



(19) 대한민국 지식재산청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2026년01월12일

(11) 등록번호 10-2912012

(24) 등록일자 2026년01월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 10/25 (2021.01) B23K 26/20 (2026.01)

B33Y 10/00 (2015.01) C22C 14/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B22F 10/25 (2023.08)

B23K 26/20 (2026.01)

(21) 출원번호 10-2022-0184260

(22) 출원일자 2022년12월26일

심사청구일자 2022년12월26일

(65) 공개번호 10-2024-0102323

(43) 공개일자 2024년07월03일

(56) 선행기술조사문헌

KR102196007 B1*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 2 항

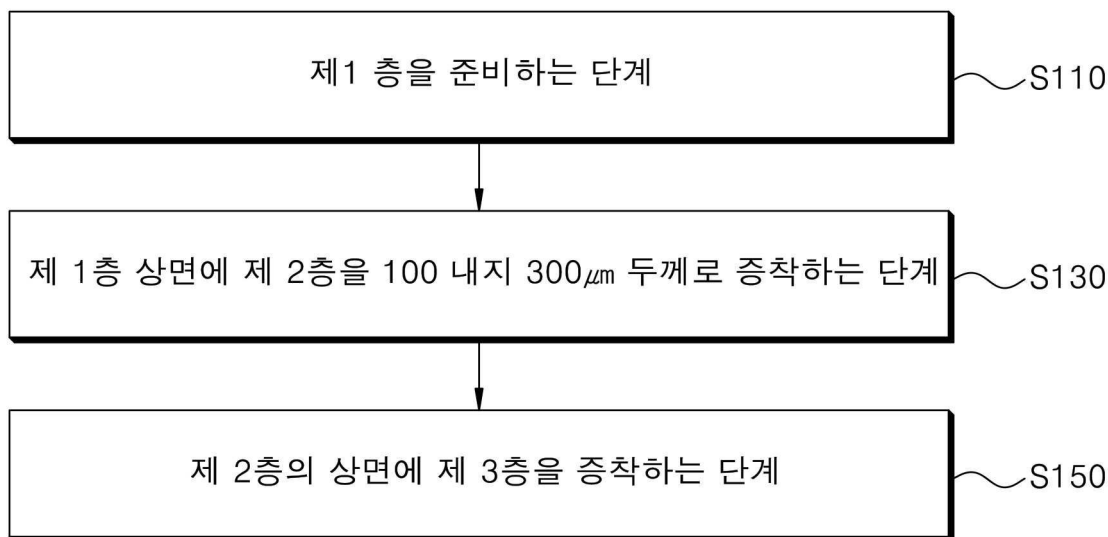
심사관 : 이민우

(54) 발명의 명칭 3D 프린팅을 이용한 티타늄 합금과 철강의 이중금속간 접합방법

(57) 요약

본 명세서는 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 선택되는 어느 하나를 포함하는 제1 금속층을 준비하는 단계, 상기 제1 금속층 상면에 바나듐을 포함하는 중간층을 레이저를 이용하여 100 내지 350 μ m 두께로 증착하는 단계 및 상기 중간층 상면에 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 상기 제1 금속층과 다른 금속을 포함하는 제2 금속층을 레이저를 이용하여 증착하는 단계를 포함하는, 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B33Y 10/00 (2013.01)

C22C 14/00 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR101981625 B1

KR102130770 B1

KR1020170068065 A

KR1020220033173 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711169986

과제번호 2021R1A2B5B01002063

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)

연구과제명 적층제조 기술을 이용한 고기능성 다중소재 금속 구조물 설계 및 제조

기 여 율 1/1

과제수행기관명 한밭대학교

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 선택되는 어느 하나를 포함하는 제1 금속층을 준비하는 단계;

상기 제1 금속층 상면에 순수 바나듐으로 이루어진 중간층을 레이저를 이용하여 100 내지 350 μ m 두께로 증착하는 단계; 및

상기 중간층 상면에 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 상기 제1 금속층과 다른 금속을 포함하는 제2 금속층을 레이저를 이용하여 증착하는 단계;를 포함하고,

상기 중간층 및 상기 제2 금속층은 170 내지 250W의 레이저 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 레이저 스캔 속도로 수행되는 직접 에너지 증착법(Directed Energy Deposition-Processed)에 의해 증착되고,

상기 제1 금속층에 상기 중간층 및 상기 제2 금속층이 증착된 접합체는 상온에서의 인장 강도가 500 내지 800MPa 이고, 비커스 경도가 350 내지 600HV인, 3D 프린팅을 이용한 티타늄 합금과 철강의 이중금속간 접합방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 티타늄 합금은 중량%로, 알루미늄(Al) 3 내지 5, 바나듐(V) 3 내지 5 및 잔부의 티타늄(Ti)과 불가피한 불순물을 포함하는, 3D 프린팅을 이용한 티타늄 합금과 철강의 이중금속간 접합방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에 엔진 및 기계 부품 경량화 방법으로 3D 프린팅(3D printing)기술이 주목받고 있다. 특히, 티타늄(titanium)과 같은 경량/고강도 소재를 활용하기 위해 티타늄 소재를 분말화 하고 이를 3D 프린팅 기술을 통해 물체를 제조하는 방법이 연구되고 있다.

