



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0034021
(43) 공개일자 2023년03월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 10/28 (2021.01) B22F 10/64 (2021.01)
B22F 12/20 (2021.01) B22F 3/105 (2006.01)
B22F 3/24 (2006.01) B22F 9/08 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01) B33Y 50/00 (2015.01)

(52) CPC특허분류

B22F 10/28 (2021.08)
B22F 10/64 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2021-0117107

(22) 출원일자 2021년09월02일

심사청구일자 2021년09월02일

(71) 출원인

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

창원대학교 산학협력단

경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)

(72) 발명자

성효경

경남 진주시 진주역로96번길 15

김상식

경남 진주시 새평거로 30

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김종석

전체 청구항 수 : 총 14 항

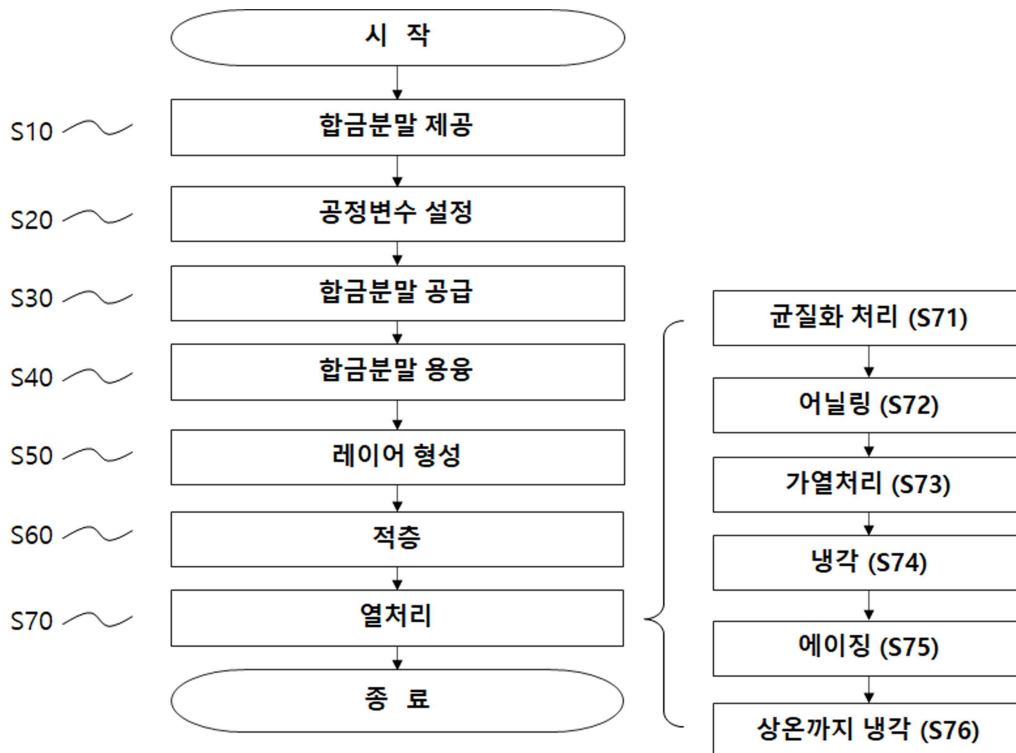
(54) 발명의 명칭 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물

(57) 요약

본 발명은 가공방향과 공정변수를 조절하여 우수한 고온인장 특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조 방법에 관한 것으로, 가공방향과 공정변수 제어에 미세조직에 따른 인장 특성을 평가하여 우수한 고온특성을 가질 수 있는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물에 관한 것이

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



다.

본 발명에 따른 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은, 레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서, 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계; 레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계; 상기 Inconel 718 합금분말을 공급하는 제3단계; 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시키는 제4단계; 상기 용융된 Inconel 718 합금분말을 냉각 및 고화하면서, Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계; 상기 Inconel 718 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계; 및 상기 적층된 입체 조형물을 열처리하는 제7단계;를 포함하여 이루어지고, 상기 제2단계의 공정변수는 260 내지 295 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

B22F 12/20 (2021.08)

B22F 3/105 (2013.01)

B22F 3/24 (2013.01)

B22F 9/08 (2013.01)

B33Y 10/00 (2013.01)

B33Y 50/00 (2013.01)

B22F 2009/0876 (2013.01)

