

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0034026
(43) 공개일자 2023년03월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 10/28 (2021.01) B22F 10/43 (2021.01)

B22F 10/47 (2021.01) B22F 10/64 (2021.01)

B22F 9/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B22F 10/28 (2021.08)

B22F 10/43 (2021.08)

(21) 출원번호 10-2021-0117115

(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 14 항

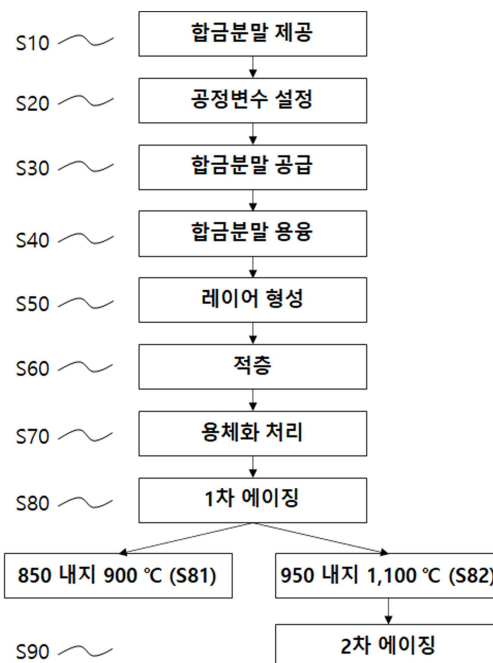
(54) 발명의 명칭 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법 및 이를 이용한 Mar-M247 합금 적층 조형물

(57) 요약

본 발명은 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법에 관한 것으로, 적층 가공 제어하여 제조된 Mar-M247 합금 조형물을 열처리 제어하여 미세조직을 조절하여 높은 인장강도를 가지는 Mar-M247 합금 조형물 제조방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



본 발명에 따른 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법은, 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서, 가스분사법으로 제조된 Mar-M247 합금분말을 제공하는 제1단계; 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계; 상기 Mar-M247 합금분말을 공급하는 제3단계; 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Mar-M247 합금분말을 용융시키는 제4단계; 상기 용융된 Mar-M247 합금분말을 냉각 및 고화하면서, Mar-M247 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계; 및 상기 Mar-M247 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계; 를 포함하여 이루어지고, 상기 제2단계의 공정변수는 170 내지 190 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

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)

B22F 2009/0876 (2013.01)

(72) 발명자

여태형

경남 진주시 호탄길13번길 13

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	50/100
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	50/100
과제수행기관명	경상대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,
 가스분사법으로 제조된 Mar-M247 합금분말을 제공하는 제1단계;
 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계;
 상기 Mar-M247 합금분말을 공급하는 제3단계;
 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Mar-M247 합금분말을 용융시키는 제4단계;
 상기 용융된 Mar-M247 합금분말을 이용하여, Mar-M247 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계; 및
 상기 Mar-M247 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계;
 를 포함하여 이루어지고,
 상기 제2단계의 공정변수는 170 내지 190 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 제2단계의 공정변수는,
 900 내지 1,100 (mm/s)의 스캔속도로 설정하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,
 상기 제6단계를 수행 후,
 1,200 내지 1,300 °C에서 2시간 동안 용체화 처리(solution heat treatment)하는 제7단계;
 850 내지 900 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-1단계;를 포함하여 열처리하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,
 상기 제8-1단계의 1차 에이징(aging) 처리는 23 내지 25 시간 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,
 상기 제6단계를 수행 후,

1,200 내지 1,300 °C에서 2시간 동안 용체화 처리(solution heat treatment)하는 제7단계;

950 내지 1,100 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-2단계; 및

750 내지 800 °C에서 2차 에이징(aging) 처리하는 제9단계; 를 포함하여 열처리하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 제8-2단계의 1차 에이징(aging) 처리는 4 내지 6시간 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 제9단계의 2차 에이징(aging) 처리는 23 내지 25시간 동안 수행하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법.

