



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0086379  
(43) 공개일자 2008년09월25일

(51) Int. Cl.

*B23H 9/10* (2006.01) *B23H 3/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0025886

(22) 출원일자 2008년03월20일

심사청구일자 없음

(30) 우선권주장

11/726,424 2007년03월22일 미국(US)

(71) 출원인

제너럴 일렉트릭 캄파니

미합중국 뉴욕, 웨벡테디, 원 리버 로우드

(72) 발명자

리 칭광

미국 오하이오주 45243 신시내티 카마고 파인스  
레인 12

웨이 빈

미국 뉴욕주 12118 미케닉빌 단포쓰 로드 8

초우 첸유 켜

미국 오하이오주 45241 신시내티 히쓰콕 코트  
7414

(74) 대리인

김창세, 장성구

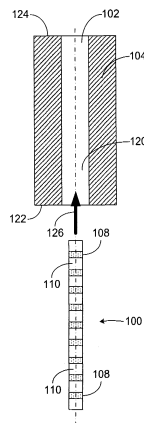
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 난류화 냉각 구멍을 형성하기 위한 방법 및 시스템

### (57) 요약

대상물에 구멍을 형성하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은 대상물에 시작 구멍을 형성하는 단계, 전극을 실질적으로 둘러싸는 적어도 하나의 절연 섹션과, 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는 전해 가공 전극을 제공하는 단계, 및 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍의 형성을 촉진하기 위해 상기 전극을 시작 구멍 내에 삽입하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

대상물에 구멍을 형성하기 위한 방법에 있어서,

상기 대상물에 시작 구멍(starter hole)을 형성하는 단계와,

전해 가공 전극을 제공하는 단계로서, 상기 전극은 상기 전극을 실질적으로 둘러싸는 적어도 하나의 절연 섹션 및 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는, 상기 전해 가공 전극을 제공하는 단계와,

제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍의 형성을 촉진하기 위해 상기 전극을 상기 시작 구멍 내에 삽입하는 단계를 포함하는

구멍 형성 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 시작 구멍 내에 상기 전극을 삽입하는 단계는 복수의 제 1 섹션과 복수의 제 2 섹션을 형성하기 위해 상기 시작 구멍 내에 상기 전극을 삽입하는 단계를 더 포함하고, 각각의 제 1 섹션은 한 쌍의 인접한 제 2 섹션 사이에 형성되는

구멍 형성 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 전해 가공 전극을 제공하는 단계는, 상기 전극을 실질적으로 둘러싸고 상기 전극의 비절연 섹션에 의해 분리되는 복수의 절연 섹션을 갖는 전해 가공 전극을 제공하는 단계를 더 포함하는

구멍 형성 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 시작 구멍 내에 상기 전극을 삽입하는 단계는 상기 전극의 비절연 섹션으로부터 방출된 전류로 상기 구멍의 각각의 제 2 섹션을 형성하는 단계를 더 포함하는

구멍 형성 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 시작 구멍 내에 상기 전극을 삽입하는 단계는 상기 구멍의 제 1 섹션의 단면적보다 큰 단면적을 갖는 상기 구멍의 제 2 섹션을 형성하는 단계를 포함하는

구멍 형성 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 시작 구멍으로부터 재료를 제거하는 것을 촉진하기 위해 상기 전극을 통해 전해질액을 순환시키는 단계를 더 포함하는

구멍 형성 방법.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 시작 구멍 내에 상기 전극을 삽입하는 단계는 터빈 엔진 부품에 냉각 구멍을 형성하는 단계를 더 포함하는 구멍 형성 방법.

#### 청구항 8

전해 가공(ECM) 장치에 있어서,

적어도 하나의 비절연 섹션을 포함하는 전극과,

상기 전극의 적어도 하나의 섹션을 실질적으로 둘러싸는 절연체를 포함하고,

상기 전극은 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 형성되는 구멍을 형성하기 위해 시작 구멍 내에 삽입되는

전해 가공 장치.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 상기 전극을 실질적으로 둘러싸는 복수의 절연 섹션을 더 포함하고, 상기 전극의 비절연 섹션은 상기 전극의 인접한 절연 섹션의 각 쌍 사이에서 연장하는

전해 가공 전극.

#### 청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 복수의 제 1 섹션과 복수의 제 2 섹션을 갖는 구멍을 형성하고, 각각의 제 1 섹션은 한 쌍의 인접한 제 2 섹션 사이에 형성되는 것을 특징으로 하는

전해 가공 전극.