(72) 발명자

설재복

경남 진주시 충의로 146

박하음

경남 진주시 서장대로185번길 19

이재현

서울 강동구 고덕로62길 76

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113639
과제번호	2018R1A5A6075959
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	메카트로닉스 융합 부품 소재 연구센터
기 여 율	4/10
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711127291
과제번호	2020R1C1C1006214
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	항공용 금속 3D 프린팅 소재의 피로 수명 예측 연구
기 여 율	3/10
과제수행기관명	경상대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415176073
과제번호	20214000000480
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지인력양성(예특)
연구과제명	청정가스복합화력발전 핵심요소기술 및 국산화 전문인재양성
기 여 율	3/10
과제수행기관명	재단법인경남테크노파크
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,
 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계;
 레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계;
 상기 Inconel 718 합금분말을 공급하는 제3단계;
 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시키는 제4단계;
 상기 용융된 Inconel 718 합금분말을 냉각 및 고화하면서, Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계;
 상기 Inconel 718 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계; 및
 상기 적층된 입체 조형물을 열처리하는 제7단계; 를 포함하여 이루어지고,
 상기 제2단계의 공정변수는 260 내지 295 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 제2단계의 공정변수는,
 860 내지 1,260 (mm/s)의 스캔속도로 설정하는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,
 상기 제2단계의 공정변수는,
 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격인 해칭 공간(hatching space)을 70 내지 130 μm 로 설정하는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,
 상기 제2단계의 공정변수는,
 레이어 두께(layer thickness)를 30 내지 60 μm 로 설정하는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 제2단계의 공정변수는,

가공방향을 수직(Vertical) 및 수평방향(Horizontal)이 되도록 설정하는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 제7단계는,

975 내지 985 ℃에서 균질화 처리하는 제7-1단계;

상기 균질화 처리 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하여 어닐링하는 제7-2단계;

상기 어닐링 후, 755 내지 765 ℃에서 가열처리하는 제7-3단계;

상기 가열처리 후, 620 ℃ 까지 냉각하는 제7-4단계;

상기 냉각 후, 7.5 내지 8.5 시간 동안 에이징하는 제7-5단계; 및

상기 에이징 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하는 제7-6단계;로 순차적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 7

레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 의해 제조하되,

260 내지 295 (W)의 레이저 전력으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 8

제 7항에 있어서,

860 내지 1,260 (mm/s)의 스캔속도로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 9

제 7항에 있어서,

레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격인 해칭 공간(hatching space)을 70 내지 130 μm 로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 10

제 7항에 있어서,

적층 시 하나의 레이어 두께(layer thickness)는 30 내지 60 μm 인 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 11

제 7항에 있어서,

수평면과 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물의 장축 사이의 예각인 가공방향이 수평하도록 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 12

제 7항에 있어서,

649 ℃의 고온 인장강도(tensile strength)가 1,100 내지 1,270 MPa 인 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 13

제 7항에 있어서,

649 ℃의 고온 항복강도(yield strength)가 1,060 내지 1,140 MPa 인 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 14

제 7항에 있어서,

649 ℃의 고온 연신율(elongation)이 9% 이상 인 것을 특징으로 하는 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가공방향과 공정변수를 조절하여 우수한 고온인장 특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조 방법에 관한 것으로, 가공방향과 공정변수 제어로 미세조직에 따른 인장 특성을 평가하여 우수한 고온특성을 가질 수 있는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 항공기 엔진, 에너지 발전용으로 사용되는 가스터빈엔진의 터빈부는 1000 ℃ 이상의 고온 환경에 노출되어 우수한 고온특성을 가지는 소재가 사용되고 있으며, 대표적인 소재로 Inconel 718 합금이 있다. 기존 주조 공정 방식에서 소재를 단결정으로 성장시켜 고온 특성을 향상시키는 방식은 터빈 부품 제작에 널리 사용되고 있으나 제작 공정이 복잡하고 엔진 내부의 냉각용 미세유로와 같은 복잡한 형상의 부품은 원소재 손실률이 높아 기존 주조 방식의 제작으로는 한계가 있다. 이러한 제작 한계를 극복하고자 설계 형상에 근접하고, 복잡한 형상도 제조 가능한 적층 제조 방식을 활용해 우수한 고온 특성의 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술 개발에 대한 관심이 많아지고 있다.

[0004] 적층제조 공정기술은 레이저 스캔 방향에 따라 일방향 응고 미세조직이 나타나는 특성이 있어 적층 시 적층 방향과 최적형상 설계는 중요한 부분이다. 또한, 레이저 전력과 스캔 속도에 따른 공정조건 제어를 통해 적층 후 미세조직 예측이 가능하여 공정 단계에서 미세조직 제어가 어려운 기존 주조공정과 달리 미세조직 제어가 가능하다.

[0005] 본 발명은 시편 가공방향을 수직(Vertical) 및 수평방향(Horizontal)이 되도록 제조하고, 공정조건을 제어하여 Inconel 718 합금을 적층 제조하고, 상온 (24 내지 26 ℃) 및 고온 인장시험을 통해 평가하여 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술을 개발하고자 하였다. 이를 활용하여 적층 제조를 통한 공정단계를 최소화 할 수 있고, 부품 제작비용 절감으로 가스터빈 엔진 부품 제작 공정에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2241876호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 적층 제조 방법에서 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 제조방법을 제공하고자 한다.

[0009] 또한, 본 발명의 목적은 적층 제조 방법에서 공정 단계를 최소화하여 부품 제작비용을 절감할 수 있는 Inconel 718 합금 제조방법을 제공하고자 한다.

