(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0034479
(43) 공개일자 2023년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 10/28 (2021.01) *B22F 10/366* (2021.01)
B22F 10/43 (2021.01) *B22F 10/47* (2021.01)
B22F 10/64 (2021.01) *B22F 9/08* (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01) *B33Y 50/00* (2015.01)
B33Y 70/00 (2020.01)
(52) CPC특허분류
B22F 10/28 (2021.08)
B22F 10/366 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2021-0117127
(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
박상은
부산 강서구 가락대로 1432-12
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김종석

전체 청구항 수 : 총 15 항

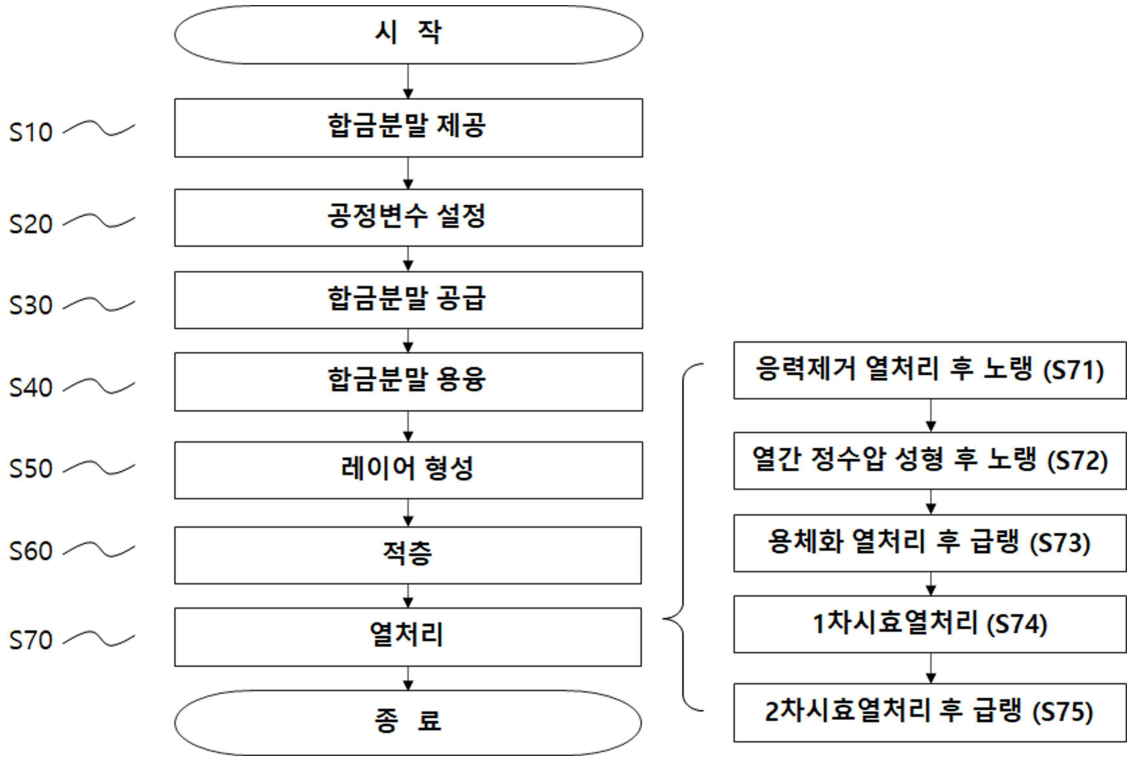
(54) 발명의 명칭 **저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물**

(57) 요 약

본 발명은 저온인장 특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물에 관한 것으로, 공정조건 및 열처리 조건의 제어로 미세조직에 따른 인장 특성을 평가하여 극저온에서도 우수한 인장특성을 가질 수 있는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



적층 조형물에 관한 것이다.

본 발명에 따른 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은, 레이저 분말소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서, 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계; 레이저 분말소결방식(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 이용하여, 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 150 내지 170 W의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
B22F 10/43 (2021.08)
B22F 10/47 (2021.08)
B22F 10/64 (2021.01)
B22F 9/08 (2013.01)
B33Y 10/00 (2013.01)
B33Y 50/00 (2013.01)
B33Y 70/00 (2013.01)

(72) 발명자
박하음
경남 진주시 서장대로185번길 19
세프카야니
13, Hotan-gil 10beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea

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 1345323328
과제번호 LINCPLUS-2020-7
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 산학연협력고도화지원(R&D)
연구과제명 사회맞춤형산학협력선도대학(LINC+)육성(0.5)
기 여 율 3/10
과제수행기관명 경상대학교
연구기간 2020.03.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

레이저 분말소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,

가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계;

레이저 분말소결방식(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 이용하여, 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 150 내지 170 W의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제2단계의 공정변수는,

750 내지 850 ㎜/s의 스캔속도로 설정하는 것을 특징으로 하는 저온 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 20 내지 30 ㎛로 설정하는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 제2단계의 공정변수는,

레이어 두께(layer thickness)를 20 내지 30 ㎛로 설정하는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 제7단계는,

응력제거 열처리 후, 노랭(furnace cooling)하는 제7-1단계;

