



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월26일
(11) 등록번호 10-2773965
(24) 등록일자 2025년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/21 (2014.01) B23P 15/04 (2006.01)
C22C 19/05 (2006.01) F01D 5/18 (2006.01)
B23K 101/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/21 (2015.10)
B23P 15/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0077189
(22) 출원일자 2024년06월13일
심사청구일자 2024년06월13일
(56) 선행기술조사문헌
비특허문헌1*
KR1020010040128 A*
EP03865664 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
천은준
부산광역시 수영구 남천동로 41, 108동 901호 (남천동, 남천동 코오롱 하늘채 골든비치)
(74) 대리인
남건필, 정지향, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 7 항

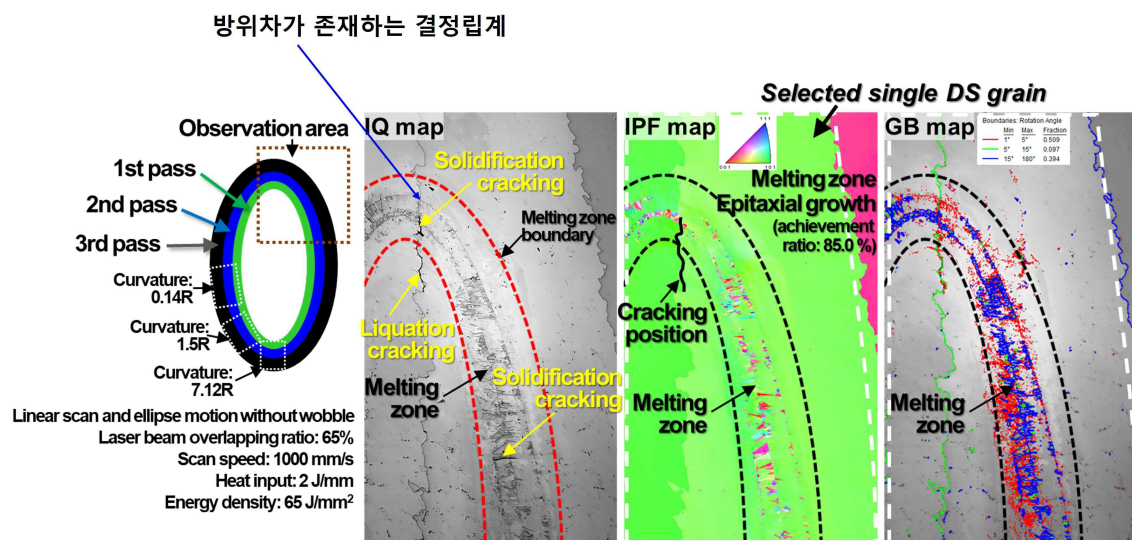
심사관 : 임성수

(54) 발명의 명칭 가스터빈 블레이드 제조방법

(57) 요약

본 발명은 가스터빈 블레이드의 제조방법을 개시한다. 본 발명의 제조방법은, 가스터빈 블레이드 상부의 중공(구멍)들이 각각 단일 결정립내에 대응하여 형성된 일방향응고로 제조된 가스터빈 블레이드를 상기 중공들과 동일한 형태로 제조된 덮을 수 있는 용접 삽입재를 이용하여 레이저 용접을 통해 가스터빈 블레이드 상부의 중공(구멍)들을 일부 또는 전부를 폐구조하여 제조하는 것을 특징으로 하며, 이러한 방법으로 제조된 가스터빈 블레이드는 고온 균열 현상이 억제되어 매우 안정적인 상태를 제공할 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C22C 19/057 (2013.01)

F01D 5/187 (2013.01)

B23K 2101/001 (2018.08)

F05D 2230/21 (2013.01)

