및, 해당 가공용 전극(3)을 구비하는 전해 가공 시스템(2)에 대해서 설명한다.
- [0073] 도 1, 3에 나타내어지는 바와 같이, 전해 가공 시스템(2)은, 가공용 전극(3)을 포함하고, 해당 가공용 전극(3)에 의해 피가공물(5)에 적어도 1개의 휜 형상의 가공 구멍(5a)(휜 구멍)을 형성 가능하다. 또한, 전해 가공 시스템(2)은, 가공용 전극(3)에 의해 피가공물(5)에 휜 형상의 가공 구멍(5a)을 형성하는 것에 의해 제조되는, 천공 부재(5A)를 제조 가능하다.
- [0074] 전해 가공 시스템(2)은, 도 3에 나타내어지는 바와 같이, 전술한 가공용 전극(3)에 더하여, 전원(6)과, 전해액 공급 장치(7)와, 전해액 공급량 조정 장치(8)와, 전극 전송 장치(9)와, 전극 가이드 부재(10)를 구비하고 있다. 전원(6)은, 예를 들면 직류 발전기를 포함하고, 가공용 전극(3)과 피가공물(5) 사이에 전위차를 인가 가능하다. 한편, 전원(6)은, 직류 전류가 아니라, 펄스 전류를 흘리도록 되어 있어도 된다. 전해액 공급 장치(7)는, 예를 들면 펌프나 디스펜서를 포함하고, 가공용 전극(3)에 전해액(W)(가공액)을 공급 가능하다. 한편, 도 1 및 후술하는 도 5, 7, 8, 10, 12, 14에서는, 전해액(W)이 흐르는 방향을 화살표로 나타내고 있다. 전해액 공급량 조정 장치(8)는, 예를 들면 개방도 조정 가능한 밸브 또는 개폐 제어 가능한 밸브를 포함하고, 전해액 공급 장치(7)로부터 가공용 전극(3)에 공급되는 전해액의 유량(공급량)을 조정 가능하다.
- [0075] 한편, 전해액(W)은, 전해 가공의 효율화를 도모하는 관점에서, 질산 또는 질산 나트륨을 포함하고 있어도 된다.
- [0076] 전극 전송 장치(9)는, 피가공물(5)(특히 가공 구멍(5a))에 대한 가공용 전극(3)의 축선 방향에서의 상대 위치를 조정 가능하다. 전극 전송 장치(9)는, 예를 들면 액츄에이터를 포함하고, 가공용 전극(3)의 기단측을 파지하면서, 피가공물(5)에 대한 가공용 전극(3)의 전송량을 조정 가능하다. 전극 가이드 부재(10)는, 도 3에 나타내어지는 바와 같이, 관통 구멍(10a)을 갖고, 해당 관통 구멍(10a)에 가공용 전극(3)을 통하게 함으로써, 피가공물(5)의 가공 구멍(5a)의 형성 위치로 가공용 전극(3)을 유도하도록 되어 있다.
- [0077] 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)(3A~3G)은, 원통 형상 등의 통 형상의 외통부(3a)를 갖고, 축선(Le)을 따르도록 연재되어 있다. 한편, 이하의 설명에서는, 괄호 안의 부호를 일괄해서 인용하는 경우에, 괄호 앞의 부호를 이용하는 경우가 있다. 또한, 가공용 전극(3)은, 예를 들면 각통 형상 등이어도 된다.
- [0078] 가공용 전극(3)은, 예를 들면, 스테인리스, 구리 또는 타이타늄 등의 가요성을 갖는 도전성 재료로 구성되어 있다. 가공용 전극(3)의 외경은 예를 들면 1mm 이상 10mm 이하이다. 가공용 전극(3)은, 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 외통부(3a)의 외주면이 축선 방향의 전역에 걸쳐, 전기 절연층(4)에 의해 덮여 있다. 전기 절연층(4)은, 예를 들면 전기 절연성을 갖는 수지(폴리에스터계 수지 등)에 의해 구성되어 있다. 한편, 전기 절연층(4)은, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)을 덮고 있지는 않으므로, 선단면(3c)은 노출되어 있다. 가공용 전극(3)의 기단측은 전원(6)에 접속 가능하고, 피가공물(5)도 또한 전원(6)에 접속 가능하다.
- [0079] 가공용 전극(3)의 내부에는, 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 축선(Le)을 따르도록 연재되는 적어도 1개의 내부 유로(3b)가 형성되어 있다. 내부 유로(3b)는, 가공용 전극(3)의 기단측으로부터 선단측을 향해, 전해액(W)을 유통 가능하고, 도 3에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 기단측에서 전해액 공급 장치(7)에 접속 가능하다. 전해액 공급량 조정 장치(8)는, 도 3에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 내부 유로(3b)와 전해액 공급 장치(7) 사이에 마련되고, 전술한 바와 같이, 전해액 공급 장치(7)로부터 각 가공용 전극(3)의 내부 유로(3b)로의 전해액(W)의 공급량을 조절 가능하게 되어 있다.
- [0080] 가공용 전극(3)의 선단측에 위치하는 선단면(3c)은, 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 전해액(W)을 분출하기 위한 내부 유로(3b)의 출구 개구(3d)가 적어도 1개 형성되어 있다. 출구 개구(3d)로부터 분출한 전해액(W)은, 도 1에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)과 피가공물(5)의 가공 구멍(5a)의 내면(5b) 사이나,

전기 절연층(4)의 외주와 가공 구멍(5a)의 내면(5b) 사이를 통과한 후, 가공 구멍(5a)의 개구로부터 외부로 배출된다. 가공용 전극(3)은, 전해액(W)의 액압에 의해 가공 구멍(5a)의 내면(5b)에 접촉하지 않도록 지지되어 있다.