열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP)처리 후, 노랭(furnace cooling)하는 제7-2단계;

용체화열처리(solution heat treatment, SHT) 후, 급랭(direct quenching)하는 제7-3단계;

715 내지 720 ℃에서 1차 시효열처리(aging heat treatment) 하는 제7-4단계; 및

2차 시효열처리(aging heat treatment) 후 급랭(direct quenching) 하는 제7-5단계;를 포함하여 열처리 하는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 6

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

150 내지 170 W의 레이저 전력으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 7

제 6항에 있어서,

750 내지 850 ㎜/s의 스캔속도로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 8

제 6항에 있어서,

레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격인 해칭 공간(hatching space)을 20 내지 30 ㎛로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 9

제 6항에 있어서,

적층 시 하나의 레이어 두께(layer thickness)는 20 내지 30 ㎛인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 10

제 6항에 있어서,

25 ℃의 인장강도(tensile strength)가 1,080 내지 1,100 MPa 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 11

제 6항에 있어서,

25 ℃의 항복강도(yield strength)가 900 내지 1,000 MPa 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한

Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 12

제 6항에 있어서,

25 ℃의 연신율(elongation)이 5.2% 이상 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 13

제 6항에 있어서,

-140 ℃의 저온 인장강도(tensile strength)가 1,550 내지 1,600 MPa 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 14

제 6항에 있어서,

-140 ℃의 저온 항복강도(yield strength)가 1,080 내지 1,100 MPa 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

청구항 15

제 6항에 있어서,

-140 ℃의 저온 연신율(elongation)이 17.2% 이상 인 것을 특징으로 하는 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 저온인장 특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물에 관한 것으로, 공정조건 및 열처리 조건의 제어로 미세조직에 따른 인장 특성을 평가하여 극저온에서도 우수한 인장특성을 가질 수 있는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Inconel 718 합금 적층 조형물에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] Inconel 718 합금은 Rocket Motor Casing 이나 초전도 구조재 등 극저온 환경에서 사용되고 있으며, 적층 제조 기술을 활용한다면 net-shape 부품 제작이 가능해짐에 따라 사용범위가 증가할 것으로 예상된다. 본 발명은 극저온용 소재로 사용되고 있는 Inconel 718 합금을 적층 제조하고 구조적 안정성을 평가하기 위해 상온 및 저온에서 효과적인 인장특성을 나타내는 기술을 발명하고자 한다.

[0004] 복잡한 구조를 갖는 부품에 적층 제조 기술을 접목시키기 위해서 공정조건 최적화는 필수적이며, 구조적 안전성을 평가하기 위하여 인장시험 또한 선행적으로 진행되어야 한다. 따라서 본 발명은 Inconel 718 합금을 레이저 분말소결방식(L-PBF) 방식으로 제조하고 공정 및 열처리 조건을 제어함으로써 극저온에서도 우수한 물성을 갖는 조형체를 제작하고자 한다.

[0005] 종래의 경우, 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP) 공정에 따른 기계적 특성을 평가한 발명으로 공정조건 및 저온 인장 특성에 대한 언급은 확인하기 어려우며, 공정 조건을 조절하여 결정립 크기를 제어하는 기술은 있으나 저온에서 인장특성이 우수한 평가를 나타내지는 못하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 미국등록특허 제20190134711호

발명의 내용

해결하려는 과제

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

[0009] 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명에 따른 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은,

[0012] 레이저 분말소결방식(L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,

[0013] 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공하는 제1단계;

[0014] 레이저 분말소결방식(L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계;

[0015] 상기 Inconel 718 합금분말을 공급하는 제3단계;

[0016] 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시키는 제4단계;

[0017] 상기 용융된 Inconel 718 합금분말을 이용하여, Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계;

[0018] 상기 Inconel 718 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계; 및

[0019] 상기 적층된 입체 조형물을 열처리하는 제7단계; 를 포함하여 이루어지고,

[0020] 상기 제2단계의 공정변수는 150 내지 170 W의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0021]

발명의 효과

[0022] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 공정조건 및 열처리 조건을 제어하여 효과적인 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술을 제공하고 극저온에서도 우수한 인장특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물을 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 우수한 저온특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법을 보여주는 순서도이다.

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

도 3은 본 발명의 일실시예에 따라 제7단계(S70)의 열처리단계를 구체적으로 나타낸 시간에 다른 온도 처리 조

건 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 본 발명의 실시예에 의해 제조된 시편을 나타낸 사진이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물의 응력-변형률 곡선(Stress-strain curve)이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따라, 본 발명의 실시예에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물의 인장강도(tensile strength) 및 항복강도(yield strength) 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0030] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 도 1에 나타난 바와 같이, 저온 인장특성이 우수한 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법은 아래 단계에 의해 수행된다.

[0033] 먼저, 제1단계(S10)는 Inconel 718 합금분말을 제공한다. 본 발명은 레이저 분말소결방식(L-PBF)을 이용한 적층가공에 따라 수행하며, 1단계(S10)에서 가스분사법으로 제조된 Inconel 718 합금분말을 제공한다. 상기 Inconel 718 합금분말은 입도 20 내지 25 ㎛를 이용하는 것이 바람직하다.