F05D 2230/234 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

일방향응고 주조 공정을 통해 일 방향으로 각각 상이한 단일결정방위를 갖는 다수의 단결정을 포함하는 일방향 응고 블레이드 몸체를 제조함에 의해,

상기 블레이드 몸체 상면에는 다수의 중공들을 포함하며, 상기 다수의 중공들은 각각 다수의 단결정에 하나씩 대응되도록 형성하는 제1 단계 및

상기 블레이드의 상부의 중공에 삽입재를 삽입하여 레이저 용접하는 제2 단계를 포함하고,

상기 삽입재는 상기 중공이 위치하는 블레이드의 결정방위와 동일한 결정방위를 가지고,

상기 레이저 용접 시, 상기 중공이 위치하는 블레이드의 단결정 내 에피택셜 성장이 형성되어 고온 균열이 억제 되는 것을 특징으로 하는,

가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 중공은 각형으로 형성된 것을 특징으로 하는,

가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 레이저 용접은 니켈기반 합금용 삽입재를 사용하는 것인,

가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 니켈기반 합금용 삽입재는 Ni, Co, Cr, Mo, W, Ta, Ti, Al, Zr 및 C를 포함하는 제1 원소 및 B 및 Hf으로 이루어진 군 중에서 선택된 어느 하나의 원소를 포함하는 제2 원소를 포함하는,

가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제2 원소는 B이고,

상기 니켈기반 합금용 삽입재의 화학적 조성은 8.3 중량% Cr, 9.3 중량% Co, 9.6 중량% W, 3.3 중량% Ta, 0.8 중량% Ti, 0.007 중량% Zr를 포함하는,

가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제2 원소는 Hf이고,

상기 니켈기반 합금용 삽입재의 화학적 조성은 8.3 중량% Cr, 9.3 중량% Co, 9.6 중량% W, 3.3 중량% Ta, 0.8

중량% Ti, 0.007 중량% Zr를 포함하는,
가스터빈 블레이드 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 레이저 용접은 상기 레이저 용접은 스캔 속도: 1000mm/s, 입열(heat input) 2J/mm, 에너지 밀도: 65 J/mm² 조건으로 수행되는 것인,
가스터빈 블레이드 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가스터빈 블레이드 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 차세대 발전 가스터빈 및 항공가스터빈 엔진의 초고온부 구조재료인 초내열합금 일방향응고 블레이드 제조 용접 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 가스터빈 엔진용 초내열합금의 경우, 용접시 발생하는 고온균열로 인해 용접기술 및 그를 응용하는 적층제조 기술 집목의 기술적 난이도가 상당한 분야로 알려져 있다. 해당 고온균열을 억제하기 위해서는 다양한 공정적, 소재적 기술이 검토되고 있으나, 특히 소재의 화학조성 변경이 불가피한 것으로 보고되고 있다. 화학조성의 변화는 가스터빈 가동 시 블레이드의 고온 물성 저하가 발생할 수 있으므로, 소재 조성변화 없이 균열 현상을 억제할 수 있는 공정적 기술의 개발과 국산화가 시급한 분야이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 1500℃가 넘는 환경에서 건디는 일방향응고 블레이드는 신품(완성품)제조 시 블레이드 상면(Top) 부분의 중공을 폐구조를 만들어주는 용접 공정이 필요하며, 본 발명의 목적은 블레이드 소재의 조성 변화 없이, 중공을 폐구조로 만드는 용접 방법을 제공하는 것이다. 고온균열이 발생하지 않는 건전한 블레이드 용접을 위해, 블레이드 상면에 일방향응고 블레이드의 주조 제작 시 Top 영역의 중공이 단일 일방향응고 결정립 내에 위치되어야 하는 주조제작 기술이 선제되어야 한다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명에서 기재하고 있는 '블레이드 몸체'는 일방향응고 주조 공정을 통해 제조된 가스터빈 블레이드와 가스터빈 블레이드의 중공을 레이저 용접하여 최종적으로 제조한 가스터빈 블레이드와 구분하기 위해 사용된 용어로, 레이저 용접 전 일방향응고 주조 공정을 통해 제조된 가스터빈 블레이드를 의미한다.