- [0081] 전술한 바와 같이, 몇 개의 실시형태에 따른 전해 가공 방법(1)은, 전술한 스텝(S101)과, 전술한 스텝(S102)과, 전술한 스텝(S103)을 구비하고 있다.
- [0082] 여기에서, 본 발명자들에 의해 예의 검토한 결과, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포, 또는, 전해액(W)의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 편심시킴으로써, 휨 형상의 가공 구멍(5a)을 형성할 수 있는 것이 밝혀졌다.
- [0083] 보다 구체적으로 이하에 설명한다. 여기에서, 도 1에 나타내는 바와 같이, 가공 구멍(5a)이 휘는 방향과는 반대 방향을 휨 방향의 상류측(도면 중 축선(Ls)으로부터 좌측)이라고, 가공 구멍(5a)이 휘는 방향을 휨 방향의 하류측(도면 중 축선(Ls)으로부터 우측)이라고 정의한다. 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포를, 가공 구멍(5a)의 휨 방향 하류측으로 편심시키면, 휨 방향 상류측의 선단면(3c)과 가공 구멍(5a)의 내면(5d)(5b) 사이를 흐르는 전류에 비해서, 휨 방향 하류측의 선단면(3c)과 가공 구멍(5a)의 내면(5c)(5b) 사이를 흐르는 전류가 많아지므로, 그 만큼 가공 구멍(5a)의 내면(5b)의 가공량이 커진다. 이 때문에, 도 5, 7, 8, 10에 가공선(Lm)으로 나타내어지는 바와 같이, 피가공물(5)은, 휨 방향 상류측에 위치하는 내면(5d)에 비해서, 휨 방향 하류측에 위치하는 내면(5c)이 깊이 가공된다. 따라서, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포를 편심시킴으로써, 휨 형상의 가공 구멍(5a)을 형성할 수 있다.
- [0084] 또한, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 출구 개구(3d)로부터 분출되는 전해액(W)의 유속 분포를, 가공 구멍(5a)의 휨 방향 하류측으로 편심시키면, 휨 방향 상류측의 선단면(3c)과 가공 구멍(5a)의 내면(5d) 사이를 흐르는 전해액(W)의 유속에 비해서, 휨 방향 하류측의 선단면(3c)과 가공 구멍(5a)의 내면(5c) 사이를 흐르는 전해액(W)의 유량이 많아지므로, 그 만큼 전해 가공에 의해 이온 교환이 행해져서 가공 구멍(5a)의 내면(5c)으로부터 용출된 이온이 내재하는 전해액(W)을 배출할 수 있고, 전해 가공 속도가 향상된다. 이 때문에, 도 12, 14에 가공선(Lm)으로 나타내어지는 바와 같이, 피가공물(5)은, 휨 방향 상류측에 위치하는 내면(5d)에 비해서, 전해 가공의 효율이 저하되지 않는 휨 방향 하류측에 위치하는 내면(5c)이 깊이 가공된다. 따라서, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 전류 밀도의 분포를 편심시킴으로써, 휨 형상의 가공 구멍(5a)을 형성할 수 있다.
- [0085] 그래서, 몇 개의 실시형태에서는, 전해액(W)을 분출시키는 스텝(S101)에 있어서, 도 4~15를 참조해서 후술하는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)의 전류 밀도의 분포, 또는, 출구 개구(3d)로부터 분출되는 전해액(W)의 유속 분포 중 적어도 한쪽을 가공 구멍(5a)의 휨 방향 하류측(도 1 중 축심(Cs)을 통과하는 선단면(3c)에 수직인 축선(Ls)으로부터 우측)으로 편심시킨다.
- [0086] 이에 의해, 전술한 원리에 기초해서, 가공 구멍(5a)은, 가공용 전극(3)에 예를 들면 유체 도출부 등을 마련하지 않아도, 전류 밀도 분포 또는 유속 분포의 편심 방향을 향해 만곡한다. 여기에서, 피가공물(5)의, 휨 방향 상류측에 위치하는 내면(5d)에 비해서, 휨 방향 하류측에 위치하는 내면(5c)은 깊이 가공되므로, 해당 내면(5c)과 가공용 전극(3)의 선단면(3c) 사이의 간격이 넓어져, 해당 간격을 흐르는 전해액(W)의 액압이 저하된다. 가공용 전극(3)은, 주위를 흐르는 전해액(W)의 액압에 의해, 전술한 전해액(W)의 액압이 저하된 쪽으로, 선단부가 휘도록 측구되어서, 피가공물(5)을 전술한 편심한 방향으로 가공되어 간다. 따라서, 상기의 방법에 의하면, 전극(가공용 전극(3))의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍(가공 구멍(5a))의 형성을 용이하게 행할 수 있다.
- [0087] 이하, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포를 편심시켜서 휨 구멍을 형성하는 방법(도 4~10 참조), 및, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포를 편심시켜서 휨 구멍을 형성하는 방법(도 11~14 참조)에 대해서, 이 순서로 상술한다.
- [0088] (전류 밀도 분포를 편심시키는 휨 구멍 형성 방법)
- [0089] 도 4는, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극(3)의 선단면의 구성을 나타내고 있다. 도 5는, 도 4에 나타내는 가공용 전극(3)을 이용해서 가공 구멍(5a)을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- [0090] 도 6 및 도 9는, 도 4와 마찬가지로, 일 실시형태에 따른 가공용 전극(3)의 선단면의 구성을 나타내고 있다. 도 7 및 도 10은, 각각, 도 6 및 도 9에 나타내는 가공용 전극(3)을 이용해서 가공 구멍(5a)을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다. 도 8은, 선단에 테이퍼면(3g, 3h)이 형성된 가공용 전극(3)을 이용해서 가공 구멍(5a)을

형성하는 모습을 나타내는 도면이다.