#### 청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 상기 전극의 비절연 섹션으로부터 방출된 전류로 상기 구멍의 각각의 제 2 섹션을 형성하는

전해 가공 장치.

#### 청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 상기 구멍의 제 1 섹션의 단면적보다 큰 단면적을 갖는 상기 구멍의 제 2 섹션을 형성하는 것을 특징으로 하는

전해 가공 전극.

#### 청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 상기 시작 구멍으로부터 재료를 제거하는 것을 촉진하기 위해 상기 전극을 통해 전해질액을 순환시키는

전해 가공 전극.

#### 청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 전극은 터빈 엔진 부품에 냉각 구멍을 형성하도록 구성된 전해 가공 전극.

#### 청구항 15

터빈 엔진 부품에 구멍을 가공하기 위한 시스템에 있어서,  
상기 시스템은 전해 가공 장치를 포함하고, 상기 전해 가공 장치는,  
적어도 하나의 비절연 섹션을 포함하는 전극과,  
상기 전극의 적어도 하나의 섹션을 실질적으로 둘러싸는 절연체를 포함하며,  
상기 전극은 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍을 형성하기 위해 시작 구멍 내에 삽입되는 것을 특징으로 하는  
구멍 가공 시스템.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서,  
상기 전극은 상기 전극을 실질적으로 둘러싸는 복수의 절연 섹션을 더 포함하고, 상기 전극의 비절연 섹션은 상기 전극의 인접한 절연 섹션의 각 쌍 사이에서 연장하는  
구멍 가공 시스템.

#### 청구항 17

제 15 항에 있어서,  
상기 전극은 복수의 제 1 섹션과 복수의 제 2 섹션을 갖는 구멍을 형성하며, 각각의 제 1 섹션은 한 쌍의 인접한 제 2 섹션 사이에 형성되는 것을 특징으로 하는  
구멍 가공 시스템.

#### 청구항 18

제 15 항에 있어서,  
상기 전극은 상기 전극의 비절연 섹션으로부터 방출된 전류로 상기 구멍의 각각의 제 2 섹션을 형성하는  
구멍 가공 시스템.

#### 청구항 19

제 15 항에 있어서,  
상기 전극은 상기 구멍의 제 1 섹션의 단면적보다 큰 단면적을 갖는 상기 구멍의 제 2 섹션을 형성하는  
구멍 가공 시스템.

#### 청구항 20

제 15 항에 있어서,  
상기 전극은 상기 시작 구멍으로부터 재료를 제거하는 것을 촉진하기 위해 전극을 통해 전해질액을 순환시키는  
구멍 가공 시스템.

### 명세서

#### 발명의 상세한 설명

#### 기술 분야

- <1> 본 발명은 일반적으로 전해 가공(electrochemical machining: ECM)에 관한 것이며, 보다 구체적으로는 터빈 엔진 에어포일(airfoil)에 냉각 구멍을 형성하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

## 배경 기술

- <2> 적어도 일부의 공지된 터빈 엔진 부품에는 냉각 구멍이 형성된다. 일반적으로, 이러한 냉각 구멍은 엔진 내의 냉각 공기가 대류 냉각을 제공하도록 엔진 부품을 통해서 유동할 수 있게 한다. 따라서, 이러한 냉각 구멍은 터빈 엔진의 수명을 증가시키거나 및/또는 터빈 엔진의 정비에 관련한 비용을 감소시킬 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

- <3> 전해 가공 및/또는 성형 튜브 전해 가공(shaped tube electrochemical machining)은 통상 터빈 엔진 부품에 냉각 구멍을 형성하기 위해 사용된다. ECM 공정 중에, 가공되는 가공물은 DC 전원의 양극에 결합되며 전극은 DC 전원의 음극에 결합된다. 전해질액은 전극과 가공물 사이에서 유동한다. 예를 들어, 전해질액은 산성 또는 수성 염용액일 수 있다. 가공 공정 중에, 가공물은 제어된 전기화학 반응에 의해 용해되어 냉각 구멍을 형성한다. 일반적으로, 이러한 가공 공정은 대체로 원형의 단면적과 5보다 큰 길이-대-직경 비율을 갖는 냉각 구멍을 형성한다. 더욱이, 이들 구멍은 대체로 균일하며, 거의 균일한 조도를 갖는다. 그러나, 구멍이 부품에 대한 대류 냉각을 증가시킬 수 있는 충분한 양의 조도 또는 불연속성이 결여되어 있기 때문에, 이러한 냉각 구멍은 종종 불충분한 정도의 대류 냉각을 제공한다.