청구항 8

레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 후,

용체화 처리(solution heat treatment) 및 에이징 처리를 순차적으로 실시하여 제조되는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 에이징 처리는,

850 내지 900 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하거나,

950 내지 1,100 °C에서 1차 에이징(aging) 처리 후 750 내지 800 °C에서 2차 에이징(aging) 처리하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 1차 에이징(aging) 처리는 1 μm 이하의 γ' 상이 균일하게 분포하는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 2차 에이징(aging) 처리는 1 μm 이하의 γ' 상을 석출시키는 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 12

제 8항에 있어서,

인장강도(tensile strength)가 1,300 MPa 인 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 13

제 8항에 있어서,

항복강도(yield strength)가 1,280 MPa 인 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

청구항 14

제 8항에 있어서,

연신율(elongation)이 8% 이상 인 것을 특징으로 하는 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법에 관한 것으로, 적층 가공 제어하여 제조된 Mar-M247 합금 조형물을 열처리 제어하여 미세조직을 조절하여 높은 인장강도를 가지는 Mar-M247 합금 조형물 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 니켈을 기지로 하여 여러 가지 합금 원소를 첨가한 니켈계 초내열 합금은 터빈 엔진과 같은 고온 내열재료로 사용되는 소재이다. 니켈계 초내열 합금 중 Mar-M247은 최적의 주조형 초내열합금으로, γ 기지에서 ordered γ' 상 (Ni_3Al)의 석출에 의한 우수한 고온특성을 가지고 있다. 이러한 니켈계 초내열 합금은 미세구조를 제어하여 보다 우수한 고온특성을 얻는 것이 중요하다.

[0004] 일반적으로, Mar-M247을 용접 또는 기계 가공을 통해 부품을 제작하면 품질은 우수하나, 가공단가가 높고 복잡한 형상의 부품 제작이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 복잡한 형상을 제작하기에 유리한 적층 가공을 이용하고, Mar-M247의 최적 인장특성을 획득하기 위해서는 적층 제조 공정조건 제어가 필요하다. 또한, 열처리 조건을 제어하여 γ' 상의 분율 및 형상을 제어하고 우수한 인장특성을 확보할 필요가 있다.

[0005] 종래의 경우, 적층 제조가 아닌 주조를 통해 합금을 제작하거나 열처리를 통해 결정립계 형상을 제어하지만 초내열 합금의 물성 조절의 핵심인 γ' 석출상의 형상 및 분율을 제어할 수 없었다. 또한, 인장강도가 낮은 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1507898호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 복잡한 형상의 부품을 제조할 수 있는 우수한 물성을 가진 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제공하는 것이다.
- [0009] 또한, 본 발명의 목적은 열처리 공정을 제어하여 γ '상 석출상의 크기 및 형상을 제어할 수 있는 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제공하는 것이다.
- [0010] 또한, 본 발명의 목적은 열처리 공정을 제어하여 인장강도가 매우 우수한 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제공하는 것이다.
- [0011] 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