- [0091] 몇 개의 실시형태에서는, 도 4~10에 나타내어지는 바와 같이, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)이, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심한 가공용 전극(3)(3A~3D)을 이용함으로써, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포를 축심(Cs)에 대해서 편심시킨다. 이 경우, 가공 구멍(5a)은, 축심(Cs)에 대한 해당 영역의 도심(Ca)의 어긋남 방향으로 휘어서 형성된다.
- [0092] 도 4, 5에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3A)은, 외통부(3a)의 지름 방향 내측에 1개의 내부 유로(3b)가 형성되고, 선단면(3c)에 내부 유로(3b)에 연통되는 1개의 출구 개구(3d)가 형성되어 있다. 가공용 전극(3A)은, 도 4에 나타내어지는 바와 같이, 출구 개구(3d)가 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 도면 중 좌측으로 편심해서 배치되어 있다. 이 때문에, 도 4에 나타내어지는 바와 같이, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)은, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 도면 중 우측으로 편심하고 있다.
- [0093] 도 6, 7에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3B)은, 외통부(3a)의 지름 방향 내측에 2개의 내부 유로(3b)가 형성되고, 선단면(3c)에 각각의 내부 유로(3b)에 연통되는 2개의 출구 개구(3d)가 형성되어 있다. 도 6에 나타내어지는 바와 같이, 도면 중 우측에 위치하는 출구 개구(3d)는, 도면 중 좌측에 위치하는 출구 개구(3d)에 비해서, 지름이 작게 형성되어 있다. 이 때문에, 도 6에 나타내어지는 바와 같이, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)이, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 도면 중 우측으로 편심하고 있다.
- [0094] 도 8에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3C)은, 가공용 전극(3A)과 마찬가지로의 구성을 갖고 있고, 선단에, 종단면뷰(view)에 있어서, 선단을 향함에 따라 서서히 외형 치수가 작아지는 테이퍼면(3g, 3h)이 형성되어 있다. 이 경우에는, 테이퍼면(3g, 3h)이 형성되는 것에 의해, 가공용 전극(3C)의 선단면(3c)의 근방을 흐르는 전해액(W)이, 전기 절연층(4)의 외주와 가공 구멍(5a)의 내면(5b) 사이에 흘러 들어오는 것이 용이하게 되므로, 전해 가공의 효율 저하를 방지할 수 있다. 이 테이퍼면(3g, 3h)은, 다른 가공용 전극(3)(3B, 3D~3G)에도 적용 가능하다.
- [0095] 도 8에 나타내는 바와 같이, 가공용 전극(3C)의 테이퍼면(3g, 3h)과, 선단면(3c)의 축선(Ls)에 수직인 면 사이의 경사각을 각각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ 로 하면, 외통부(3a)가 두께(T1)를 갖는 후육(厚肉)측(도면 중 우측)의 경사각( $\theta_1$ )이, 외통부(3a)가 두께(T1)보다 얇은 두께(T2)를 갖는 박육(薄肉)측의 경사각( $\theta_2$ )보다 작게 형성되어 있다. 테이퍼면의 경사각이 큰 경우에는, 테이퍼면의 경사각이 작은 경우에 비해서, 다량의 전해액(W)을, 전기 절연층(4)의 외주와 가공 구멍(5a)의 내면(5b) 사이에 흘릴 수 있다. 또한, 테이퍼면의 경사각이 작은 경우에는, 경사각이 큰 경우에 비해서, 전체적으로 테이퍼면과 피가공물(5)의 내면(5c, 5d)의 간격이 짧아지므로, 테이퍼면에 있어서의 전류 밀도가 피가공물(5)의 내면(5c, 5d)에 주는 작용이 크고, 피가공물(5)의 내면(5c, 5d)을 깊이 가공할 수 있다. 한편, 도 8에 나타내어지는 실시형태에서는, 선단면(3c)의 전체면에 걸쳐서 테이퍼면(3g, 3h)이 형성되어 있었지만, 테이퍼면(3g, 3h)은, 둘레 방향에 있어서의 적어도 일부에 형성되어 있어도 된다. 둘레 방향에 있어서의 휨 방향 하류측에만 테이퍼면(3g)을 형성함으로써, 휨 방향 하류측에 전해액(W)의 유속 분포를 편심시킬 수 있다.
- [0096] 도 9, 10에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3D)은, 외통부(3a)의 지름 방향 내측에 2개의 내부 유로(3b)가 형성되어 있지만, 한쪽 내부 유로(3b)(도면 중 우측의 내부 유로(3b))는 도전성 부재(11a)에 의해 폐색되어 있고, 출구 개구를 갖지 않는다. 즉, 2개의 내부 유로(3b) 중 도면 중 좌측의 내부 유로(3b)만이 출구 개구(3d)를 갖는다. 따라서, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)이 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심하고 있다. 한편, 도 6, 7에 나타내어지는 바와 같은, 서로의 지름이 상이한 2개의 내부 유로(3b)의 한쪽을 폐색하는 구성으로 해도 된다.
- [0097] 상기의 방법에 의하면, 내부 유로(3b)가 일부 폐색되기 전은, 축심(Cs)에 대해서 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)이 편심하고 있지 않는 경우에도, 내부 유로(3b)를 선단면(3c)에 있어서 도전성 부재(11a)에 의해 일부 폐색함으로써, 해당 도전성 부재(11a)에 전류가 흐르므로, 축심(Cs)에 대해서 해당 영역의 도심(Ca)을 편심시킬 수 있다. 이 때문에, 축심(Cs)에 대해서 해당 영역의 도심(Ca)이 어긋남 방향으로, 가공용 전극(3C)의 전류 밀도의 분포를 편심시킬 수 있으므로, 해당 영역의 도심(Ca)이 어긋남 방향으로 가공 구멍(5a)을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0098] 여기에서, 도 4, 6, 9에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)은, 기준선(Ld)에 의해서, 가공 구멍(5a)의 휨 방향 하류측의 제 1 영역(F1)과, 해당 휨 방향 상류측의 제 2 영역(F2)의 2개로 분할된다. 여기에서, 기준선(Ld)은, 선단면(3c)에 있어서, 축심(Cs)을 통과하고, 또한, 도심(Ca)과, 축심(Cs)을 통과하는 직선

에 수직인 직선이다.