[0005] 본 발명의 일 목적을 위한 가스터빈 블레이드 제조방법은 일방향응고 주조 공정을 통해 일 방향으로 각각 상이한 단일결정방위를 갖는 다수의 단결정립을 포함하는 일방향응고 블레이드 몸체를 제조하고, 상기 블레이드 몸체 상면에는 다수의 중공들을 포함하며, 상기 다수의 중공들은 각각 다수의 단결정에 하나씩 대응되도록 형성된 것을 특징으로 하는 제1 단계 및 레이저 용접을 이용하여 상기 블레이드의 상부의 중공을 일부 또는 전부를 용접하는 제2 단계를 포함한다. 본 발명은 블레이드 상면(top) 영역에 형성된 중공은 단일 일방향응고 결정립 내에 위치되는 것을 특징으로 하며, 이러한 조건에서 레이저 용접 시 블레이드 상면의 에피택셜 성장이 확보되어 고온균열이 억제되는 효과를 제공할 수 있다.

[0006] 상기 가스터빈 블레이드는, 일반적으로는 브릿지만(Bridgman process) 주조방법을 이용하여 제조할 수 있고, 바람직하게 본 발명에서는 247LC 급 초내열합금을 이용하여 제조된 가스터빈 블레이드일 수 있다.

[0007] 상기 중공은 형태 및 크기를 제한하지는 않으나, 바람직하게, 상기 중공은 직선 조합의 형태를 갖는 각형으로 형성된 것을 특징으로 한다. 곡률이 개입될 시 에피택셜 성장이 확보되지 않아 용접균열이 발생할 가능성이 있으므로, 바람직하게는, 상기 중공은 사각형, 오각형, 육각형 등의 형태를 가질 수 있다.

- [0008] 상기 레이저 용접은 중공과 동일한 형태의 용접 삽입재를 이용하여 용접을 수행할 수 있다. 용접 삽입재는 블레이드 중공과 동일한 형태, 치수로 제작되어야 할 뿐만 아니라, 중공이 위치한 블레이드 몸체 결정방위와 동일한 결정방위로 제작되어야 한다. 한편, 레이저 용접 시에는 블레이드 중공부의 좁은 면적을 고려하여 빔직경이 40 마이크로미터 이하의 레이저 빔을 적용하며, 해당 레이저 빔직경이 구현가능한 싱글모드(single-mode) 파이버 레이저 (fiber laser)를 적용한다. 용접 시에는 용접부의 고온균열 억제를 위해 블레이드 몸체와 중공의 결정방위를 그대로 따르는 에피택셜 성장된 용접금속을 얻어야 한다.
- [0009] 바람직하게, 본 발명에서 상기 레이저 용접은 스캔 속도: 1000mm/s, 입열(heat input) 2J/mm, 에너지 밀도: 65 J/mm² 조건으로 수행되는 것일 수 있다.
- [0010] 일 실시예에서, 삽입재는 니켈기반 합금용 삽입재를 사용할 수 있다. 예를 들면, 상기 니켈기반 합금용 삽입재는 247LC 일 수 있다.