- [0013] 본 발명에 따른 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법은,
- [0014] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 가공 방법에 있어서,
- [0015] 가스분사법으로 제조된 Mar-M247 합금분말을 제공하는 제1단계;
- [0016] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 위한 공정변수를 설정하는 제2단계;
- [0017] 상기 Mar-M247 합금분말을 공급하는 제3단계;
- [0018] 조형광원을 선택적으로 조사하여 상기 Mar-M247 합금분말을 용융시키는 제4단계;
- [0019] 상기 용융된 Mar-M247 합금분말을 냉각 및 고화하면서, Mar-M247 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계; 및
- [0020] 상기 Mar-M247 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계;를 포함하여 이루어지고,
- [0021] 상기 제2단계의 공정변수는 170 내지 190 (W)의 레이저 전력으로 설정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0023] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 복잡한 형상의 부품을 제조할 수 있는 우수한 물성을 가진 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제조할 수 있다.
- [0024] 또한, 본 발명은 열처리 공정을 제어하여 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물의 γ '상 석출상의 크기 및 형상을 제어할 수 있다.
- [0025] 또한, 본 발명은 열처리 공정을 제어하여 인장강도가 매우 우수한 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법 보여주는 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조장치 모식도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따라 본 발명의 실시예에 의해 제조된 Mar-M247 합금 적층 조형물의 미세조직 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0029] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 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.
- [0030] 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.
- [0031] 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.
- [0032] 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.
- [0033] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [0035] 본 발명에서, 미세구조는 불규칙(disordered) γ 상 기지로부터 정합(coherent)의 L12-규칙FCC γ' 상을 포함하는 미세구조를 갖고 있으며 합금의 강도를 강화시키는 중요한 역할을 한다. 본 발명은 니켈계 초합금들은 온도와 시간 변화에 따라 미세구조(결정립 크기, 결정방위 및 석출상 변형) 및 기계적 강도(경도, 항복, 인장 및 내피로)에 미치는 영향이 크기 때문에 시효 조건과 가공경화와 관련된 연구를 진행하였다. 이에 의하여, 본 발명은 Mar-M247 합금의 특성 개선을 위한 열처리 공정 기술로서, 해당 기술에 따른 합금 소재의 미세조직 분석, 그에 따른 기계적 특성을 분석하여 연계성을 고찰하여 최적 열처리 공정 조건을 제공하고자 하였다.
- [0037] 도 1에 나타난 바와 같이, 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법은 아래 단계에 의해 수행된다.
- [0038] 먼저, 제1단계(S10)는 Mar-M247 합금분말을 제공한다. 본 발명은 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 가공에 따라 수행하며, 1단계(S10)에서 가스분사법으로 제조된 Mar-M247 합금분말을 제공한다.
- [0039] 상기 Mar-M247 합금은 Carpenter 사의 CM247LC를 활용하여 제조한다. 또한, 상기 Mar-M247 합금은 텅스텐(W): 9.5 중량%, 코발트(Co): 9.2 중량%, 크롬(Cr) 8.1 중량%, 알루미늄(Al) 5.6 중량%, 탄탈럼(Ta): 3.2 중량%, hafnium(Hf): 1.4 중량%, 타이타늄(Ti): 0.7 중량%, 몰리브데넘(Mo): 0.5 중량%, 탄소(C): 0.075 중량%, 지르코늄(Zr): 0.015 중량%, 붕소(B): 0.015 중량% 및 잔부 Ni의 비율로 구성된다.
- [0040] 또한, 상기 Mar-M247 합금분말은 입도 15 내지 45 μm 를 이용하는 것이 바람직하다.
- [0041]
- [0042] 다음으로, 제2단계(S20)는 공정변수를 설정한다. 제2단계(S20)는 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 위한 공정변수를 설정한다. 도 2에 나타난 바와 같이, 상기 공정변수는 레이저의 전력 및 스캔속도를 설정하여 제어한다.
- [0043] 상기 레이저 전력은 170 내지 190 (W)의 으로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 레이저 전력이 170 (W) 미만인 경우 에너지가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리고 미용용 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 190 (W)를 초과한 경우 분말의 기화가 나타나며 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0044] 또한, 상기 스캔속도는 900 내지 1,100 (mm/s)로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 스캔속도는 조형 가능한 범위 내에서 최대 스캔 속도로 설정하는 것으로, 상기 스캔속도가 900 (mm/s) 미만인 경우 스캔속도가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 1,100 (mm/s)을 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.

[0045] 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.

[0046] 상기 해칭 공간(hatching space)은 레이저가 이동하는 레이저 스캔 경로 사이의 간격으로, 130 내지 170 μm 인 것이 바람직하다. 상기 해칭 공간(hatching space)이 150 μm 미만인 경우 생산성이 떨어지고, 상기 해칭 공간(hatching space)이 170 μm 를 초과한 경우 오버랩(overlap) 되는 영역이 줄어들면서 다공성이 높아지는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0047] 상기 레이어 두께(layer thickness)는 30 내지 40 μm 인 것이 바람직하다. 상기 레이어 두께(layer thickness)가 30 μm 미만인 경우 입열량이 과해 분말이 기화될 위험이 있으며, 상기 레이어 두께(layer thickness)가 40 μm 를 초과한 경우 열전달이 제대로 이루어지지 못하여 미용융 분말이 증가할 확률이 높아지므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0048] 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.