- [0099] 도 4, 6, 9에 나타내어지는 바와 같이, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)를 제외한 영역의 도심(Ca)이, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심한 제 1 영역(F1)측은, 제 2 영역(F2)측에 비해서, 선단면(3c)에 있어서의 도전 가능한 면적이 크고, 전류가 흐르기 쉽다. 이 때문에, 전술한 도 1, 4~10에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3)(3A~3D)의 선단면(3c) 중, 제 2 영역(F2)측에 있어서의 전류 밀도의 평균값에 비해서, 제 1 영역(F1)측에 있어서의 전류 밀도의 평균값이 커지는 전류 밀도의 분포가 형성된다.
- [0100] (유속 분포를 편심시키는 휨 구멍 형성 방법)
- [0101] 도 11은, 도 1에 나타내는 A-A선을 따르는 개략적인 단면도이고, 일 실시형태에 따른 가공용 전극(3)의 선단면의 구성을 나타내고 있다. 도 12는, 도 11에 나타내는 가공용 전극(3)을 이용해서 가공 구멍(5a)을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- [0102] 도 13은, 도 11과 마찬가지로, 일 실시형태에 따른 가공용 전극(3)의 선단면의 구성을 나타내고 있다. 도 14는, 도 13에 나타내는 가공용 전극(3)을 이용해서 가공 구멍(5a)을 형성하는 모습을 나타내는 도면이다.
- [0103] 몇 개의 실시형태에서는, 도 11~14에 나타내어지는 바와 같이, 출구 개구(3d)의 도심(Co)이, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심한 가공용 전극(3)(3E, 3F)을 이용함으로써, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포를 축심(Cs)에 대해서 편심시킨다. 이 경우, 가공 구멍(5a)은, 축심(Cs)에 대한 출구 개구(3d)의 도심(Co)의 어긋남 방향으로 휘어서 형성된다.
- [0104] 도 11, 12에 나타내어지는 바와 같이, 가공용 전극(3E)은, 외통부(3a)의 지름 방향 내측에 1개의 내부 유로(3b)가 형성되고, 선단면(3c)에 내부 유로(3b)에 연통되는 1개의 출구 개구(3d)가 형성되어 있다. 가공용 전극(3E)의 출구 개구(3d)는, 대략 반원 형상이고, 선단면(3c)에 있어서의 출구 개구(3d)의 도심(Co)은, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 도면 중 우측으로 편심하고 있다.
- [0105] 도 11에 나타내어지는 바와 같이, 출구 개구(3d)의 도심(Co)이, 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심한 제 1 영역(F1)측은, 제 2 영역(F2)측에 비해서, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)을 분출하기 위한 출구 개구(3d)의 개구 면적이 커, 출구 개구(3d)로부터 전해액(W)을 대량으로 분출시킬 수 있다. 이 때문에, 전술한 도 11, 12에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3E)의 선단면(3c) 중, 제 2 영역(F2)에 있어서의 전해액(W)의 평균 유속에 비해서, 제 1 영역(F1)에 있어서의 전해액(W)의 평균 유속 쪽이 커지는 전해액(W)의 유속 분포가 형성된다.
- [0106] 도 13, 14에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공용 전극(3F)은, 외통부(3a)의 내벽끼리를 이어 외통부(3a)의 내부를 2분할하는 칸막이부(3f)를 포함하고 있다. 가공용 전극(3F)은, 칸막이부(3f)에 의해, 외통부(3a)의 지름 방향 내측에 2개의 내부 유로(3b)가 형성되어 있지만, 이 중 한쪽 내부 유로(3b)(도면 중 좌측의 내부 유로(3b))는 선단면(3c)에 있어서 폐색 부재(11)에 의해 폐색되어 있고, 다른 쪽 내부 유로(3b)만이 출구 개구(3d)를 갖고 있다. 이와 같이, 2개의 내부 유로(3b) 중 한쪽을 폐색 부재(11)에 의해 폐색함으로써, 선단면(3c) 중 출구 개구(3d)의 도심(Co)이 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서 편심하고 있다. 도 13, 14에 나타내어지는 실시형태에서는, 폐색 부재(11)는 단면 형상이 반원상인 비도전성 부재(11b)에 의해 구성된다. 한편, 폐색 부재(11)는 서로의 지름이 상이한 2개의 내부 유로(3b)의 한쪽을 폐색하도록 되어 있어도 되고, 적어도 1개의 내부 유로(3b)의 일부를 닫도록 되어 있어도 된다.
- [0107] 상기의 방법에 의하면, 내부 유로(3b)가 일부 폐색되기 전은, 축심(Cs)에 대해서 출구 개구(3d)의 도심(Co)이 편심하고 있지 않는 경우에도, 내부 유로(3b)를 일부 폐색함으로써, 축심(Cs)에 대해서 출구 개구(3d)의 도심(Co)을 편심시킬 수 있다. 이 때문에, 축심(Cs)에 대해서 출구 개구(3d)의 도심(Co)이 어긋남 방향으로, 출구 개구(3d)로부터 분출되는 전해액(W)의 유속 분포를 편심시킬 수 있으므로, 출구 개구(3d)의 도심(Co)이 어긋남 방향으로 가공 구멍(5a)을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0108] 한편, 칸막이부(3f)가 외통부(3a)의 내부를 3 이상의 복수로 분할하도록 구성되고, 칸막이부(3f)에 의해 분할된 내부 유로(3b) 중 적어도 1개가 폐색되어 있어도 된다. 또한, 내부 유로(3b)를 폐색하는 폐색 부재(11)는 도전성 부재(11a)에 의해 구성되어 있어도 된다. 칸막이부(3f)에 의해서 복수로 분할된 내부 유로(3b) 중 적어도 1개를 폐색 부재(11)에 의해 폐색함으로써, 가공용 전극(3)의 선단면(3c)의 축심(Cs)에 대해서, 선단면(3c)에 있어서의 전류 밀도의 분포나, 전해액(W)의 유속 분포를 가공 구멍(5a)의 휨 방향 하류측으로 편심시키는 것을 용이하게 행할 수 있다.