[0034]

[0035] 다음으로, 제2단계(S20)는 공정변수를 설정한다. 제2단계(S20)는 레이저 분말소결방식(L-PBF)을 위한 공정변수를 설정한다. 도 2에 나타난 바와 같이, 상기 공정변수는 레이저 전력, 스캔속도, 해칭 공간(hatching space), 레이어 두께(layer thickness) 및 적층 조형물의 생성 방향을 설정하여 제어한다.

[0036] 상기 레이저 전력은 150 내지 170 W의 으로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 레이저 전력이 150 W 미만인 경우 에너지가 너무 낮아 미용융 분말과 같은 적층 결함이 생성되어 적층 조형물의 인장강도가 너무 낮으며 충분한 에너지 밀도를 조사할 수 없기 때문에 결함이 발생하여 인장 특성이 저하되는 문제점이 발생하고, 상기 레이저 전력이 170 W를 초과한 경우 분말의 기화가 나타나며 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0037] 또한, 상기 스캔속도는 750 내지 850 ㎜/s로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 스캔속도는 조형 가능한 범위 내에서 최대 스캔 속도로 설정하는 것으로, 상기 스캔속도가 750 ㎜/s 미만인 경우 스캔속도가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 850 ㎜/s를 초과한 경우 분말에 가해지는 에너지의 양이 적어지게 되며 스캔 방향을 따라 적층 결함이 발생하므로 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0038] 레이저 전력이 높고, 스캔속도가 느릴 경우 분말에 과한 에너지가 조사되면서 분말이 기화되며 표면조도 및 물성을 저하시킬 위험이 있다. 반면에 레이저 전력이 낮고, 스캔속도가 빠를 경우에는 에너지가 조사되지 못하여

미용융 분말이 형성되며 적층결함이 나타나게 된다. 그러므로 최적의 레이저 전력과 스캔속도사이의 최적의 공정 조건을 설정하는 것이 바람직하다.

[0039] 또한, 상기 해칭 공간(hatching space)은 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격으로, 20 내지 30 ㎛로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 해칭 공간(hatching space)이 20 ㎛ 미만인 경우 입열량이 많아져 과용융 또는 생산 효율이 떨어진다는 문제점이 발생하고, 상기 해칭 공간(hatching space)이 30 ㎛를 초과한 경우 오버랩(overlap)되는 부분이 적어져 결합이 발생하는 문제점이 있어 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0040] 또한, 상기 레이어 두께(layer thickness)를 20 내지 30 ㎛로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 레이어 두께(layer thickness)가 20 ㎛ 미만인 경우 입열량이 너무 높아 분말이 기화될 위험이 있으며, 상기 레이어 두께(layer thickness)가 30 ㎛를 초과한 경우 열전달이 제대로 이루어지지 못하여 미용융 분말이 증가할 확률이 높아지므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0041] 레이저 빔의 크기와 관련이 있는 상기 해칭 공간(hatching space)과 레이어 두께(layer thickness)는 용융풀의 크기를 결정하게 된다. 상기 공정변수는 조형체의 물성을 저하시키지 않으면서 생산성이 우수한 공정 조건을 선택하여 적층할 수 있다.

[0042] 또한, 수평면과 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물의 장축사이의 예각인 적층방향이 수평하도록 설정하는 것이 바람직하다. 본 발명에 따라 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물을 상온과 저온에서 인장 시험을 실시한 결과, 종래 방법으로 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물과 비교할 때, 상기 적층방향이 수평 방향으로 제조할 때 더 우수한 인장특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

[0043] 생산성을 높이려면 더 높은 레이저 출력과 스캔속도를 사용하여 에너지 밀도를 높여야 한다. 1980년대 이후 레이저 출력과 스캔속도는 일반적으로 작동 안정성과 장비의 사양 제한으로 인해 각각 200 W 및 1200 mm/s 미만으로 제한되었다. 도 2과 같이, 본 발명의 레이저 출력과 스캔속도 조건에서 다양한 공정 변수를 제어하여 적절한 기계적 물성을 얻기 위한 노력이 이루어졌다.

[0044] 레이저 분말소결방식(L-PBF) 공정의 생산성을 나타내는 대표적인 지표인 Build rate(VB)는 다음 식 (1)에 의해 결정된다.

[0045] $VB = VS \times \Delta y \times \Delta z$ (1)

[0046] (여기서, VS는 스캔속도, Δy는 해칭 공간(hatching space)의 증가, Δz는 레이어 높이의 증가 임)

[0047] 레이저 분말소결방식(L-PBF) 부품의 생산성은 공정 파라미터의 제어에 따라 체적 영향을 받으며, 스캔속도는 생산성 향상을 위한 가장 중요한 파라미터이다.

[0049] 다음으로, 제3단계(S30)는 상기 Inconel 718 합금분말을 공급한다. 제3단계(S30)는 상기 Inconel 718 합금분말을 공급한다.

[0051] 다음으로, 제4단계(S40)는 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시킨다. 제4단계(S40)는 조형광원을 선택적으로 조사하여 상온의 Ar 가스 분위기에서 용융 및 냉각되면서 상기 Inconel 718 합금분말을 용융시킨다.