[0049] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 공정의 생산성을 나타내는 대표적인 지표인 Build rate(VB)는 다음 식 (1)에 의해 결정된다.

[0050]
$$VB = VS \times \Delta y \times \Delta z \quad (1)$$

[0051] (여기서, VS는 스캔 속도, Δy 는 해칭 공간(hatching space)의 증가, Δz 는 레이어 높이의 증가 임)

[0052] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 부품의 생산성은 공정 파라미터의 제어에 따라 체적 영향을 받으며, 스캔속도는 생산성 향상을 위한 가장 중요한 파라미터이다.

[0054] 다음으로, 제3단계(S30)는 상기 Mar-M247 합금분말을 공급한다. 제3단계(S30)는 상기 Mar-M247 합금분말을 공급한다.

[0056] 다음으로, 제4단계(S40)는 상기 Mar-M247 합금분말을 용융시킨다. 제4단계(S40)는 Ar 가스 분위기 내에서 조형광원을 선택적으로 조사하여 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.

[0058] 다음으로, 제5단계(S50)는 Mar-M247 소재의 하나의 레이어를 형성한다.

[0060] 다음으로, 제6단계(S60)는 상기 제3단계(S30) 내지 제5단계(S50)를 반복하여 적층한다. 제6단계(S60)는 상기

Mar-M247 소재의 입체 조형물이 완성될 때까지 상기 제3단계(S30) 내지 제5단계(S50)를 반복하여 적층한다.