- [0109] 한편, 도 13~14에 나타난 실시형태에서는, 선단면(3c)에 마련한 폐색 부재(11)에 의해 내부 유로(3b)를 부분적으로 폐색함으로써, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포를 축심(Cs)에 대해서 편심시키도록 되어 있지만, 폐색 부재(11)는 내부 유로(3b)의 도중에 마련해도 된다.
- [0110] 도 15는, 일 실시형태에 따른 가공용 전극(3G)의 단면도이다. 동일 도면에 나타내는 바와 같이, 가공용 전극(3G)의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 내부 유로(3b)의 도심(Cf)은 가공용 전극(3G)의 축심(Ce)에 대해서 편심하고 있다. 한편, 내부 유로(3b)의 도심(Cf)을 가공용 전극(3G)의 축심(Ce)에 대해서 편심하도록, 가공용 전극(3G)의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서의, 내부 유로(3b)의 형상을 출구 개구(3d)의 형상과는 상이한 형상으로 해도 된다.
- [0111] 상기의 방법에 의하면, 가공용 전극(3G)의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 내부 유로(3b)의 도심(Cf)은 가공용 전극(3F)의 축심(Ce)에 대해서 편심하고 있으므로, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포는, 축심(Ce)에 대해서 내부 유로(3b)의 도심(Cf)이 어긋난 방향으로 편심한다. 따라서, 내부 유로(3b)의 도심(Cf)이 어긋난 방향으로 가공 구멍(5a)을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0112] 전술한 몇 개의 실시형태에서는, 가공용 전극(3G)의 축 방향으로 직교하는 단면 내에 있어서, 내부 유로(3b)의 도심(Cf)을 가공용 전극(3F)의 축심(Ce)에 대해서 편심시킴으로써, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포를 축심(Cs)에 대해서 편심시키고 있었지만, 가공용 전극(3)에 복수의 내부 유로(3b)가 형성되어 있는 경우에, 각각의 내부 유로(3b)를 통과하는 전해액(W)의 유속에 차이를 마련함으로써, 선단면(3c)에 있어서의 전해액(W)의 유속 분포를 축심(Cs)에 대해서 편심시켜도 된다.
- [0113] 몇 개의 실시형태에서는, 전술한 전해 가공 시스템(2)의 전술한 전해액 공급량 조정 장치(8)는, 1개의 가공용 전극(3)에 형성된 복수의 내부 유로(3b) 각각으로의 전해액(W)의 공급량을 조정 가능하게 구성되어 있다. 이 경우에는, 전해액 공급량 조정 장치(8)에 의한 내부 유로(3b)를 통과하는 전해액(W)의 유속 분포의 편심에 수반하여, 출구 개구(3d)로부터 분출되는 전해액(W)의 유속 분포가 편심하므로, 내부 유로(3b)를 통과하는 전해액(W)의 유속 분포가 편심한 방향으로 가공 구멍(5a)을 휘게 해서 형성 가능하다.
- [0114] 몇 개의 실시형태에 따른 천공 부재(5A)의 제조 방법은, 전술한 몇 개의 실시형태에 따른 전해 가공 방법(1)에 의해, 피가공물(5)에 가공 구멍(5a)을 형성해서 천공 부재(5A)를 제조하는 스텝을 구비하고 있다. 즉, 천공 부재(5A)의 제조 방법은, 전술한 스텝(S101)과, 전술한 스텝(S102)과, 전술한 스텝(S103)을 구비하고 있다. 이 경우에는, 전술한 전해 가공 방법(1)에 의해, 전극(가공용 전극(3))의 구성의 복잡화를 회피하면서, 휨 구멍(가공 구멍(5a))의 형성을 용이하게 행할 수 있으므로, 가공 구멍(5a)을 갖는 천공 부재(5A)를 용이하게 제조할 수 있다.
- [0115] 한편, 도 3에 나타내어지는 바와 같이, 천공 부재(5A)는, 가공 구멍(5a)으로서의 휨 형상의 냉각 구멍을 갖는 가스 터빈 동익(5B)이어도 된다. 가스 터빈 동익(5B)에서는, 가공 구멍(5a)은 가스 터빈 동익(5B)을 냉각하는 냉각 매체를 유통시키는 냉각 구멍으로서 사용된다. 이 경우에는, 가공 구멍(5a)(냉각 구멍)의 휨 형상을 가스 터빈 동익(5B)의 기하 형상을 따라 만족시키거나 할 수 있다. 또한, 도 3에 나타내어지는 실시형태에서는, 가공 구멍(5a)은 가스 터빈 동익(5B)의 하단측(도면 중 상측)부터 상단측(도면 중 하측)까지 걸쳐서 관통하는 관통 구멍이지만, 가스 터빈 동익(5B)의 내부에 마련된 냉각 유로와 외부를 연통시키도록 압력면, 부압(負壓)면 또는 뒤가장자리부에 개구되는 임의의 관통 구멍이어도 되고, 또한, 관통하지 않는 깊은 구멍이어도 된다.
- [0116] 본 발명은 전술한 실시형태로 한정되는 것은 아니고, 전술한 실시형태에 변형을 가한 형태나, 이들 형태를 적절히 조합한 형태도 포함한다.