[0053] 다음으로, 제5단계(S50)는 Inconel 718 소재의 하나의 레이어를 형성한다.

[0054] 상기 제5단계(S50)에서 상온의 Ar 가스 분위기로 형성되어 있는 챔버 안에서 레이저는 연속적으로 조사되며 상온에서 분말이 고화된다.

[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 제7-5단계(S75)에 의해 열처리한다. 상기 제7단계(S70)는,

도 3에 나타난 바와 같이, 아래 단계에 의해 구체적으로 실시된다.

[0059] 먼저, 제7-1단계(S71)는 응력제거 열처리 후, 노랭(furnace cooling)한다. 보다 구체적으로, 상기 제7-1단계(S71)는, 상기 제6단계(S60)를 수행한 후, 600 내지 700 ℃에서 7.5 내지 8.5 시간 동안 응력제거 열처리 실시 후, 상온(24 내지 26 ℃)까지 노랭(furnace cooling)하며 서서히 냉각한다.

[0060] 상기 제7-1단계(S71)에서는 적층제조 이후 빠른 냉각속도에 의해 형성된 조형체 내의 잔류응력을 해소하기 위하여 응력해소 열처리 공정을 실시한다. 상기 제7-1단계(S71)에서 600 ℃ 미만으로 수행하는 경우 잔류응력 해소하기에 낮은 온도라는 문제점이 있고, 700 ℃를 초과한 경우 상변화가 나타날 수 있다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-1단계(S71)에서 7.5 시간 미만으로 수행하는 경우 잔류응력 해소하기에 충분하지 않은 시간이라는 문제점이 있고, 8.5 시간을 초과한 경우 시간대비 효과가 미미하므로 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0062] 다음으로, 제7-2단계(S72)는 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP)처리 후, 노랭(furnace cooling)한다. 보다 구체적으로, 상기 제7-2단계(S72)는 1,150 내지 1,250 ℃에서 900 내지 1,100 bar의 압력으로 3.5 내지 4.5 시간 동안 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP) 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 노랭(furnace cooling)하며 서서히 냉각한다.

[0063] 상기 제7-2단계(S72)에서 1,150 ℃ 미만에서 수행하는 경우 너무 낮은 온도에서 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP) 처리를 할 경우 적절한 열전달이 되지 못하여 기공을 해소하기에 어렵다는 한 문제점이 있고, 1,250 ℃에서 수행하는 경우 오버버닝(over burning)이나 산화가 될 수 있다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-2단계(S72)가 900 bar 미만으로 수행하는 경우 기공을 해소하기에 낮은 압력이라는 한 문제점이 있고, 1,100 bar를 초과한 경우 너무 무리한 압력이 가해질 경우 조형체의 물리적 변형이 발생할 수 있다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0065] 다음으로, 제7-3단계(S73)는 용체화열처리(solution heat treatment, SHT) 후, 급랭(direct quenching)한다. 보다 구체적으로, 상기 제7-3단계(S73)는 1,190 내지 1,200 ℃에서 3.5 내지 4.5 시간 동안 용체화열처리(solution heat treatment, SHT) 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 급랭(direct quenching) 한다.

[0066] 상기 제7-3단계(S73)이 1,190 ℃ 미만으로 수행하는 경우 기지내부로 석출상들이 용해되기 어렵다는 문제점이 있고, 1,200 ℃를 초과한 경우 오버버닝(over burning)이나 산화가 될 수 있다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-3단계(S73)이 3.5 시간 미만으로 수행하는 경우 석출상이 기지내부로 용해되기에 충분한 시간이 없다는 문제점이 있고, 4.5 시간을 초과한 경우 시간 대비 효과가 미미하므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0068] 다음으로, 제7-4단계(S74)는 1차 시효열처리(aging heat treatment)한다. 보다 구체적으로, 제7-4단계(S74)는 715 내지 720 ℃에서 7.5 내지 8.5 시간 동안 1차 시효열처리(aging heat treatment)한다.

[0069] 상기 제7-4단계(S74)는 γ ‘ 석출상을 균일하게 분포시키기 위하여 실시하게 되며, 715 ℃ 미만으로 수행하는 경우 인장특성 향상을 위한 석출상 생성이 안 될 수도 있다는 문제점이 있고, 720 ℃를 초과한 경우 석출상의 크기가 조대해 지게 되고, 이로 인해 응력이 가해질 때 조대한 석출상에서 균열이 생성되어 인장특성을 저하시킨다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-4단계(S74)가 7.5 시간 미만으로 수행하는 경우 석출상이 형성되기에 충분한 시간이 없다는 문제점이 있고, 8.5 시간을 초과한 경우 시간대비 강화 효과가 미미하여 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다.

[0071] 다음으로, 제7-5단계(S75)는 2차 시효열처리(aging heat treatment) 후 급랭(direct quenching)한다. 보다 구체적으로, 상기 제7-5단계(S75)는 625 내지 630 ℃에서 7.5 내지 8.5 시간 동안 2차 시효열처리(aging heat treatment) 후, 상온 (24 내지 26 ℃)까지 급랭(direct quenching) 한다.