- [0062] 다음으로, 제7단계(S70)는 용체화 처리(solution heat treatment)한다. 상기 제7단계(S70)는 1,200 내지 1,300 °C에서 1.5 내지 2.5 시간 동안 용체화 처리(solution heat treatment)한다. 상기 용체화 처리에서 1,200 °C 미만으로 수행하는 경우 석출상이 기지에 제대로 고용되지 않아 단상이 형성되지 않는다는 문제점이 발생하고, 1,300 °C를 초과하여 수행하는 경우 합금이 용융하는 문제점이 발생하므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 용체화 처리에서 1.5 시간 미만으로 수행하는 경우 온도가 낮은 것과 마찬가지로 석출상이 기지에 고용되지 않아 단상으로 만들지 못하는 문제점이 발생하고, 2.5 시간이면 충분히 고용을 시켜 단상을 형성하기 때문에 그 이상의 시간은 필요 없는 공정이다.
- [0064] 다음으로, 제8단계(S80)는 1차 에이징(aging) 처리한다. 상기 제8단계(S80)는 아래 두 방법으로 1차 에이징(aging)처리 될 수 있다.
- [0065] 첫 번째는 850 내지 900 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-1단계(S81)이다. 상기 제8-1단계(S81)는 850 내지 900 °C에서 23 내지 25 시간 동안 수행한다.
- [0066] 두 번째는 950 내지 1,100 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-2단계(S82)이다. 상기 제8-2단계(S82)는 950 내지 1,100 °C에서 4 내지 6 시간 동안 수행한다.
- [0067] 상기 1차(aging)의 주목적은 적혀있는 것과 같이 기지(γ) 위의 석출상(γ')의 균일도를 제어하기 위함이다. 이때 1차 에이징의 온도가 너무 낮을 경우 결정립계 또는 개재물 같이 불안정한 곳에서 석출물(γ')이 형성되며, 결과적으로 전체적으로 불균일하게 석출상(γ')이 형성된다. 온도가 너무 높으면 고용도도가 그만큼 높아져 석출상(γ')이 다시 기지로 고용되어 석출상(γ')의 분율이 낮아지는 문제점이 있다. 따라서 본 발명에서 상기와 같이 적절한 온도(균일한 석출상이 형성될 정도의 온도) 및 시간을 설정하여 1차 에이징(aging)을 실시하고, 인장강도 차이를 확인할 수 있다. 시간은 석출상(γ')이 충분히 균일하게 석출될 수 있도록 하는 5시간 정도이며, 그 이상으로 하게 되면 결정립 및 석출상(γ')이 조대화될 수 있는 문제가 있다.
- [0069] 다음으로, 제9단계(S90)는 2차 에이징(aging) 처리한다. 상기 제9단계(S90)는 상기 제8-2단계(S82)를 수행한 경우, 750 내지 800 °C에서 2차 에이징(aging) 처리한다. 상기 제9단계(S90)는 750 내지 800 °C에서 23 내지 25 시간 동안 수행한다.
- [0070] 상기 2차 에이징(aging)의 목적은 석출상(γ')의 크기를 제어하기 위함이다. 온도가 너무 낮게 설정 할 경우 조대한 석출물이 형성될 우려가 있으며, 마찬가지로 너무 높을 경우에는 석출물이 다시 기지에 고용되어 석출상(γ')의 분율이 낮아질 수 있는 문제점이 있다. 시간을 길게 했을 시 석출물 조대화 및 석출상이 조대해지는 문제점이 있기 때문에 적절한 시간(본 실험에서의 24h)을 통해 석출물(γ')형성이 중요하다.
- [0072] 본 발명인 Mar-M247 합금 적층 조형물은 앞서 기재된 열처리 공정조건 제어로 인해 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물 제조방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.
- [0073] 상기 Mar-M247 합금 적층 조형물은 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용하여 Mar-M247 합금분말을 제공하여 적층하되, 상기 Mar-M247 합금분말은 Carpenter 사의 CM247LC를 활용하여 제조한다. 또한, 상기 CM247LC 합금분말은 텅스텐(W): 9.5 중량%, 코발트(Co): 9.2 중량%, 크롬(Cr) 8.1 중량%, 알루미늄(Al) 5.6 중량%, 탄탈럼(Ta): 3.2 중량%, 하프늄(Hf): 1.4 중량%, 타이타늄(Ti): 0.7 중량%, 몰리브데넘(Mo): 0.5 중량%, 탄소(C): 0.075 중량%, 지르코늄(Zr): 0.015 중량%, 붕소(B): 0.015 중량% 및 잔부 Ni의 비율로 구성된다.
- [0074] 상기 Mar-M247 합금 적층 조형물은 적층 제조 시 레이저 전력이 150 내지 170 (W)으로 제어하여 제조되는 것을 특징으로 한다. 상기 레이저 전력이 170 (W) 미만인 경우 에너지가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리고 미용용 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 190 (W)를 초과한 경우 분말의 기화가 나타나며 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하

는 것이 바람직하다.