- [0011] 일 실시예에서, 니켈기반 합금용 삽입재는 Ni, Co, Cr, Mo, W, Ta, Ti, Al, Zr 및 C를 포함하는 제1 원소 및 B(보론) 및 Hf(하프늄)으로 이루어진 군 중에서 선택된 어느 하나의 원소를 포함하는 제2 원소를 포함할 수 있다. 즉, 상용 247LC의 원소 구성에서 B 및 Hf 중에서 어느 하나가 포함되지 않는 247LC를 의미할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 제2 원소는 B 일 수 있다. 이때, 상기 니켈기반 합금용 삽입재는 이의 화학적 조성 중 Hf 이 미첨가된 것일 수 있다. 니켈기반 합금용 삽입재의 화학적 조성은 8.3 중량% Cr, 9.3 중량% Co, 9.6 중량% W, 3.3 중량% Ta, 0.8 중량% Ti, 0.007 중량% Zr를 포함할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, 상기 제2 원소는 Hf 일 수 있다. 이때, 상기 니켈기반 합금용 삽입재는 이의 화학적 조성 중 B 이 미첨가된 것일 수 있다. 상기 니켈기반 합금용 삽입재의 화학적 조성은 8.3 중량% Cr, 9.3 중량% Co, 9.6 중량% W, 3.3 중량% Ta, 0.8 중량% Ti, 0.007 중량% Zr를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명에 따르면, 단위결정립 내에 각각 중공을 형성시킨 가스터빈 블레이드를 이용하여 중공의 폐구조화를 수행하는 경우, 100% 에피택셜 성장된 용접부를 얻을 수 있어 고온균열이 발생하지 않는 건전한 블레이드 용접 제조가 가능하다.
- [0015] 또한, 본 발명은 에너지 자립화, 항공기 및 무인기 기술 자립화 등을 위해, 가스터빈 엔진의 국산화 기술확보 중요성이 대두되고 있는 현 시점에, 초고온용 초내열 블레이드 용접 제조 기술의 확보는 해당기술의 국산화 및 자립화에 필수적인 부분으로, 본 발명은 국내외 기업들이 활용할 수 있는 시장규모가 큰 부분에 속하나, 그 기술을 확보한 사례가 거의 보고되고 있지 않은 신규한 기술이다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 가스터빈 블레이드용 일방향응고 주조 공정의 일 실시예인 브리지만 로 시스템(Bridgman furnace system) 공정을 나타낸다.
- 도 2는 본 발명의 가스터빈 블레이드용 일방향응고 주조 공정을 통해 제조된 가스터빈 블레이드를 나타낸다.
- 도 3은 단일 결정립 내에 중공이 위치하지 않는 경우에서 레이저 용접하여 가스터빈 블레이드를 제조한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 단일 결정립 내에 중공이 각각 위치한 경우에서 레이저 용접하여 가스터빈 블레이드를 제조한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 삽입재를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