[0010] 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은,

[0013] 레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,

[0014] 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계;

[0015] 레이저 분말 소결방식(L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계;

[0016] 상기 Inconel 718 합금분말을 공급하는 제3단계;

[0017] 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시키는 제4단계;

[0018] 상기 용융된 Inconel 718 합금분말을 냉각 및 고화하면서, Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계;

[0019] 상기 Inconel 718 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계; 및

[0020] 상기 적층된 입체 조형물을 열처리하는 제7단계; 를 포함하여 이루어지고,

[0021] 상기 제2단계의 공정변수는 260 내지 295 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0023] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 시편의 가공방향과 공정조건을 제어하여 효과적인 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술을 제공하고 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물을 제조할 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명은 적층 제조 방법에서 공정 단계를 최소화하여 부품 제작 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법을 보여주는 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조장치 모식도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 가공방향이 수평(a) 및 수직(b)으로 달리하여 제조한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 모식도이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법의 열처리 조건을 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따라 제조된 다양한 Inconel 718 합금 적층 조형물 시편과 비교에 시편의 인장강도를 측정하여 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0028] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0029] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 “포함” 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.

[0030] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0031] 본 발명에 대한 해결하고자 하는 과제, 과제의 해결 수단, 발명의 효과를 포함한 구체적인 사항들은 다음에 기재할 실시예 및 도면들에 포함되어 있다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0032] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0034] 도 1에 나타난 바와 같이, 고온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은 아래 단계에 의해 수행된다.

[0035] 먼저, 제1단계(S10)는 Inconel 718 합금분말을 제공한다. 본 발명은 레이저 분말 소결방식 (L-PBF)을 이용한 적층 가공에 따라 수행하며, 1단계(S10)에서 가스분사법으로 제조된 입도 20 내지 45 μm 의 Inconel 718 합금분말을 사용한다.

[0036]

[0037] 다음으로, 제2단계(S20)는 공정변수를 설정한다. 제2단계(S20)는 레이저 분말 소결 방식 (L-PBF)을 위한 공정변수를 설정한다. 상기 공정변수는 레이저의 전력, 스캔속도, 해칭 공간(hatching space), 레이어 두께(layer thickness) 및 적층 조형물의 생성 방향을 설정하여 제어한다.

[0038] 상기 레이저 전력은 260 내지 295 (W)의 으로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 레이저 전력이 260 (W) 미만인 경우, 에너지 밀도가 너무 낮아 분말이 완전히 용융되지 못하여, 미용융 분말에 의한 인장특성 저하가 나타날 수 있다. 스캔속도를 낮은 속도로 낮추어 적층하는 방법으로 해결가능하나 이로 인해 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리게 되며, 상기 레이저 전력이 295 (W)를 초과한 경우 에너지 밀도가 높아 충분히 해소되지 못한 열응력

의 영향으로 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있다. 마찬가지로 스캔속도를 빠르게 설정하는 방법으로 해결할 수 있으나, 빠른 스캔속도로 인한 미세 기공의 형성으로 인장특성을 저하시킬 우려가 있어 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0039] 적층제조 시 레이저 전력의 크기가 본 조건의 범위를 벗어나는 경우, 분말을 완전히 용융하기 위해서는 스캔속도를 낮은 속도로 설정하여 조형해야 하므로 적층 생성 시간이 오래 걸려 본 발명으로 해결하고자 하는 점에 부합하지 못하는 결과를 보이게 된다. 반면, 레이저 전력의 크기가 너무 높은 경우에는 반대로 스캔속도를 빠르게 설정하게 되는데, 이에 따라 빠른 냉각속도가 나타나 적층 생성물이 변형 혹은 적층되지 못하는 경우가 나타날 수 있다.

[0040] 또한, 상기 스캔속도는 860 내지 1,260 (mm/s)로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 스캔속도가 860 (mm/s) 미만인 경우 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 1,260 (mm/s)를 초과한 경우 내부에 생성되는 미세기공과 미용융 분말의 생성으로 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형되거나 인장강도가 저하되는 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0041] 또한, 상기 해칭 공간(hatching space)은 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로를 스캔 공간이라고 할 때, 한 레이저 빔 중앙에서 그 다음 레이저 빔 중앙의 간격으로, 70 내지 130 μm 로 설정하는 것이 바람직하다. 해칭 공간이 너무 좁을 경우에는 미세기공은 해소되나 레이저 빔이 겹치는 구간이 열응력이 해소되지 못해 변형이 나타날 수 있고, 해칭공간이 너무 넓을 경우 공간과 공간사이에 나타나는 미세기공 (micro pore)에 의해 인장특성이 저하될 수 있다. 상기 해칭 공간이 70 μm 미만인 경우 레이저 빔이 겹치는 구간에서 과도한 에너지 부하로 인해 해소되지 못한 열응력에 의한 변형이 나타나는 문제점이 발생하고, 상기 해칭 공간이 130 μm 를 초과한 경우 용융되지 못한 공간에서 미세기공(micro pore)이 생성되어 인장특성을 저하시키는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0042] 또한, 상기 레이어 두께(layer thickness)를 30 내지 60 μm 로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 레이어 두께는 앞선 레이저 전력과 스캔속도의 영향을 받는다. 레이어 두께가 너무 얇을 경우에는 적층 생성 시간이 길어지며, 해소되지 못한 열응력에 의해 변형이 일어날 우려가 있다. 상기 레이어 두께가 30 μm 미만인 경우 적층 시간이 오래 걸리며 적층조형물이 변형이 일어날 수 있으며, 상기 레이어 두께가 60 μm 를 초과한 경우 용융되지 못한 층이 발생하여 접합되지 못한 층에서 균열이 일어나 분리되는 delamination 현상이 나타나는 발생하므로 문제점이 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0043] 또한, 제조되는 Inconel 718 합금 적층 조형물의 가공방향을 수직(Vertical) 및 수평방향(Horizontal)이 되도록 설정하는 것이 바람직하다. 본 발명에 따라 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물을 상온 (24 내지 26 $^{\circ}\text{C}$)과 고온에서 인장 시험을 실시한 결과, 종래 방법으로 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물과 비교할 때, 상기 적층 조형물의 가공방향은 도 3(a)와 같이 수평방향(Horizontal)으로 제조할 때 더 우수한 인장특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