- [0075] 또한, 상기 Mar-M247 합금 적층 조형물은 적층 제조 시 스캔속도는 900 내지 1,100 (mm/s)로 설정하는 것을 특징으로 한다. 상기 스캔속도는 조형 가능한 범위 내에서 최대 스캔 속도로 설정하는 것으로, 상기 스캔속도가 900 (mm/s) 미만인 경우 스캔속도가 너무 낮아 적층 생성 시간이 너무 오래 걸리는 문제점이 발생하고, 상기 스캔속도가 1,100 (mm/s)를 초과한 경우 분말에 가해지는 에너지의 양이 적어지게 되며 스캔 방향을 따라 적층 결합이 발생하므로 생성된 적층 조형물이 물리적으로 변형될 우려가 있으므로 상기 조건으로 수행하는 것이 바람직하다.
- [0076] 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 적층결합이 나타나게 된다. 그러므로 생산성이 높은 조형체를 제조하기 위해서는 레이저 전력과 스캔속도가 높은 최적의 공정 조건을 설정해야 한다.
- [0077] 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.
- [0078] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 공정의 생산성을 나타내는 대표적인 지표인 Build rate(VB)는 다음 식 (1)에 의해 결정된다.
- [0079]
$$VB = VS * \Delta y * \Delta z \quad (1)$$
- [0080] (여기서, VS는 스캔 속도, Δy 는 해칭 공간(hatching space)의 증가, Δz 는 레이어 높이의 증가 임)
- [0081] 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 부품의 생산성은 공정 파라미터의 제어에 따라 체적 영향을 받으며, 스캔속도는 생산성 향상을 위한 가장 중요한 파라미터이다.
- [0083] 상기 Mar-M247 합금 적층 조형물은 레이저 분말소결방식(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 적층 후, 용체화 처리(solution heat treatment) 및 에이징 처리를 순차적으로 실시하여 제조되는 것을 특징으로 한다.
- [0084] 상기 에이징 처리는 850 내지 900 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하거나, 950 내지 1,100 °C에서 1차 에이징(aging) 처리 후 750 내지 800 °C에서 2차 에이징(aging) 처리하는 것을 특징으로 한다.
- [0085] 상기 1차 에이징(aging) 처리를 통해 1 μm 이하의 γ' 상이 균일하게 분포하는 것을 특징으로 한다.
- [0086] 상기 2차 에이징(aging) 처리는 1 μm 이하의 γ' 상을 석출시키는 것을 특징으로 한다.
- [0088] 본 발명인 우수한 인장특성을 갖는 Mar-M247 합금 적층 조형물은 인장강도(tensile strength)가 1,300 MPa 인 것을 특징으로 한다.
- [0089] 또한, 항복강도(yield strength)가 1,280 MPa 인 것을 특징으로 한다.
- [0090] 또한, 연신율(elongation)이 8% 이상 인 것을 특징으로 한다.
- [0092] 아래는 상기 기재된 방법에 의해 제조된 Mar-M247 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.
- [0094] **실시예**
- [0095] 가스 분사법을 통해 제조한 Mar-M247 합금 분말을 레이저 분말소결방식 (Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을

이용한 방식으로 적층 제조하였다. 공정 변수 중 레이저 출력 160 (W) 및 스캐닝 속도 800 (mm/s)로 시편을 제조하였다.

[0096] 이후, 아래의 조건으로 각 시편을 제조하였다. 각 시편은 단상을 형성하기 위해 모든 시편에 대해 동일하게 용체화 처리(solution heat treatment)를 1,250 °C의 온도로 2시간 동안 수행하였다. 또한, 석출 강화 효과를 얻기 위해 1차 에이징 처리(One-step aging treatment) 및 2차 에이징 처리(Two-step aging treatment)를 아래 표 1에 나타난 바와 같이 실시하였다.

표 1

[0098]

sample	용체화 처리 (solution heat treatment)	1차 에이징 (One-step aging treatment)	2차 에이징 (Two-step aging treatment)
S8	1,250 ° C (2h)	870 ° C (24h)	-
T9-7	1,250 ° C (2h)	980 ° C (5h)	770 ° C (24h)
T9-8	1,250 ° C (2h)	980 ° C (5h)	870 ° C (24h)
T9-9	1,250 ° C (2h)	980 ° C (5h)	970 ° C (24h)
T10-8	1,250 ° C (2h)	1080 ° C (5h)	870 ° C (24h)
T10-9	1,250 ° C (2h)	1080 ° C (5h)	970 ° C (24h)

[0100]

비교예

[0101]

가스 분사법을 통해 제조한 Mar-M247 합금 분말을 레이저 분말소결방식 (Laser Powder Bed Fusion, L-PBF)을 이용한 방식으로 적층 제조하였다. 다만, 아래 표 2의 공정 조건과 같이 용체화 처리(solution heat treatment)를 1차 에이징 처리(One-step aging treatment) 및 2차 에이징 처리(Two-step aging treatment)를 본 발명 조건과 달리하여 수행하였다.