### 과제 해결수단

- <4> 일 실시예에서는, 대상물에 구멍을 형성하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은 대상물에 시작 구멍(starter hole)을 형성하는 단계, 전극을 실질적으로 둘러싸는 적어도 하나의 절연 섹션 및 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는 전해 가공 전극을 제공하는 단계와, 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍의 형성을 촉진하기 위해 상기 전극을 시작 구멍 내에 삽입하는 단계를 포함한다.
- <5> 다른 실시예에서는, 전해 가공(ECM) 장치가 제공된다. 이 장치는 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는 전극, 및 상기 전극의 적어도 하나의 섹션을 실질적으로 둘러싸는 절연체를 구비한다. 상기 전극은 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍을 형성하기 위해 시작 구멍 내에 삽입된다.
- <6> 또 다른 실시예에서는, 터빈 엔진 부품에 구멍을 가공하기 위한 시스템이 제공된다. 이 시스템은 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는 전극, 및 상기 전극의 적어도 하나의 섹션을 실질적으로 둘러싸는 절연체를 구비하는 전해 가공(ECM) 장치를 구비한다. 상기 전극은 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 2 섹션에 의해 규정되는 구멍을 형성하기 위해 시작 구멍 내에 삽입된다.

## 효 과

- <7> 본 발명의 시스템 및 방법에 의하면, 전극에 의해 터빈 엔진 부품에 난류화 냉각 구멍이 형성됨으로써, 냉각 구멍 내에서의 대류성 냉각의 정도가 증가되고, 냉각 구멍으로부터 하류에서의 필름 냉각 향상이 촉진되며, 그로 인해 터빈 엔진의 수명 증대가 촉진되고 및/또는 터빈 엔진의 정비와 관련된 비용이 감소된다.

### 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <8> 본 발명은 터빈 엔진 에어포일에 얇은 말단 냉각 구멍을 가공하는데 사용될 수 있는 시스템을 제공한다. 이 시스템은 관통 유동하는 전해질액을 갖는 중공의 전해 가공(ECM) 전극을 사용한다. 예를 들어, 전해질액은 산성 또는 수성 염용액일 수 있다. 가공 전에, 에어포일은 DC 전원의 양극에 결합되고 전극은 DC 전원의 음극에 결합된다. 전해질이 전극과 에어포일 사이에서 유동함에 따라, 에어포일은 제어된 전기화학 반응에 의해 용해되어 냉각 구멍을 형성한다.
- <9> 가공 중에, 전해질액은 에어포일로부터 재료를 제거하는 전류의 방출을 촉진하기 위해 중공 전극을 통해서 흐른다. 예시적인 실시예에서, 전극은 제 1 단면적에 의해 규정되는 적어도 하나의 제 1 섹션과 제 2 단면적에 의해 규정되는 적어도 하나의 제 2 섹션을 구비하는 냉각 구멍을 형성한다. 또한, 예시적인 실시예에서, 결합 구

명의 각각의 제 1 섹션은 냉각 구멍의 인접하는 제 2 섹션들 사이에 배향된다.