[0044] 생산성을 높이려면 더 높은 레이저 출력과 스캔 속도를 사용하여 에너지 밀도를 높여야 한다. 1980년대 이후 레이저 출력과 스캔 속도는 일반적으로 작동 안정성과 장비의 사양 제한으로 인해 각각 200 (W) 및 1200 (mm/s)미만으로 제한되었다. 도 2과 같이, 본 발명의 레이저 출력과 스캔 속도 조건에서 다양한 공정 변수를 제어하여 적절한 기계적 물성을 얻기 위한 노력이 이루어졌다.

[0045] L-PBF 공정의 생산성을 나타내는 대표적인 지표인 Build rate(VB)는 다음 식 (1)에 의해 결정된다.

[0046]
$$VB = VS \times \Delta y \times \Delta z \quad (1)$$

[0047] (여기서, VS는 스캔 속도, Δy 는 해칭 공간의 증가, Δz 는 레이어 높이의 증가 임)

[0048] L-PBF 부품의 생산성은 공정 파라미터의 제어에 따라 체적 영향을 받으며, 스캔속도는 생산성 향상을 위한 가장 중요한 파라미터이다.

[0050] 다음으로, 제3단계(S30)는 상기 Inconel 718 합금분말을 공급한다. 제3단계(S30)는 상기 Inconel 718 합금분말을 공급한다.

[0052] 다음으로, 제4단계(S40)는 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시킨다. 제4단계(S40)는 조형광원을 선택적으로 조

사하여 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시킨다. 상기 제4단계(S40)에서 상기 조형광원의 조사는 불활성기체 분위기(Ar Gas), 산소농도 100ppm 이하를 유지한 상태에서 실시한다. 100 PPM보다 높은 산소 농도에서 실시할 경우, 용융된 분말과 산소가 반응하여 산화물을 형성하는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0054] 다음으로, 제5단계(S50)는 Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성한다. 제5단계(S50)는 상기 용융된 냉각 및 고화하면서, Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성한다.

[0056] 다음으로, 제6단계(S60)는 상기 제3단계(S30) 내지 제5단계(S50)를 반복하여 적층한다. 제6단계(S60)는 상기 Inconel 718 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계(S30) 내지 제5단계(S50)를 반복하여 적층한다.

[0058] 다음으로, 제7단계(S70)는 아래 제7-1단계(S71) 내지 제7-6단계(S76)에 의해 열처리한다. 상기 열처리를 시행하여 고온인장강도가 우수한 Inconel 718 합금을 제조하고자 한다.

[0059] 제7-1단계(S71)는 균질화 처리한다. 제7-1단계(S71)는, 상기 제6단계(S60)를 수행한 후, 975 내지 985 ℃에서 50 내지 70분 동안 균질화 처리한다. 상기 제7-1단계(S71)의 균질화 처리는 γ 상으로 재결정하여 단상 균질화 처리를 목적으로 시행한다. 상기 제7-1단계(S71)의 균질화 처리 시, 975 ℃ 미만으로 처리하는 경우 γ 상이 재결정 온도까지 충분히 가열되지 않아 단상으로 균질화 되지 않는 문제점이 발생하고, 985 ℃를 초과하는 경우 γ 상 재결정온도를 초과하여 용융되는 높은 온도로 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-1단계(S71)의 균질화 처리 시, 50분 미만으로 처리하는 경우 재결정된 γ 상 내부에 석출상이 고용되지 못해 단상으로 균질화 되지 못하는 문제점이 발생하고, 70분을 초과하는 경우 불필요한 균질화 처리 시간으로 인해 처리 시간 대비 효과가 미미하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0060] 제7-2단계(S72)는 어닐링한다. 제7-2단계(S72)는, 상기 제7-1단계(S71)에서 균질화 처리 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하여 어닐링한다. 상기 제7-2단계(S72)의 어닐링 시, 상온(24 내지 26℃)까지 급냉한다. 냉각 종료 온도를 상온(24 내지 26℃) 보다 초과 할 경우 용체화 처리 중 고용된 석출물들이 석출되는 문제점이 발생하여 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 또한, 냉각속도를 느리게 제어할 경우, γ 상이 과하게 성장하거나, 석출물의 핵이 생성되어 석출될 수 있으므로 냉각속도를 빠르게 하여 급냉하는 것이 바람직하다.