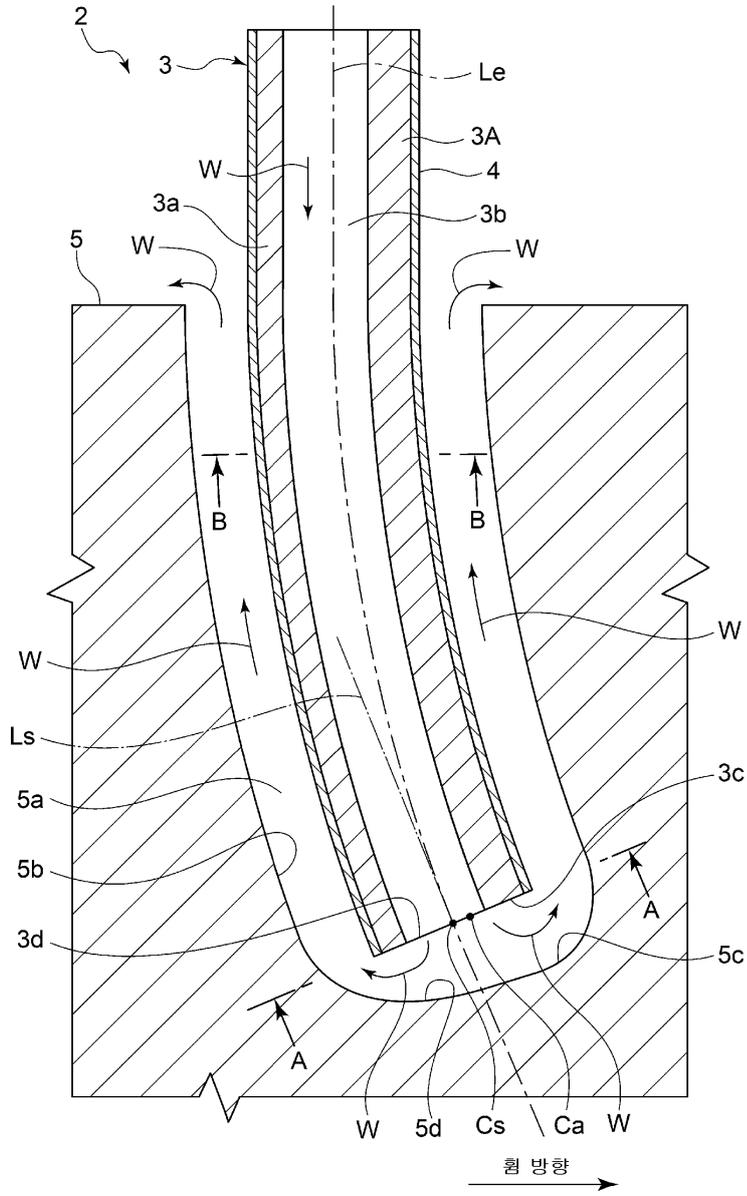
**부호의 설명**

- [0117] 1: 전해 가공 방법
- 2: 전해 가공 시스템
- 3, 3A~3G: 가공용 전극
- 3a: 외통부
- 3b: 내부 유로
- 3c: 선단면

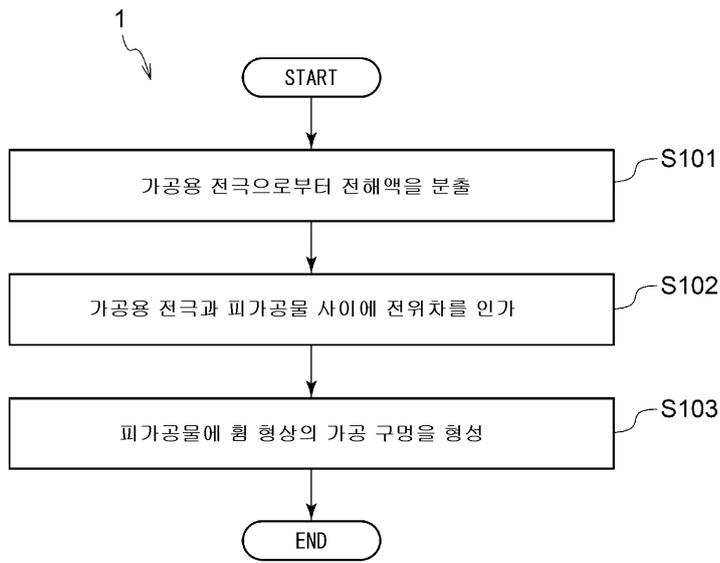
- 3d: 출구 개구
- 3f: 칸막이부
- 3g, 3h: 테이퍼면
- 4: 전기 절연층
- 5: 피가공물
- 5A: 천공 부재
- 5B: 가스 터빈 동익
- 5a: 가공 구멍
- 5b~5d: 내면
- 6: 전원
- 7: 전해액 공급 장치
- 8: 전해액 공급량 조정 장치
- 9: 전극 전송 장치
- 10: 전극 가이드 부재
- 11: 폐색 부재
- 11a: 도전성 부재
- 11b: 비도전성 부재
- Ca: 선단면 중 출구 개구를 제외한 영역의 도심
- Ce: 가공용 전극의 도심
- Cf: 내부 유로의 도심
- Co: 출구 개구의 도심
- Cs: 선단면의 축심
- F1: 제 1 영역
- F2: 제 2 영역
- Ld: 기준선
- Le: 가공용 전극의 축선
- Lm: 가공선
- Ls: 선단면의 축선
- T1, T2: 두께
- W: 전해액
- $\theta 1$ ,  $\theta 2$ : 경사각