- [0018] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0020] 본 발명은 가스터빈 블레이드 제조방법에 관한 것으로, 특히 일방향응고 공정으로 제조된 가스터빈 블레이드의 제조방법을 제공하는 것이다. 일방향응고 공정은 한 방향의 결정립만 형성되도록 하는 주조 기술로, 고온/고압의 가스 분위기 속에서 장시간 운전 및 기동으로 가스터빈 블레이드가 받는 물리적 응력을 견딜 수 있게 만들어 가스터빈 블레이드의 수명을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.
- [0021] 본 발명은 일방향응고 공정으로 가스터빈을 블레이드를 제조할 때, 가스터빈 블레이드 상부의 중공(구멍)들이 각각 단일 결정립 내에 대응하여 위치할 수 있도록 제조함을 특징으로 하며, 레이저 용접을 통해 중공과 동일한 형태로 제조된 덮을 수 있는 용접 삽입재를 이용하여 가스터빈 블레이드 상부의 중공(구멍)들을 일부 또는 전부를 폐구조화한 가스터빈 블레이드를 제조하는 것을 특징으로 한다. 이러한 방법으로 가스터빈 블레이드를 제조하는 경우 소재 고온 균열 현상을 억제할 수 있는 효과를 제공한다.
- [0022] 이하에서는, 도면을 참조하여 본 발명의 가스터빈 블레이드 제조방법을 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 가스터빈 블레이드용 일방향응고 주조 공정의 일 실시예인 브리지만 로 주조시스템(Bridgman furnace system) 공정을 나타낸다.
- [0024] 도 1을 참조하면, (a) 주조응고된 고체 영역은 냉각을, 용융금속으로 존재하는 부분에는 가열을 해주어 응고 잠열이 고상 방향으로 배출되어 원활한 일방향응고 미세조직을 얻도록 주조한다. (b) 주조 시간이 증가함에 따라 각각의 단일결정방위를 가진 일방향응고 미세조직을 갖는 가스터빈 블레이드가 제조될 수 있다. (c) 공정을 통해 제조된 블레이드는 일방향으로 각각의 단결정 결정립(Grain)을 갖도록 제조될 수 있다.
- [0025] 도 2는 본 발명의 가스터빈 블레이드용 일방향응고 주조 공정을 통해 제조된 가스터빈 블레이드를 나타낸다.
- [0026] 도 2를 참조하면, (a,b) 가스터빈 블레이드용 일방향응고 주조 공정을 통해 제조된 가스터빈 블레이드의 내부에는 냉각용 공기가 이동하는 유로를 포함하며, 공정의 종류와 상관없이 필연적으로 가스터빈 블레이드 상면(top)에 중공(Hole)을 포함한다. 따라서, 최종적으로는 이 중공의 일부 또는 전부를 용접을 통해 덮어주어야 한다. 본 발명에서는 이러한 중공들이 각각 상이한 단일결정방위를 단결정에 대응되도록 형성된 가스터빈 블레이드를 이용함을 특징으로 한다. (블레이드 각각의 색은 다른 결정방위를 갖는 단일 결정립을 표시하기 위한 것임) (c) 가스터빈의 성능에 따라 블레이드의 상면에 형성된 중공은 그 형상과 크기가 달라질 수 있다. 그러나 본 발명에서는 어떠한 형태의 가스터빈 블레이드를 제작하든 용접이 필요한 블레이드 상면의 중공은 반드시 단일 결정방위의 결정립 내에 존재해야하는 것을 특징으로 한다.
- [0027] 도 3은 단일 결정립 내에 중공이 위치하지 않는 경우에서 레이저 용접하여 가스터빈 블레이드를 제조한 결과를 나타낸 도면이다. 일방향응고된 247LC 초내열합금의 단일 결정립 내에 싱글모드 파이버 레이저를 조사한 뒤, 용접부의 분석 결과를 분석하였다. 상기 레이저 용접은 레이저 빔 스캔 속도: 1000mm/s, 입열(heat input) 2J/mm, 에너지 밀도: 65 J/mm² 조건으로 수행되었으며, 그림에 표시된 곡물의 타원형으로 용접하였다. 용접은 동일한 중형비를 가지는 복수 타원으로 실시하였다.
- [0028] 도 3을 참조하면, 블레이드의 단일 결정립 내에 중공이 위치되지 않을 경우, 필연적으로 존재하는 블레이드 몸체의 결정방위차로 인해 용접부는 에피택셜 성장을 확보할 수 없으며, 결과적으로 용접 고온균열이 발생한다. 블레이드 몸체의 인접 결정방위차가 5도의 저각 방위차를 가질 때도 용접 고온균열은 발생한다. 이와 같이 곡물이 있는 원형의 용접을 적용할 경우, 용접부의 에피택셜 성장을 확보하기 어려워 용접 고온균열이 발생함을 알 수 있다.
- [0029] 도 4는 단일 결정립 내에 중공이 각각 위치한 경우에서 레이저 용접하여 가스터빈 블레이드를 제조한 결과를 나