[0061] 제7-3단계(S73)는 가열처리한다. 제7-3단계(S73)는, 상기 제7-2단계(S72)에서 어닐링 후, 755 내지 765 ℃에서 50 내지 70분 동안 가열처리한다. 상기 제7-3단계(S73)의 가열 처리 시 γ 상 결정립계에 일정량의 δ 상 핵을 생성시켜 고온에서 결정립계 성장을 방해해 인장특성을 향상시키기 위한 목적으로 시행한다. 755 ℃ 미만으로 처리하는 경우 δ 상의 핵이 충분히 생성되지 못하며, 765 ℃를 초과하는 경우 δ 상이 구형이 아닌 침상형으로 변화하는데, 침상형 δ 상은 구형보다 낮은 연성을 보여 인장특성을 저하시키는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-3단계(S73)의 가열처리 시, 50분 미만으로 처리하는 경우 δ 상의 핵이 생성되지 못하고 다시 기지내부로 고용되거나 극소량의 핵이 생성되어 그 특성을 확인하기 어려운 문제점이 발생하고, 70분을 초과하는 경우 δ 상의 핵이 과다 생성되거나 성장하면서 새로운 결정립을 생성해 인장특성을 저하시키는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0062] 제7-4단계(S74)는 냉각한다. 제7-4단계(S74)는, 상기 제7-3단계(S73)에서 가열처리 후, 620 ℃ 까지 50 내지 70분 동안 냉각하며, 온도조건과 냉각시간에 따라 δ 상의 핵생성 및 성장에 영향을 준다. 상기 제7-4단계(S74)의 냉각 처리 시, 상기 620 ℃를 초과하는 경우, 결정립계에 생성된 δ 상의 핵이 성장하지 못하고 다시 기지내부로 고용될 수 있으며, 620 ℃ 미만인 경우 생성된 핵이 불균일하게 분포하거나 과잉 생성되어 인장이 저하되는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 냉각시간은 위 온도조건과 밀접한 관계가 있으며, 냉각처리 시 70분을 초과하는 경우는 핵 성장시간이 길어져 조대한 석출물이 나타날 수 있으며, 냉각시간을 50분 미만으로 시행하는 경우는 핵이 성장하지 못하고 기지내부로 재고용되는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0063] 제7-5단계(S75)는 에이징한다. 제7-5단계(S75)는, 상기 제7-4단계(S74)에서 냉각 후, 7.5 내지 8.5시간 동안 에이징하며, γ 상의 기지 내부에 γ " 상 석출물을 균일하게 석출시켜 고온인장강도 향상을 목적으로 시행한다. 상기 제7-5단계(S75)의 에이징 시, 7.5 시간 미만으로 처리하는 경우 충분히 γ 상의 기지 내부에 γ " 상이 균

일하게 석출되지 못하는 문제점이 발생하고, 8.5 시간을 초과하는 경우 γ 상과 γ 기지가 조대하여지는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0064] 제7-6단계(S76)는 상온(24 내지 26 ℃)까지 냉각한다. 제7-6단계(S76)는, 상기 제7-5단계(S75)에서 에이징 후, 상온(24 내지 26 ℃)까지 냉각하여 상온(24 내지 26℃)을 냉각 종료 온도로 하여 급냉한다. 상기 제7-6단계(S76)의 냉각 시, 상온(24 내지 26℃)을 초과하는 경우, 냉각종료온도가 높아 내부에 생성된 석출상의 조대화로 인장특성의 저하되는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 또한, 냉각속도를 느리게 제어하는 경우 냉각종료온도를 상온(24 내지 26℃)보다 초과하는 것과 마찬가지로 내부에 생성된 석출상의 조대화가 나타나는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0066] 본 발명인 Inconel 718 합금 적층 조형물은 앞서 기재된 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.