표 2

[0103]

sample	열간압연 (heated rolling)	용체화 처리 (solution heat treatment)	열처리
비교예 1	1,150° C (3회)	1,175 ° C (15분)	-
비교예 2	1,150° C (3회)	1,175 ° C (15분)	1,000 ° C (1 시간)

[0106]

실험예

[0107]

(1) 인장강도

[0108]

실시에 및 비교예에서 시편의 인장특성을 평가하기 위하여 상온에서 10^{-3} /s의 변형률 속도로 인장시험을 수행하였다. 인장시편은 ASTM E8/E8M에 따라 표점 거리 (gauge length) 6.4 mm, 직경 (gauge diameter) 2.5 mm 크기로 제작하였다.

[0110]

(2) 항복강도

[0111]

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

[0113] (3) 연신율

[0114] 응력-변형률 곡선의 과단점과 탄성영역의 기울기와 동일한 기울기를 갖는 직선을 교차시켰을 때 직선의 x절편 ($y=0$) 값이 연신율이다.

[0116] 실시예와 비교예를 통해 제조된 시편으로 실시한 인장강도, 항복강도 및 연신율 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3

[0118]

sample	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Testing temp.(°C)
S8	971	1280	8	25
T9-7	956	1260	8	25
T9-8	902	1194	10	25
T9-9	916	1268	12	25
T10-8	849	1089	8	25
T10-9	1024	1023	9	25
비교예 1	352	825	75	25
비교예 2	352	843	59	25

[0120] 비교예 실험은 적층제조 방식으로 초내열합금을 제조 한 것이 아니며, 열처리방식도 다르다. 본 발명의 실시예는 1차/2차 에이징(aging) 시간 및 온도 조절을 통해 석출상을 제어한 것이다.

[0121] 비교예 1 실험은 주조 후 1,050 내지 1,150 ° C에서 3회에 걸친 50% 열간압연을 하고, 1,175 ° C에서 용체화 처리를 한 후 급속히 수냉하여 초내열합금을 제조하였다. 비교예 2 실험은 비교예 1에서 제조된 합금에서 1,000 ° C에서 1시간 동안 열처리하는 단계를 더 수행하였다.

[0122] 같은 초내열 합금이라 해도 상온에서 인장강도 및 항복강도가 높은 초내열합금을 1차/2차 에이징(aging) 시간 및 온도 제어를 통해 제작할 수 있음을 보여주기 위한 비교예이다.

[0123] 실시예를 통해 적층되어 제조된 Mar-M247 합금 적층 조성물을 여섯 개의 다른 열처리 공정(S8 ~ T10-9)을 통해 γ '상의 균일한 석출상을 제어하였다. 단상을 형성하기 위해 모든 시편에 대해 동일하게 용체화처리를 1250 ° C (2h)으로 진행하였고, 석출 강화 효과를 얻기 위해 One step/ Two step aging을 진행하였다.

[0125] One step aging(870 ° C ~ 1080 ° C)은 높은 온도에서 진행되기 때문에, 도 4에 나타난 바와 같이, 1 μ m 이하의 균일한 γ ' 석출상이 분포됨을 확인하였다. 이는 탄화물의 형태와 결정립계에서의 분포를 개선하였다.

[0126] 또한, Two step aging(780 ° C ~ 970 ° C) 에서는 약 1 μ m 크기의 γ '상을 석출시키고 일반적으로 인장강도에 기여하였다. 즉, Two step aging의 온도가 높을수록 더욱 미세한 γ '상을 석출시켰다.

[0127] One step/ Two step aging을 통해 작고 균일한 입방정 형상의 γ ' 석출상을 형성하여, 도 4에 나타난 바와 같이, 약 1,300 MPa의 인장특성을 갖는 Mar-M 247을 제조함을 알 수 있다.

[0129] 종래의 경우, Mar-M247 합금의 제조를 위해 주조를 통해 우수한 물성을 획득하였으나, 복잡한 형상의 부품을 제조할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 발명은 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 획득하기 위한 최적의 공정인 레이저 전력 및 스캔속도를 제시하고, γ ' 석출상을 제어할 수 있는 열처리 조건을 제공하였다.

[0130] 본 발명에 따라 열처리 공정을 통해 획득된 인장강도는 1,300 MPa로서, 종래의 기술에 비해 450 내지 540 MPa의

인장강도를 가지는 초내열 합금을 제조할 수 있다.