타낸 도면이다. 도 3에서 실험한 동일한 레이저 용접조건을 적용하였다.

[0030] 도 4를 참조하면, 상기 도 3에서 분석한 결과와 상반된 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 단일 결정립 내에 동일한 레이저 용접 조건을 적용했을 때, 그 용접경로가 직선일 경우, 용접부의 에피택셜 성장을 확보할 수 있으며, 결과적으로 용접 고온균열은 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 용접 경로를 직선으로 설정할 경우, 90% 이상의 높은 에피택셜 성장률을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 정리하면, 본 발명의 제조방법을 통해 결과적으로 용접 고온균열을 억제할 수 있음을 알 수 있다.

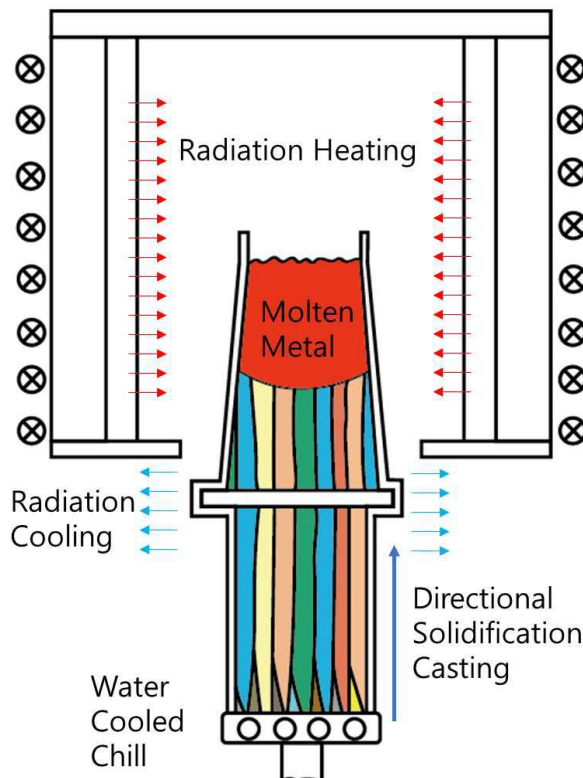
[0031] 도 5는 본 발명의 삽입재를 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에서 사용된 삽입재를 확인할 수 있다. 삽입재는 블레이드 몸체에 형성된 중공과 동일한 형태, 치수로 제작된 것을 확인할 수 있다. 이러한 삽입재는 블레이드 몸체의 결정방위와 동일한 결정방위로 제작된다. 삽입재를 사용한 레이저 용접은, 삽입재를 중공부에 위치시켜 덮어놓은 후, 삽입재의 테두리를 레이저로 용접하여 수행된다. 도면에서는 원형의 삽입재를 나타내고 있으나, 본 발명의 바람직한 실시예에서는, 직선 위주의 오각, 육각형 등의 삽입재를 사용할 수 있다.

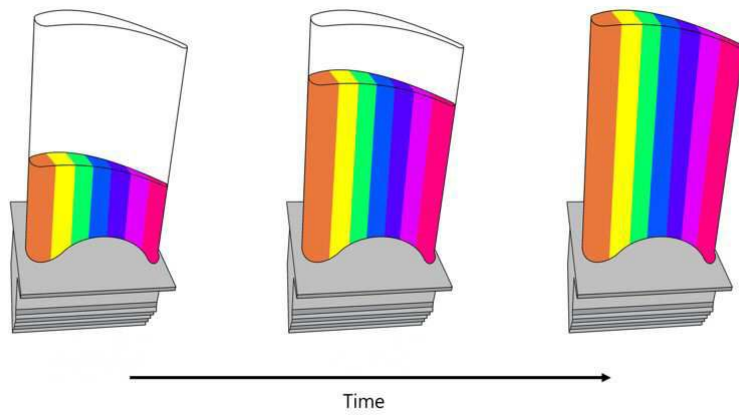
[0033] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