도면

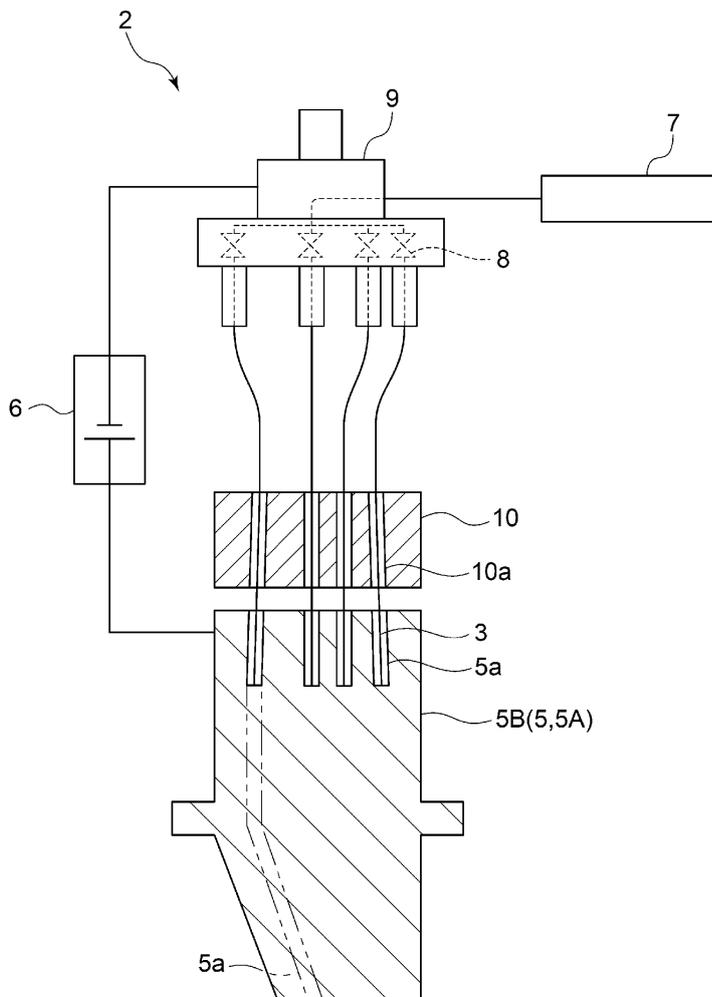
도면1



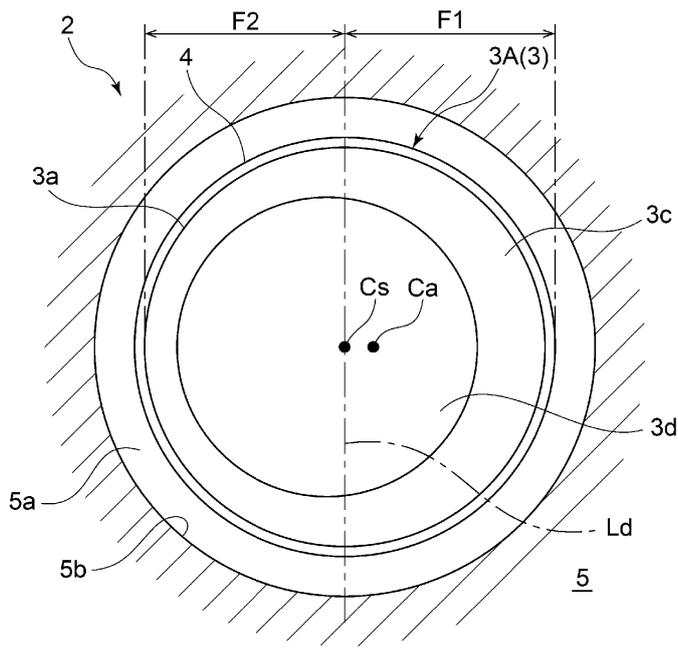
도면2



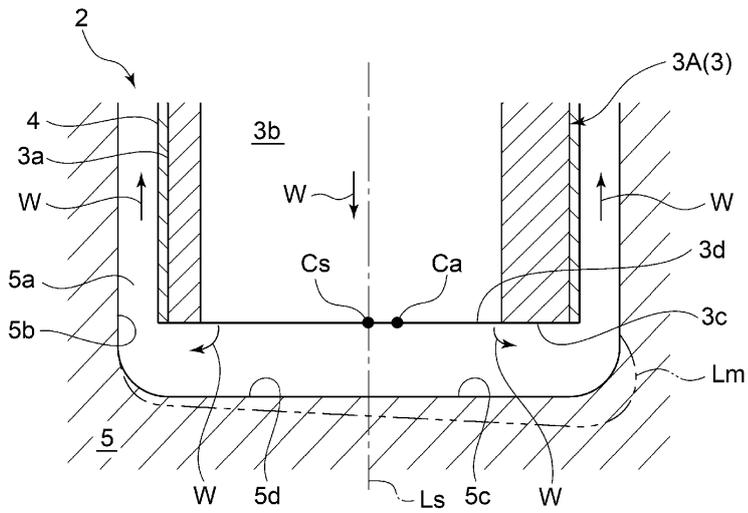
도면3



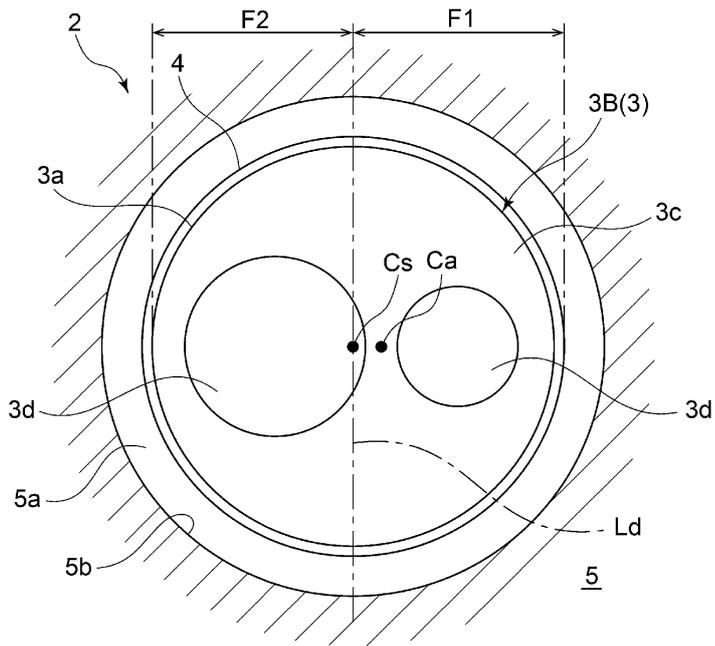
도면4



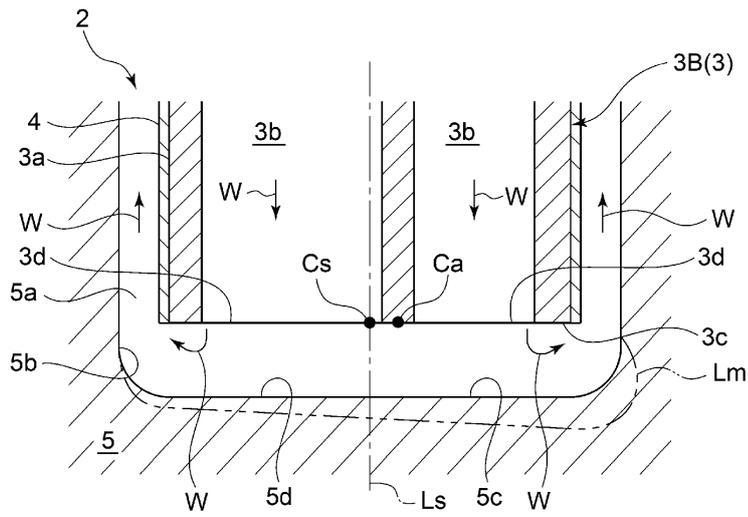
도면5