[0067] 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 레이저 전력이 260 내지 295 (W)으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 레이저 전력이 260 (W) 미만인 경우 에너지가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리고 생성된 적층 조형물의 인장강도가 너무 낮은 문제점이 발생하고, 상기 레이저 전력이 295 (W)를 초과한 경우 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0068] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 스캔속도가 860 내지 1,260 (mm/s)로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 스캔속도가 860 (mm/s) 미만인 경우 스캔속도가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 1,260 (mm/s)를 초과한 경우 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0069] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격인 해칭 공간(hatching space)을 70 내지 130 μm 로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 해칭 공간이 70 μm 미만인 경우 레이저 빔이 겹치는 구간에서 과도한 에너지 부하로 인해 해소되지 못한 열응력에 의한 변형이 나타나는 문제점이 발생하고, 상기 해칭 공간이 130 μm 를 초과한 경우 용융되지 못한 공간에서 미세기공(micropore)이 나타나 인장특성을 저하시키는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0070] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 레이저로 적층 시 하나의 레이어 두께(layer thickness)가 30 내지 60 μm 인 것을 특징으로 한다. 상기 레이어 두께가 30 μm 미만인 경우 적층 생성시간이 오래 걸리고 형상 변형이 일어날 수 있으며, 상기 레이어 두께가 60 μm 를 초과한 경우 용융되지 못한 층이 발생하여 접합되지 못한 층에서 균열이 일어나 분리되는 박리 현상이 나타나는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0071] 또한, 제조되는 Inconel 718 합금 적층 조형물의 가공방향을 수직(Vertical) 및 수평(Horizontal)방향이 되도록 설정하는 것이 바람직하다. 즉, 도 3(a)에 나타난 바와 같이 상기 적층 조형물의 길이방향이 상기 L-PBF의 파우더 베드에 수평(Horizontal)이거나 평행한 경우로 제조하거나, 도 3(b)에 나타난 바와 같이 상기 적층 조형물의 길이방향이 상기 L-PBF의 파우더 베드에 수직(Vertical)한 방향으로 제조할 수 있다. 본 발명에 따라 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물을 상온(24 내지 26 ℃)과 고온에서 인장 시험을 실시한 결과, 종래 방법으로 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물과 비교할 때, 상기 적층 조형물의 가공방향은 도 3(a)와 같이 수평방향(Horizontal)으로 제조할 때 더 우수한 인장특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

[0072] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 인장강도(tensile strength)가 상온(25 ℃)에서 1,460 내지 1,600 MPa이고, 고온(649 ℃)에서 1,180 내지 1,270 MPa 인 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물은 공정변수인 레이저 전력, 스캔속도, 해칭 공간 및 레이저 두께를 제어하여 고온에서도 인장강도가 증가된다. 특히, 적층 조형물의 생성 방향을 제어하여 실온과 비교할 때 고온에서도 인장강도가 더욱 증가된다. 종래의 경우 Ti 합금의 고온에서 인장강도를 높이기 위하여 미세조직 및 석출상을 제어하기 위한 열처리 공정이 진행되었으나, 인장강도가 800 내지 1000 MPa 정도 밖에 안 되는 수준으로 확인되었다.

[0073] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 항복강도(yield strength)가 상온(25 ℃)에서 1,240 내지 1,330 MPa이고, 고온(649 ℃)에서 1,060 내지 1,140 MPa 인 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물은 공정변수인 레이저 전력, 스캔속도, 해칭 공간 및 레이저 두께를 제어하여 고온에서도 항복강도가 증가된다. 특히, 적층 조형물의 생성 방향을 제어하여 실온과 비교할 때 고온에서도 항복강도가 더욱 증

가된다.

[0074] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 상온 (24 내지 26 ℃)에서 연신율(elongation)이 17.5% 이상이고, 고온(649 ℃)에서 9% 이상으로 확인되었다.

[0076] 아래는 상기 기재된 방법에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물을 이용하여 인장강도, 항복강도 및 연신율을 측정하였다. 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 다만 하기의 실시예는 본 발명의 내용을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0078] 실시예

[0079] 가스분사법을 통해 제조한 Inconel 718 합금 분말을 EOS-M290 장비로 L-PBF(Laser-Powder Bed Fusion) 방식으로 적층 제조하였다. 표 1에 나타난 바와 같이, 다양한 공정 변수(레이저 출력: 260-295 W, 스캐닝 속도: 860-1,260 (mm/s), 해치 공간: 70-130 μm, 레이어 두께: 30-60 μm로 수행하였다. 가공방향이 수평한 시편을 H, 수직인 시편을 V로 명명하였다.

[0080] ASM 규격에 따라 각 시편을 980 ℃ 에서 1h 동안 균질화 처리하고 가열로에서 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하여 annealing 하였다. annealing한 각 시편을 760 ℃에서 1h 열처리하고, 가열로에서 620 ℃ 까지 냉각한 후 8h 동안 Aging 하였다. 이후 가열로에서 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하였다.

표 1

sample	Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Hatch space (μm)	Layer thickness (μm)	powder-bed direction
H1160	285	1,160	110	40	horizontal
V960	285	960	110	40	vertical

[0084] 비교예

[0085] 비교예는 앞서 기술된 실시예와 동일하게 L-PBF(Laser-Powder Bed Fusion) 방식으로 조형하였다. 다만, 아래 표 2의 공정 조건과 같이 레이저 전력(laser power), 스캔속도(scanning speed), 해치 공간(hatch space) 및 레이어 두께(layer thickness)를 실시예와 달리 제어하여 적층 조형물을 제조하였다.

표 2

sample	Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Hatch space (μm)	Layer thickness (μm)	powder-bed direction
H1	285	960	110	40	horizontal
H2	285	1,060	110	40	horizontal
V1	285	1,060	110	40	vertical
V2	285	1,160	110	40	vertical
C	285	960	-	-	horizontal

[0089] 실험예

[0090] (1) 인장시험

[0091] ASTM 규격 E8/E8M 에 의거하여 게이지 길이 36 mm, 직경 5mm의 인장시편을 각각 다른 방향(Horizontal, Vertical)으로 제작하였다. 일축 인장시험은 만능시험기(MINOS-300S, MTDI, Korea)를 이용하여 1×10^{-3} /s를 시험속도로 하여 상온(25 ℃) 및 고온(649 ℃)에서 수행하였다. 시험 이후 획득한 데이터를 응력-변형률 곡선으로 나타내어 항복강도 이후 소성변형구간에서 하중이 최대가해지는 지점의 데이터를 분석해 최대인장강도를 측정하였다.