도면1a



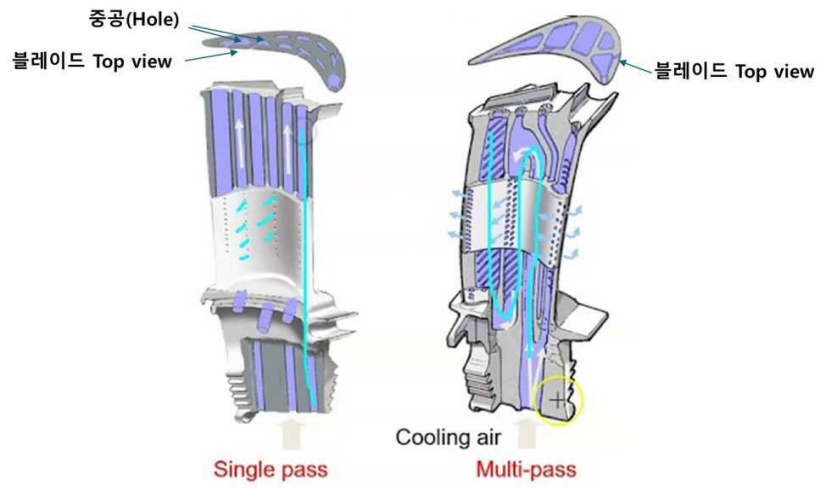
도면1b



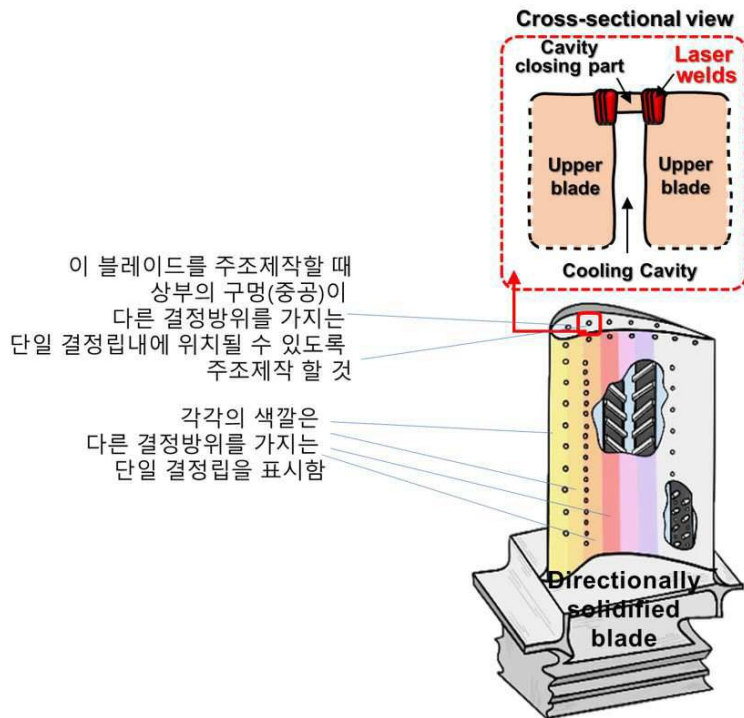
도면1c



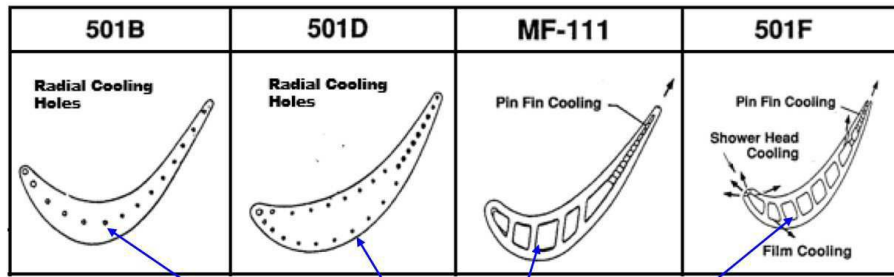
도면2a



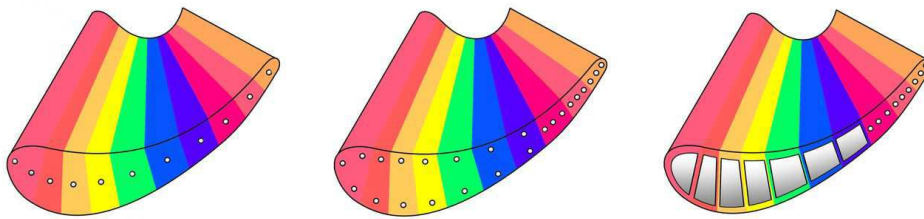