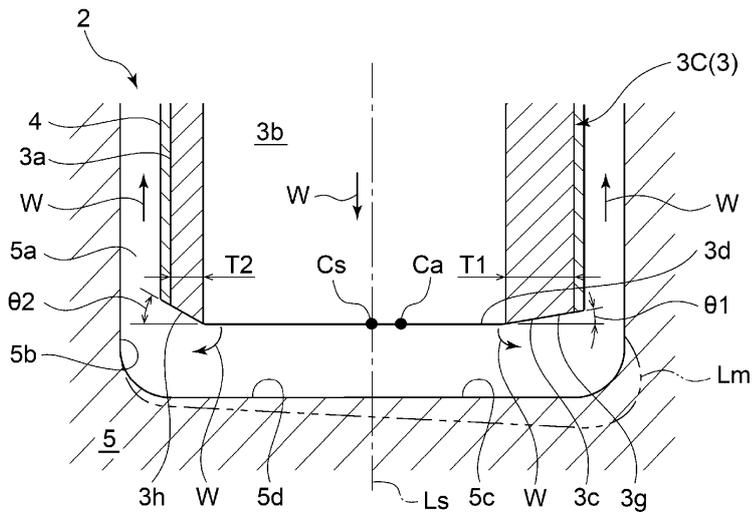
도면6



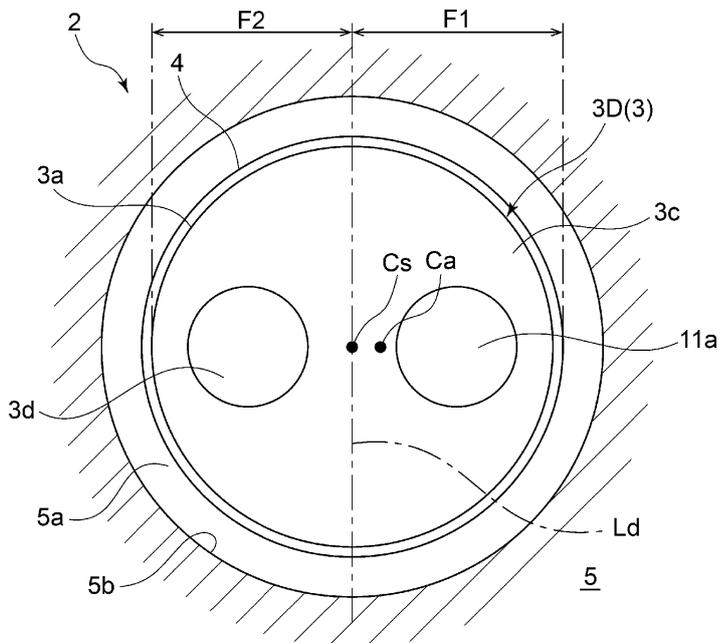
도면7



도면8

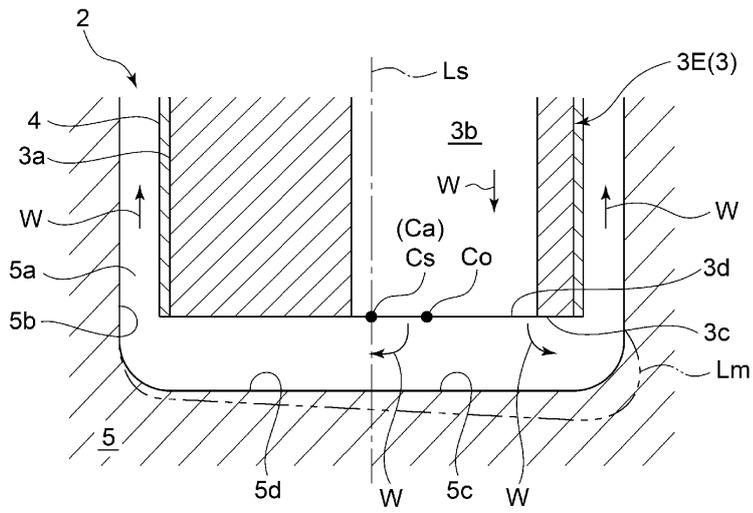


도면9

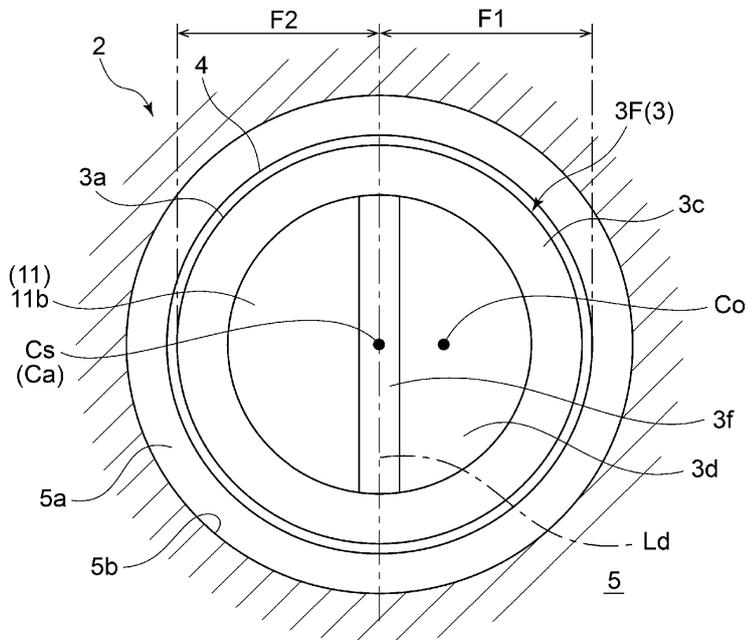




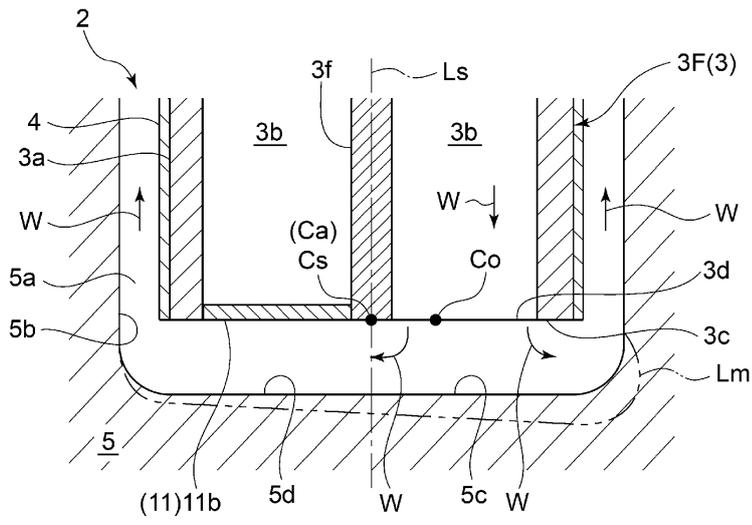
도면12



도면13



도면14



도면15