[0093] (2) 항복강도 측정

[0094] 실험예 (1)의 조건으로 인장시험을 실시하였으며, 그 결과를 응력-변형률 곡선으로 나타내어 항복강도를 측정하였다. 항복강도의 측정은 재료가 탄성구간을 벗어나 소성변형이 일어나는 지점에서의 강도를 측정하나 정확히 변형이 일어나는 지점을 확인하기 어렵기 때문에 응력-변형률 곡선에서 탄성구간 기울기를 0.2% offset 한 지점과 응력-변형률 곡선 교점의 강도를 항복강도라고 하며, 상기 방법으로 항복강도를 측정하였다.

[0096] (3) 연신율 측정

[0097] 실험예 (1)의 조건으로 인장시험을 실시하였으며, 그 결과를 응력-변형률 곡선으로 나타내어 연신율을 측정하였다. 응력-변형률 곡선에서 연신율의 측정은 가해지는 하중에 따른 표점거리의 증가량을 측정한 것으로 파단지점에서 탄성구간의 변형률을 제외한 값을 연신율로 측정하였다.

표 3

[0099]

sample	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Testing temp.(℃)
H1160	1,328	1,551	20.4	25
V960	1,180	1,375	21.3	25
H1	1,244	1,467	17.6	25
H2	1,270	1,494	17.5	25
V1	1,194	1,389	19.9	25
V2	1,232	1,430	19.5	25
C	-	1417	15.6	25
H1160	1,138	1,261	9	649
V960	989	1,133	22	649
H1	1,064	1,187	10	649
H2	1,062	1,194	9	649
V1	1,015	1,115	17	649
V2	1,034	1,178	17	649

[0101] 종래의 경우, Inconel 718 합금의 적층 제조 시 고온 인장특성을 증가시키기 위해 레이저 전력과 스캔속도, 레이저 두께, 해칭 공간 및 파우더 베드의 방향을 조절하여 적층 제조에 성공함과 동시에 우수한 고온 인장강도를 갖는 소재를 발명한 사례가 없다. 비교예에 따른 인장 강도를 확인한 결과, 고온 인장강도를 높이기 위하여 미세조직 및 석출상을 제어하기 위한 열처리 공정이 진행하였으나, 표 3에 나타난 바와 같이, 인장강도가 최대 1,494 MPa 정도 밖에 안 되는 수준이며, 연신율은 5~9% 낮은 결과를 보였다.

[0102] 본 발명에서는 다양한 공정변수를 조절하여 인장강도, 항복강도 및 연신율을 확인하였다. 표 3에 나타난 바와 같이, 가공방향이 수평으로 제조될 때 더 높은 인장강도 및 항복강도 값을 나타내었다.

[0103] 또한, 도 5에 나타난 바와 같이, 본 발명에 의해 제조된 시편 H1160가 상온 (24 내지 26 ℃)에서 비교예보다 인장강도가 134 MPa가 더 높고, 연신율이 4.8% 더 높은 것을 확인하였다. 또한, 고온 인장특성에서 H1160의 인장강도가 1,261 MPa로 가장 높았다. 다만, 연신율은 V960이 21.6%로 가장 높은 것으로 확인되었다.

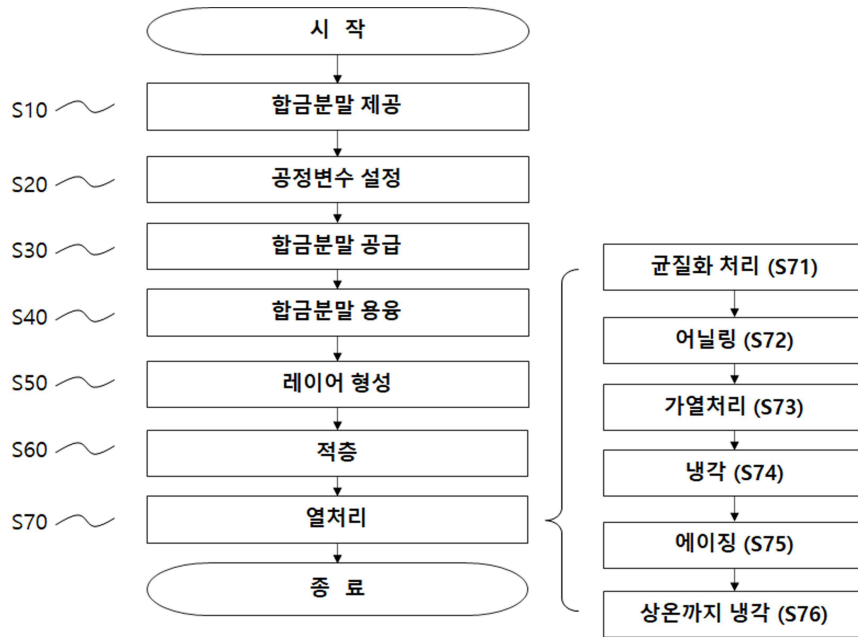
- [0105] 상기 과제에 해결 수단에 의해, 본 발명은 시편의 가공방향과 공정조건을 제어하여 효과적인 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술을 제공하고 우수한 고온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물을 제조할 수 있다.
- [0106] 또한, 본 발명은 적층 제조 방법에서 공정 단계를 최소화하여 부품 제작 비용을 절감할 수 있다.
- [0108] 이와 같이, 상술한 본 발명의 기술적 구성은 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자가 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0109] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 하고, 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타나며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