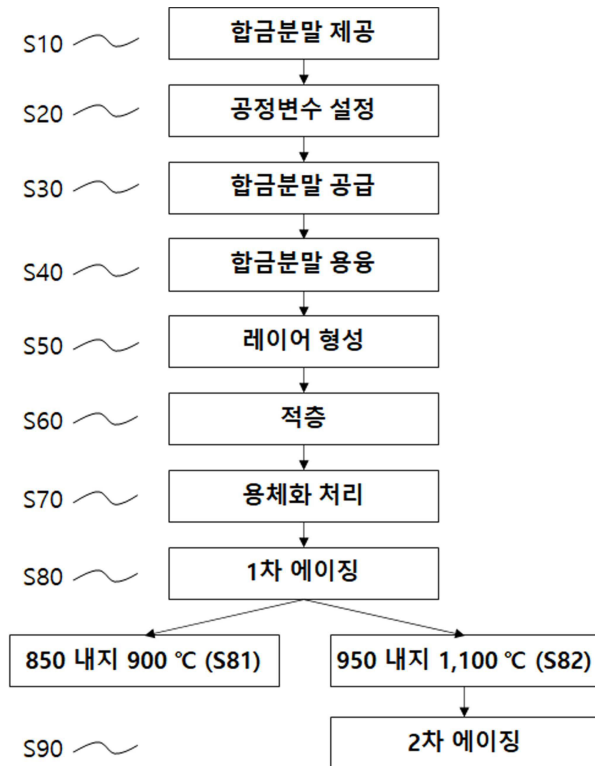
- [0131] 상기 과제에 해결 수단에 의해, 본 발명은 복잡한 형상의 부품을 제조할 수 있는 우수한 물성을 가진 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제조할 수 있다.
- [0132] 또한, 본 발명은 열처리 공정을 제어하여 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물의 γ '상 석출상의 크기 및 형상을 제어할 수 있다.
- [0133] 또한, 본 발명은 열처리 공정을 제어하여 인장강도가 매우 우수한 초내열합금인 Mar-M247 적층 조형물을 제조할 수 있다.
- [0135] 이와 같이, 상술한 본 발명의 기술적 구성은 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자가 본 발명의 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0136] 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

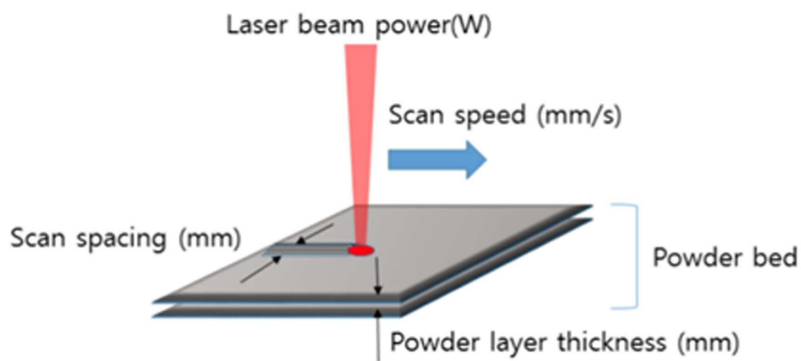
- [0138] S10. Mar-M247 합금분말을 제공하는 제1단계
- S20. 공정변수를 설정하는 제2단계
- S30. 상기 Mar-M247 합금분말을 공급하는 제3단계
- S40. 상기 Mar-M247 합금분말을 용융시키는 제4단계
- S50. Mar-M247 소재의 하나의 레이어를 형성하는 제5단계
- S60. 상기 제3단계 내지 제5단계를 반복하여 적층하는 제6단계
- S70. 용체화 처리(solution heat treatment)하는 제7단계
- S80. 1차 에이징 처리하는 제8단계
- S81. 850 내지 900 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-1단계
- S82. 950 내지 1,100 °C에서 1차 에이징(aging) 처리하는 제8-2단계
- S90. 2차 에이징(aging) 처리하는 제9단계

도면

도면1



도면2



도면3