[0072] 상기 제7-5단계(S75)는 석출상의 크기를 제어하기 위하여 실시되며, 625 ℃ 미만으로 수행하는 경우 조대한 석출상들이 제어 되지 않을 것이라는 문제점이 있고, 630 ℃를 초과한 경우 너무 온도가 높을 경우에는 기지에 다

히 고용되어 γ' 석출상의 분율이 낮아질 수 있다는 문제점이 있으므로 상기 조건으로 실시하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 제7-5단계(S75)의 실시 시간을 조절하여 적절한 크기의 석출상을 형성 시키는 것이 중요하다.

[0074] 본 발명인 Inconel 718 합금 적층 조형물은 앞서 기재된 Inconel 718 합금 적층 조형물 제조방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.

[0075] 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 레이저 전력이 150 내지 170 W으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 레이저 전력이 150 W 미만인 경우 에너지가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리고 미용융 분말과 같은 적층 결함이 생성되어 적층 조형물의 인장강도가 너무 낮으며 충분한 에너지 밀도를 조사할 수 없기 때문에 결함이 발생하여 인장 특성이 저하되는 문제점이 발생하고, 상기 레이저 전력이 170 W를 초과한 경우 분말의 기화가 나타나며 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0076] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 스캔속도가 750 내지 850 ㎜/s으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 스캔속도는 조형 가능한 범위 내에서 최대 스캔속도로 설정하는 것으로, 상기 스캔속도가 750 ㎜/s 미만인 경우 스캔속도가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 850 ㎜/s를 초과한 경우 분말에 가해지는 에너지의 양이 적어지게 되며 스캔 방향을 따라 적층 결함이 발생하므로 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0077] 레이저 전력이 높고, 스캔속도가 느릴 경우 분말에 과한 에너지가 조사되면서 분말이 기화되며 표면조도 및 물성을 저하시킬 위험이 있다. 반면에 레이저 전력이 낮고, 스캔속도가 빠를 경우에는 에너지가 조사되지 못하여 미용융 분말이 형성되며 적층결함이 나타나게 된다. 그러므로 생산성이 높은 조형체를 제조하기 위해서는 레이저 전력과 스캔속도가 높은 최적의 공정 조건을 설정해야 한다.

[0078] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 제조 시 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격인 해칭 공간(hatching space)을 20 내지 30 ㎛로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 해칭 공간(hatching space)이 20 ㎛ 미만인 경우 생산성이 떨어지는 문제점이 발생하고, 상기 해칭 공간(hatching space)이 30 ㎛를 초과한 경우 오버랩(overlap)되는 부분이 적어져 결합이 발생하는 문제점이 있어 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0079] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 레이저로 적층 시 하나의 레이어 두께(layer thickness)가 20 내지 30 ㎛인 것을 특징으로 한다. 상기 레이어 두께(layer thickness)가 20 ㎛ 미만인 경우 입열량이 너무 높아 분말이 기화될 위험이 있으며, 상기 레이어 두께(layer thickness)가 30 ㎛를 초과한 경우 열전달이 제대로 이루어지지 못하여 미용융 분말이 증가할 확률이 높아지므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 레이저 빔의 크기와 관련이 있는 상기 해칭 공간(hatching space)과 레이어 두께(layer thickness)는 용융풀의 크기를 결정하게 된다. 상기 공정변수는 조형체의 물성을 저하시키지 않으면서 생산성이 우수한 공정 조건을 선택하여 적층할 수 있다.

[0080] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 인장강도(tensile strength)가 상온(25 ℃)에서 1,080 내지 1,100 MPa이고, 저온(-140 ℃)에서 1,550 내지 1,600 MPa 인 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물은 공정변수인 레이저 전력, 스캔속도, 해칭 공간(hatching space) 및 레이저 두께를 제어하여 저온에서도 인장강도가 증가된다. 특히, 적층 조형물의 생성 방향을 제어하여 실온과 비교할 때 극저온에서도 인장강도가 더욱 증가된다. 종래의 경우 Ti 합금의 인장강도를 높이기 위하여 미세조직 및 석출상을 제어하기 위한 열처리 공정이 진행되었으며, 이러한 공정만으로는 저온에서 인장강도를 높이기 힘들어 저온에서 인장강도가 측정되지 않았으며, 상온에서도 인장강도가 950 내지 970 MPa 정도 밖에 안 되는 수준으로 확인되었다.

[0081] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 항복강도(yield strength)가 상온(25 ℃)에서 900 내지 1,000 MPa이고, 저온(-140 ℃)에서 1,080 내지 1,100 MPa 인 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의해 제조된 Inconel 718 합금 적층 조형물은 공정변수인 레이저 전력, 스캔속도, 해칭 공간(hatching space) 및 레이저 두께를 제어하여 저온에서도 항복강도가 증가된다. 특히, 적층 조형물의 생성 방향을 제어하여 실온과 비교할 때 극저온에서도 항복강도가 더욱 증가된다.

[0082] 또한, 상기 Inconel 718 합금 적층 조형물은 상온에서 연신율(elongation)이 5.2% 이상이고, 저온(-140 ℃)에

서 17.2% 이상으로 확인되었다.