도면2b



도면2c

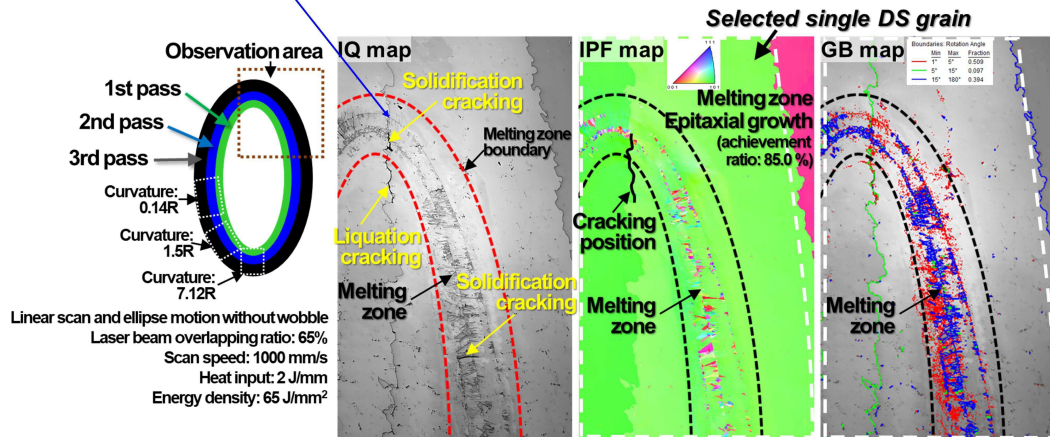


각각의 중공(hole)이 단일 결정립 내에 위치

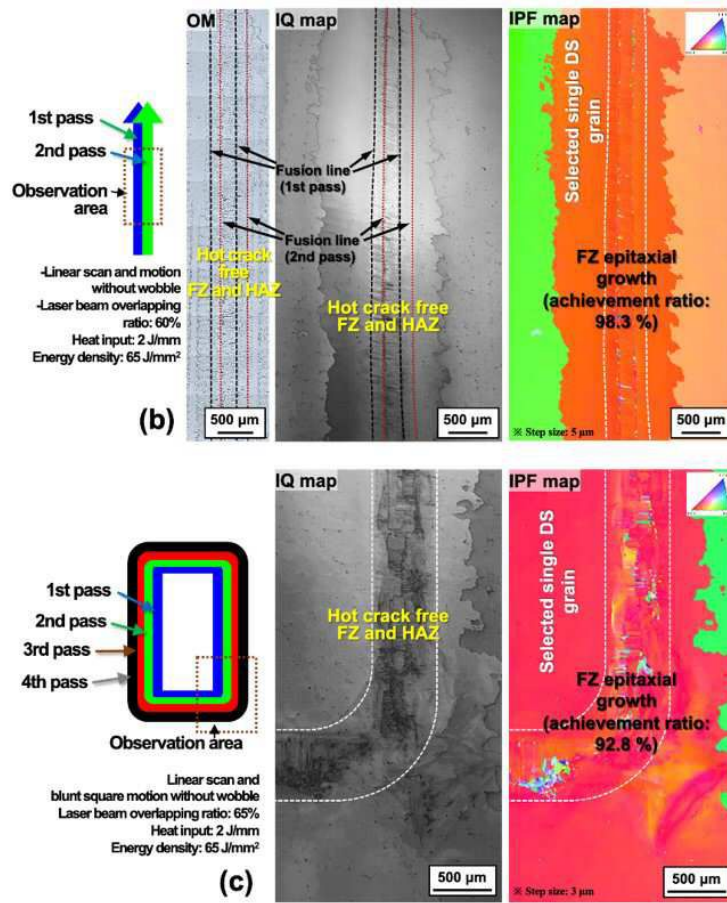


도면3

방위차가 존재하는 결정립계



도면4



도면5