- <10> 본 발명은 터빈 에어포일에 냉각 구멍을 형성하는 관점에서 설명되지만, 당업자라면 알 수 있듯이, 본 발명은 엔진의 다른 부품 및/또는 냉각 구멍을 필요로 할 수 있는 임의의 다른 시스템의 부품, 예를 들면 이하의 것에 제한되지는 않지만 터빈 케이싱, 배기 파이프, 및 덕트에 냉각 구멍을 형성하는 것에도 적용될 수 있다. 또한, 본 발명은 전해 가공의 관점에서 설명되지만, 당업자라면 알 수 있듯이, 본 발명은 냉각 구멍을 형성하는 다른 방법에도 적용될 수 있다.
- <11> 도 1은 터빈 엔진 에어포일(104)에 형성된 시작 구멍(102)을 통해서 삽입되는 예시적인 전해 가공(ECM) 전극(100)의 단면도이다. 도 2는 시작 구멍(102)에 삽입된 후의 전극(100)을 도시한다. 도 3은 가공 공정이 완료되고 냉각 구멍(106)이 형성된 후의 에어포일(104)의 단면도이다. 예시적인 실시예에서, 전극(100)은 실질적으로 원통형이고 중공형이며, 이를 통해서 전해질액을 운반하도록 구성된다. 당업계에 알려져 있듯이, 전해질액은 가공되는 부분으로부터 재료를 제거하기 위해 전기화학적 용해를 위한 매체로서 작용한다. 전해질액은 또한 용해된 재료를 가공 구역으로부터 제거한다. 당업자라면 알 수 있듯이, 전극(100)은 그 의도된 기능 및/또는 작동 전극(100)의 의도된 결과에 기초하여 임의의 적합한 형상을 가질 수 있다.
- <12> 또한, 예시적인 실시예에서, 전극(100)은 이 전극(100)을 실질적으로 둘러싸는 절연체에 의해 형성되는 복수의 절연 섹션(108)을 구비한다. 상세히 후술하듯이, 절연 섹션(108)은 소정의 냉각 구멍 크기 및 형상이 얻어질 수 있도록 재료 용해를 소정 섹션으로 한정하는 것을 촉진한다. 당업자라면 알 수 있듯이, 전극(100)은 이 전극(100)이 본 명세서에 기술하듯이 기능할 수 있게 해주는 임의의 적합한 개수의 절연 섹션(108)을 구비할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 전극(100)은 또한 복수의 비절연 섹션(110)을 구비한다. 당업자라면 알 수 있듯이, 전극(100)은 이 전극(100)이 본 명세서에 기술하듯이 기능할 수 있게 해주는 임의의 개수의 비절연 섹션(110)을 구비할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 비절연 섹션(110)은 각각의 인접한 절연 섹션(108) 사이에 배치된다. 변형 실시예에서, 비절연 섹션(110) 및 절연 섹션(108)의 구조는 전극(100)의 의도된 기능 및/또는 작동 전극(100)의 의도된 결과에 기초하여 가변적으로 선택된다.
- <13> 가공 공정 중에, 구체적으로는 전극(100)의 작동 전에, 에어포일(104)에 시작 구멍(102)이 형성된다. 예시적인 실시예에서, 시작 구멍(102)은 전해 가공 전극, 방전 가공 전극 및/또는 레이저 중 적어도 하나를 사용하여 천공된다. 또한, 예시적인 실시예에서는, 에어포일 말단에 시작 구멍(102)이 형성된다. 더욱이, 예시적인 실시예에서, 시작 구멍(102)은 제 1 단면적(120)으로 형성되며, 이 단면적은 시작 구멍(102)에 걸쳐서 거의 일정하다. 예를 들면, 예시적인 실시예에서, 단면적(120)은 실질적으로 원형이다. 당업자라면 알 수 있듯이, 변형 실시예에서, 제 1 단면적(120)은 난류화 냉각 구멍(106)의 형성을 촉진하는 임의의 형상으로 형성될 수 있다. 또한, 예시적인 실시예에서, 시작 구멍(102)은 이하의 것에 제한되지는 않지만 에어포일(104)의 제 1 표면(122)에 대해 측정되는 대략 0°, 대략 90°, 또는 0°와 90° 사이의 임의의 경사각을 포함하는 다양한 각도로 형성될 수 있다.
- <14> 가공 공정 중에, 구체적으로는 전극(100)의 작동 중에, 전극(100)은 에어포일(104)의 제 1 표면(122)을 통해서 시작 구멍(102)에 삽입되며, 도 1에 화살표(126)로 도시하듯이 에어포일(104)의 대향 제 2 표면(124)을 향해서 이동된다. 작동 중에, 전해질액은 유도된 전류(128)가 전극(100)으로 향하게 하기 위해 전극(100)을 통해서 채널 유도된다. 예시적인 실시예에서, 전류(128)는 복수의 비절연 섹션(110)으로부터 방출되어 시작 구멍(102)의 부분으로부터 재료의 제거를 촉진하여 냉각 구멍(106)을 형성한다. 예시적인 실시예에서, 재료는 시작 구멍(102)으로부터 전기화학적 용해를 통해서 제거된다. 예시적인 실시예에서, 전극 비절연 섹션(110)으로부터 방출된 전류(128)는 재료가 시작 구멍(102)으로부터 제거되게 하여 제 1 단면적(120)보다 큰 복수의 제 2 단면적(130)을 형성한다. 예를 들어, 예시적인 실시예에서, 제 2 단면적(130)은 실질적으로 원형이다. 당업자라면 알 수 있듯이, 변형 실시예에서, 단면적(130)은 난류화 냉각 구멍(106)을 형성하기에 적합한 임의의 형상을 가질 수 있다.
- <15> 가공 공정 중에, 전극(100)의 절연 섹션(108)으로부터는 전류(128)가 방출되지 않는다. 따라서, 시작 구멍(102)의 일부는 가공 공정 중에 전류(128)에 노출되지 않는다. 그로 인해, 전류(128)에 노출되지 않는 복수의 제 1 섹션(140) 및 전극(100)의 비절연 섹션(110)으로부터 방출되는 전류(128)에 노출되는 복수의 제 2 섹션(142)을 갖는 난류화 냉각 구멍(106)이 형성된다. 예시적인 실시예에서, 각각의 제 1 섹션(140)은 제 1 단면적(120)으로 형성되고 각각의 제 2 섹션(142)은 제 2 단면적(130)으로 형성된다. 추가로 예시적인 실시예에서, 각각의 냉각 구멍 제 1 섹션(140)은 한 쌍의 인접하는 냉각 구멍 제 2 섹션(142) 사이에서 연장된다.
- <16> 따라서, 전극(100)은 상이한 관통 단면적(120, 130)을 갖는 난류화 냉각 구멍(106)의 형성을 촉진한다. 구체적