[0084] 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.

[0086] **실시예**

[0087] 가스 분사법을 통해 제조한 Inconel 718 합금 분말을 레이저 분말소결방식(L-PBF)으로 적층제조하였다. 표 1에 나타난 바와 같이, 다양한 공정 변수(레이저 출력: 160 W, 스캔속도: 800 mm/s, 해칭 공간(hatching space): 25 ㎛, 레이어 두께(layer thickness): 25 ㎛)로 시편을 제조하였다. 제조된 시편은 도 4에 나타난 바와 같다.

[0088] 시편을 650 ℃ 에서 8h 동안 응력제거 열처리를 진행한 후, 공냉하였다. 1,200 ℃, 1000 bar에서 4 시간 동안 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP) 공정을 수행하였다. 1,195 ℃ 에서 4 시간 동안 용체화열처리(solution heat treatment, SHT)를 수행하고, 718 ℃ (8 시간) 및 628 ℃ (8 시간)에서 시효 열처리(aging heat treatment)를 진행하였다.

표 1

[0090]

sample	Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Hatch space (㎛)	Layer thickness (㎛)
실시예 1	160	800	25	25
실시예 2	160	800	25	25
실시예 3	160	800	25	25

[0092] **비교예**

[0093] 비교예는 앞서 기술된 실시예와 동일하게 레이저 분말소결방식(L-PBF)으로 조형하였다. 다만, 아래 표 2의 공정조건과 같이 레이저 전력(laser power), 스캔속도(scanning speed), 해칭 공간(hatching space) 및 레이어 두께(layer thickness)를 실시예와 달리 제어하여 적층 조형물을 제조하였다.

표 2

[0095]

sample	Laser power (W)	Scanning speed (mm/s)	Hatch space (㎛)	Layer thickness (㎛)
비교예 1	-	-	-	-
비교예 2	-	-	-	-
비교예 3	180-285	960	-	-

[0097] **실험예**

[0098] (1) 인장강도

[0099] 실시예 및 비교예에서 시편의 인장특성을 평가하기 위하여 상온과 -140 ℃에서 10^{-3} /s의 변형률 속도로 인장시험을 수행하였다. 인장시편은 ASTM E8/E8M에 따라 표점 거리 (gauge length) 25 mm, 직경 (gauge diameter) 5

mm 크기로 제작하였다.

[0101] (2) 항복강도

[0102] 인장시험을 실시한 후 변형률이 0인 점에서 탄성영역의 직선을 0.2% offset하여 활용하여 항복강도를 측정하였다.

[0104] (3) 연신율

[0105] 응력-변형률 곡선의 파단점과 탄성영역의 기울기와 동일한 기울기를 갖는 직선을 교차시켰을 때 직선의 x절편(y=0) 값을 연신율으로 측정하였다.

[0107] 실시예와 비교예를 통해 제조된 시편으로 실시한 인장강도, 항복강도 및 연신율 결과를 표 3 및 도 5 내지 6에 나타내었다.

표 3

[0109]

sample	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Testing temp.(℃)
실시예 1	950	1,090	5.2	25
실시예 2	945	1,084	5.5	25
실시예 3	955	1,080	5.3	25
실시예 1	1,090	1,580	17.2	-140
실시예 2	1,310	1,600	15.6	-140
실시예 3	1,290	1,270	15.2	-140
비교예 1	993	700	20.3	25
비교예 2	840	970	23	25
비교예 3	-	-	-	25
비교예 1	-	-	-	-140
비교예 2	-	-	-	-140
비교예 3	-	-	-	-140

[0111] 일반적으로, Inconel 718 합금의 적층 제조시 저온 인장특성을 증가시키기 위해 레이저 전력과 스캔속도, 레이어 두께(layer thickness) 및 해칭 공간(hatching space)을 조절하여 적층 제조에 성공함과 동시에 우수한 저온 인장강도를 갖는 소재를 발명한 사례가 없다. 비교예에 따른 인장 강도를 확인한 결과, 저온 인장강도를 높이기 위하여 미세조직 및 석출상을 제어하기 위한 열처리 공정이 진행되었으나, 400~900 MPa 정도 밖에 안 되는 수준이다.

[0112] 본 발명에서는 다양한 공정변수를 조절하여 인장강도, 항복강도 및 연신율을 확인하였다. 표 3에 나타난 바와 같이, 상온(25 ℃)과 저온(-140 ℃)에서 최대 인장강도 1,580 MPa, 연신율 17.2%의 저온 인장특성을 갖는 소재를 적층 제조하는데 성공하였다.

[0113] 또한, 본 발명에서 제조된 합금 적층 조형물은 상온(25 ℃) 보다 저온(-140 ℃)에서 더 높은 인장특성을 나타내고 있어 로켓 모터 케이스(rocket motor casing)이나 초전조 구조재 등 극저온 환경에서 사용될 수 있으며 본 발명을 활용한다면 net-shape 부품 제작이 가능해짐에 따라 사용범위가 증가될 수 있을 것이다.