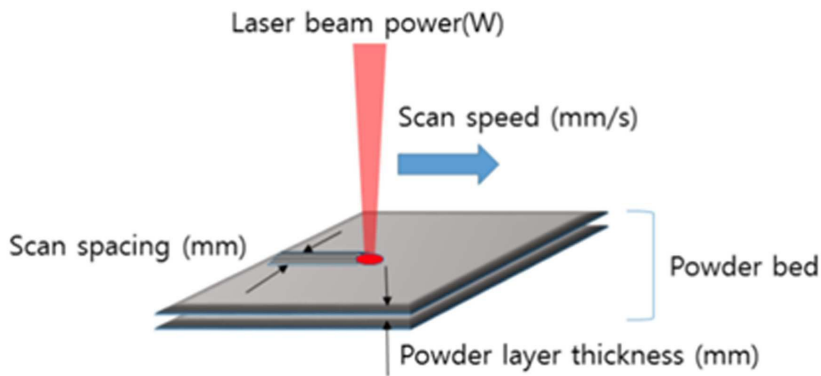
- [0111] S10. Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계
- S20. 공정변수를 설정하는 제2단계
- S30. 상기 Inconel 718 합금분말을 공급하는 제3단계
- S40. 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시키는 제4단계
- S50. Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계
- S60. 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계
- S70. 제7-1 내지 제7-6단계로 열처리하는 제7단계;
- S71. 균질화 처리하는 제7-1단계
- S72. 어닐링하는 제7-2단계
- S73. 가열처리하는 제7-3단계
- S74. 냉각하는 제7-4단계
- S75. 에이징하는 제7-5단계
- S76. 상온 (24 내지 26 ℃)까지 냉각하는 제7-6단계

도면

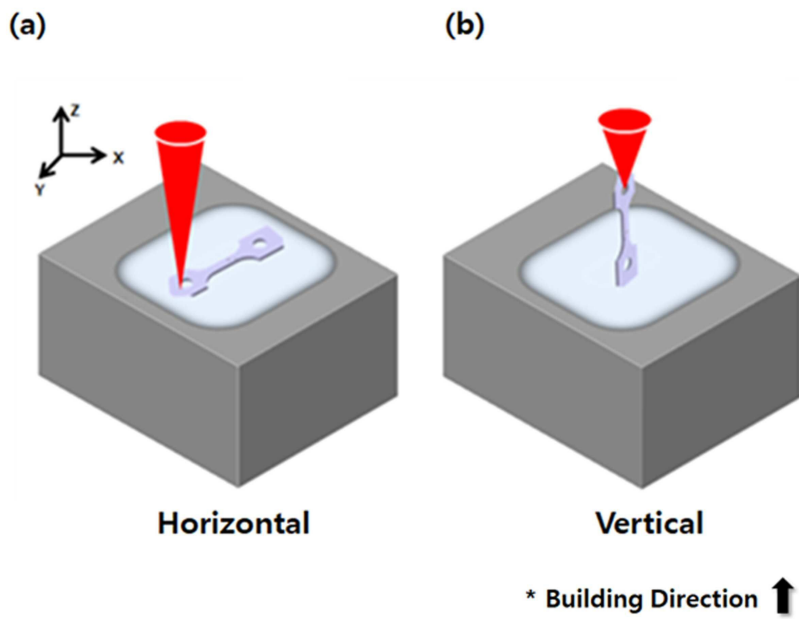
도면1



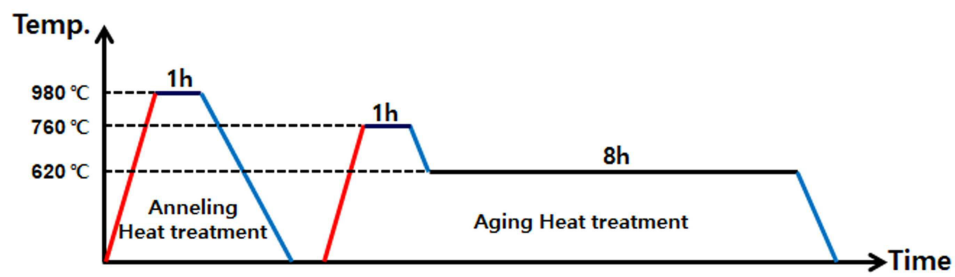
도면2



도면3



도면4



도면5