으로, 완전히 형성될 때, 냉각 구멍(106)은 각각의 냉각 구멍 섹션(140, 142)에 규정되는 상이한 단면적(120, 130)을 갖는다. 예시적인 실시예에서, 단면적(120, 130)은 매끄럽고, 거칠며, 및/또는 주름진 표면 마무리중 적어도 하나로 형성될 수 있다.

<17> 그로 인해, 전극(100)은 냉각 구멍(106) 내에 불연속적인 및/또는 거친 표면을 제공하는 것을 촉진한다. 따라서, 냉각 구멍(106)을 통한 냉각 공기의 유동이 방해된다. 그 결과, 냉각 공기는 난류가 증가되고 냉각 구멍(106)의 내표면(144)과의 접촉 정도가 증가되도록 촉진된다. 따라서, 냉각 구멍(106) 내의 대류성 냉각 정도가 증가되도록 촉진된다. 더욱이, 난류화 냉각 구멍(106)은 냉각 구멍(106)으로부터 하류에서의 필름 냉각을 향상시킨다.

<18> 일 실시예에서는, 대상물에 난류화 냉각 구멍을 형성하기 위한 방법이 제공된다. 이 방법은 대상물에 시작 구멍을 형성하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 전극을 실질적으로 둘러싸는 적어도 하나의 절연 섹션과, 적어도 하나의 비절연 섹션을 갖는 전해 가공 전극을 제공하는 단계를 포함한다. 냉각 구멍의 형성 중에, 전극은 제 1 단면적에 의해 규정되는 적어도 하나의 제 1 섹션 및 제 2 단면적에 의해 규정되는 적어도 하나의 제 2 섹션을 구비하는 난류화 냉각 구멍의 형성을 촉진하기 위해 시작 구멍 내에 삽입된다. 일 실시예에서, 상기 방법은 각각의 냉각 구멍 제 1 섹션이 한 쌍의 인접한 냉각 구멍 제 2 섹션 사이에서 연장되도록 제 1 단면적을 갖는 복수의 냉각 구멍 제 1 섹션 및 제 2 단면적을 갖는 복수의 냉각 구멍 제 2 섹션을 형성하는 단계를 포함한다.

<19> 다른 실시예에서, 이 방법은 복수의 절연 섹션에 의해 실질적으로 둘러싸이는 전해 가공 전극을 제공하는 단계로서, 전극의 비절연 섹션은 전극의 각각의 인접한 절연 섹션 쌍 사이에 배향되는 단계를 포함한다. 추가 실시예에서, 이 방법은 전극의 비절연 섹션으로부터 방출되는 전류로 냉각 구멍의 각각의 제 2 섹션을 형성하는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 이 방법은 냉각 구멍의 제 1 섹션의 직경보다 큰 직경을 갖는 냉각 구멍의 제 2 섹션을 형성하는 단계를 포함한다. 다른 실시예에서, 이 방법은 또한 시작 구멍으로부터의 재료 제거를 촉진하기 위해 전해질액을 전극을 통해서 순환시키는 단계를 포함한다. 예시적인 실시예에서, 이 방법은 터빈 엔진 에어포일에 냉각 구멍을 형성하는 단계를 포함한다.