[0115] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 공정조건 및 열처리 조건을 제어하여 효과적인 Inconel 718 합금 적층 제조 공정기술을 제공하고 극저온에서도 우수한 인장특성을 가지는 Inconel 718 합금 적층 조형물을 제조할 수 있다.

[0117] 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.

[0118] 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

[0120] 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 제7-5단계로 열처리하는 제7단계;

S71. 응력제거 열처리 후, 노랭(furnace cooling)하는 제7-1단계

S72. 열간 정수압 성형(Hot Isostatic Pressing: HIP)처리 후, 노랭(furnace cooling)하는 제7-2단계

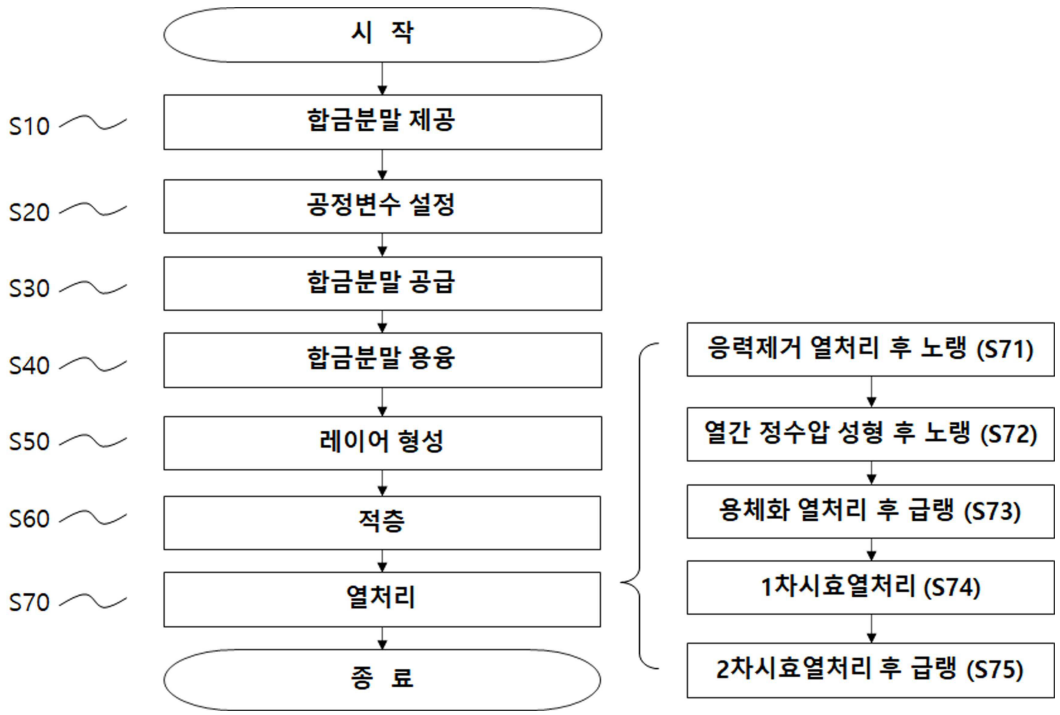
S73. 용체화열처리(solution heat treatment, SHT) 후, 급랭(direct quenching)하는 제7-2단계

S74. 715 내지 720 ℃에서 1차 시효열처리(aging heat treatment)하는 제7-3단계

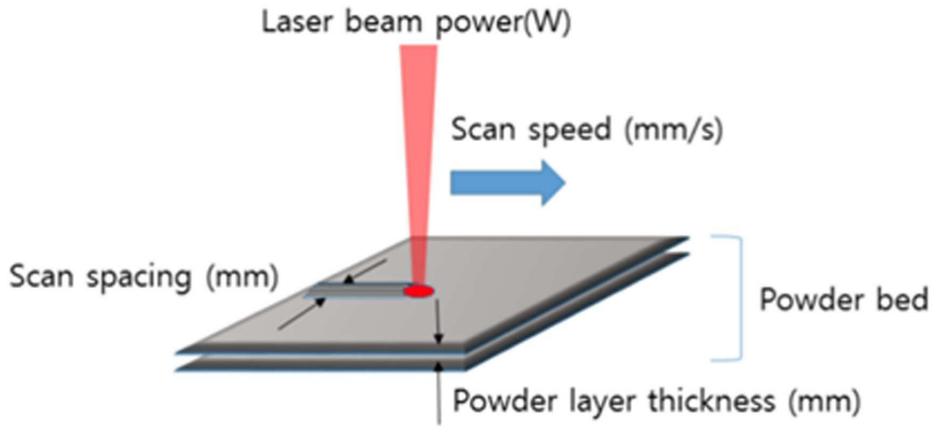
S75. 2차 시효열처리(aging heat treatment) 후 급랭(direct quenching)하는 제7-4단계