<20> 전술한 시스템 및 방법에 의하면 전극이 터빈 엔진 부품에 난류화 냉각 구멍을 형성할 수 있다. 형성된 냉각 구멍은 냉각 구멍을 통한 냉각 공기의 유동을 방해함으로써 냉각 공기의 난류 증대를 촉진하고 냉각 공기가 냉각 구멍의 내표면과 접촉하는 정도의 증가를 촉진한다. 따라서, 냉각 구멍 내에서의 대류성 냉각의 정도는 증가되도록 촉진된다. 더욱이, 난류화 냉각 구멍은 냉각 구멍으로부터 하류에서의 필름 냉각 향상을 촉진한다. 그러므로, 전술한 시스템 및 방법은 터빈 엔진의 수명 증대를 촉진하고 및/또는 터빈 엔진의 정비와 관련된 비용을 감소시킨다.

<21> 본 명세서에서 단수로 지칭되는 요소 또는 단계는 명확히 언급되지 않는 한 복수적인 의미를 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명의 "일 실시예"에 대한 지칭은 인용된 특징부를 추가로 통합하는 추가적인 실시예의 존재를 배제하는 것으로 해석되지 않아야 한다.

<22> 에어포일에 난류화 냉각 구멍을 형성하기 위한 시스템 및 방법의 예시적인 실시예에 대해 상세히 상술하였다. 개시된 시스템 및 방법은 본 명세서에 기재된 특정 실시예에 한정되지 않으며, 시스템의 부품들은 본 명세서에 기재된 다른 부품들과 독립적으로 및 개별적으로 사용될 수 있다. 또한, 본 방법에 기재된 단계들은 본 명세서에 기재된 다른 단계들과 독립적으로 및 개별적으로 사용될 수 있다.

<23> 본 발명은 다양한 특정 실시예의 관점에서 기재되었지만, 당업자는 본 발명이 청구범위의 정신과 범위 내에서 변형될 수 있음을 알 것이다.

### 도면의 간단한 설명

<24> 도 1은 터빈 엔진 에어포일 내의 시작 구멍에 삽입되는 예시적인 전해 가공(ECM) 전극의 단면이다.

<25> 도 2는 도 1에 도시된 전극의 단면도로서 도 1에 도시된 에어포일에 삽입된 상태를 나타내는 도면이다.

<26> 도 3은 관통 형성된 냉각 구멍을 갖는 도 1에 도시된 에어포일의 확대 단면도이다.

<27> 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

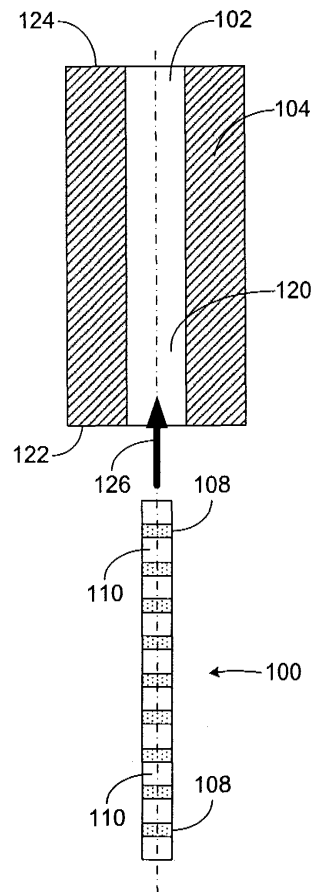
<28> 100: 전해 가공 전극

102: 시작 구멍

- |      |              |             |
|------|--------------|-------------|
| <29> | 104: 에어포일    | 106: 냉각 구멍  |
| <30> | 108: 절연 섹션   | 110: 비절연 섹션 |
| <31> | 120: 제 1 단면적 | 128: 전류     |
| <32> | 130: 제 2 단면적 |             |

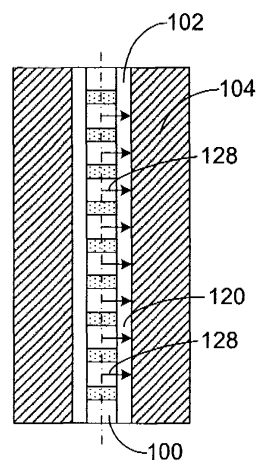
도면

도면1





도면2



도면3