도면

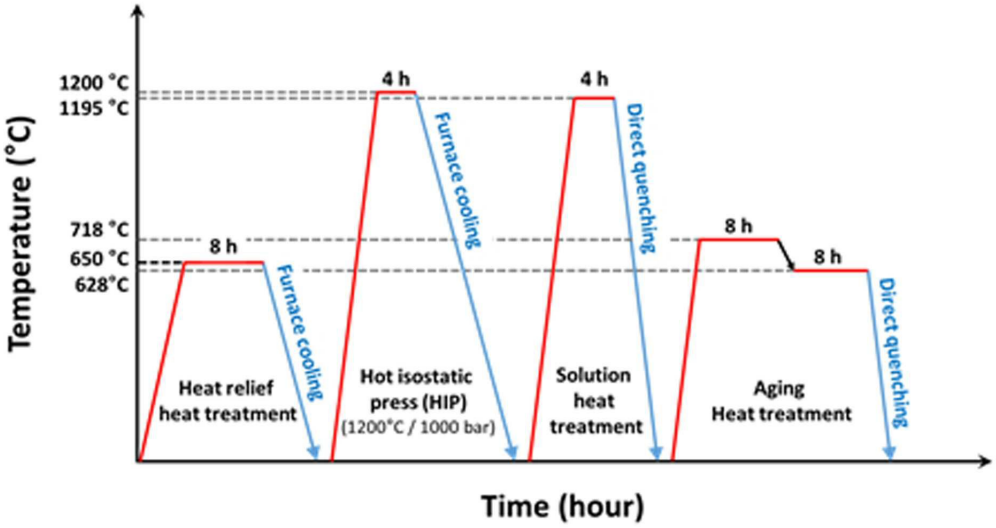
도면1


시 작
S10
합금분말 제공
S20
공정변수 설정
S30
합금분말 공급
S40
합금분말 용융
S50
레이어 형성
S60
적층
S70
열처리
종 료
응력제거 열처리 후 노랭 (S71)
열간 정수압 성형 후 노랭 (S72)
용체화 열처리 후 급랭 (S73)
1차시효열처리 (S74)
2차시효열처리 후 급랭 (S75)

도면2


Laser beam power(W)
Scan speed (mm/s)
Scan spacing (mm)
Powder bed
Powder layer thickness (mm)

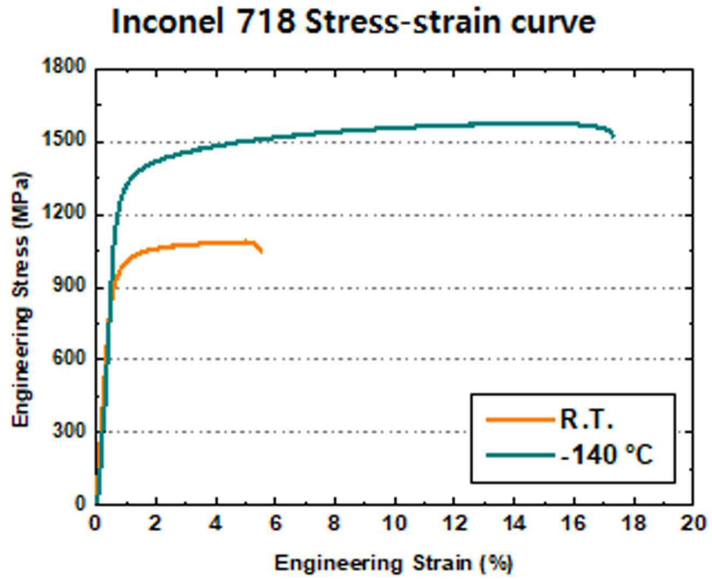
도면3


Temperature (°C)
1200 °C
1195 °C
718 °C
650 °C
628°C
8 h
4 h
4 h
8 h
8 h
Furnace cooling
Furnace cooling
Direct quenching
Direct quenching
Heat relief heat treatment
Hot isostatic press (HIP) (1200°C / 1000 bar)
Solution heat treatment
Aging Heat treatment
Time (hour)

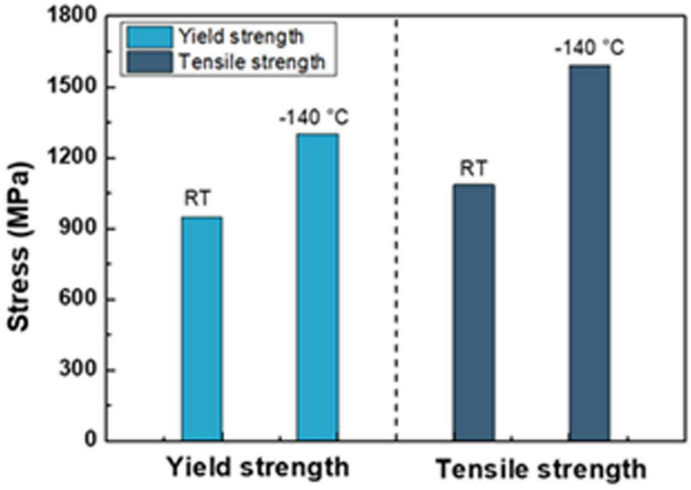
도면4


90°- #1
90°- #2
90°- #3

도면5


Inconel 718 Stress-strain curve
Engineering Stress (MPa)
Engineering Strain (%)
R.T.
-140 °C
0
300
600
900
1200
1500
1800
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면6


Stress (MPa)
Yield strength
Tensile strength
RT
-140 °C
RT
-140 °C
Yield strength
Tensile strength
0
300
600
900
1200
1500
1800