[0003] 예를 들어, 대한민국 등록특허 제10-2402081호는 티타늄을 포함하는 3D 프린팅용 분말 제조 방법을 개시하고 있으며, 대한민국 공개특허 제10-2017-0068014호에서는 3D 프린팅을 이용한 금속소재의 입체 조형방법을 개시하고 있다. 본 발명의 발명자 역시 대한민국 등록특허 제10-1981625호 및 대한민국 등록특허 제10-2130770호를 통해 3D 프린팅을 활용한 이중금속의 접합방법을 발표하였다.

[0004] 하지만 상기의 방법들은 레이저를 출력하는 방법이 서로 다르고, 3D 구조물의 각 층의 두께와 이 때의 레이저 빔 출력, 레이저 스캔 속도를 정량적으로 비교한 발명이 아직 연구되지 않아 레이저 출력 조건을 최적화한 방법

이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-2402081호 (2022.05.20.)
 (특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2017-0068014호(2017.06.19.)
 (특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-1981625호 (2019.05.17.)
 (특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 제10-2130770호(2020.06.30.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 직접 에너지 증착법(Directed Energy Deposition-Processed)을 이용하여 금속 분말을 용융하고, 이 때의 레이저 빔 출력과 레이저 스캔 속도를 최적화 한 3D 프린팅을 이용한 이중 금속 접합방법을 제공제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예는 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 있어서, 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 선택되는 어느 하나를 포함하는 제1 금속층을 준비하는 단계, 상기 제1 금속층 상면에 바나듐을 포함하는 중간층을 레이저를 이용하여 100 내지 350 μ m 두께로 증착하는 단계, 및 상기 중간층 상면에 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 상기 제1 금속층과 다른 이중의 금속을 포함하는 제2 금속층을 레이저를 이용하여 증착하는 단계를 포함하는, 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 관한 것이다.
- [0008] 상기 일 실시 예에 있어서, 상기 중간층 및 상기 제2 금속층은 직접 에너지 증착법(Directed Energy Deposition-Processed)에 의해 증착될 수 있다.
- [0009] 상기 일 실시 예에 있어서, 상기 직접 에너지 증착법은, 170 내지 250W의 레이저 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 레이저 스캔 속도로 수행될 수 있다.
- [0010] 상기 일 실시 예에 있어서, 상기 적층체는 상온에서의 인장 강도가 500 내지 800MPa이고, 비커스 경도가 350 내지 600HV일 수 있다.
- [0011] 상기 일 실시 예에 있어서, 상기 티타늄 합금은 중량%로, 알루미늄(Al) 3 내지 5, 바나듐(V) 3 내지 5 및 잔부의 티타늄(Ti)과 불가피한 불순물을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0012] 본 발명의 실시예에 따른 이중금속 접합방법은, 170 내지 250W의 레이저 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 레이저 스캔 속도로 중간층을 100 내지 350 μ m 두께로 증착하여 상온에서 500 내지 800MPa 수준의 인장강도 및 350 내지 600HV의 비커스 경도를 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법을 설명하는 순서도이다.
 도 2는 본 발명의 실시예 1 ~ 2와 3 ~ 4에 따라 제조된 접합체를 설명하기 위한 도면이다.
 도 3은 본 발명의 실시예 1에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 나타낸 사진이다.
 도 4는 본 발명의 실시예 2에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 나타낸 사진이다.
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 시험편을 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예 2와 실시예 4의 접합면 미세구조를 비교한 사진이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 접합체의 경도를 비교하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 이하 본 발명에 따른 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 대하여 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다. 이 때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.
- [0016] 본 발명은 3D 프린팅 기술을 활용하여 서로 다른 조성의 금속을 접합하는 이중금속 접합방법에 관한 것이다.
- [0017] 본 발명에서 서로 다른 조성의 금속은 티타늄(Ti) 또는 스테인리스 강(Stainless Steel)을 포함하는 금속층을 의미한다. 구체적으로, 본 발명은 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중에서 선택되는 어느 하나로 제1 금속층을 형성하고, 제1 금속층 위에 레이저를 이용하여 중간층을 3D 프린팅 할 수 있으며, 상기 중간층 위에 상기 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 상기 제1 금속층과 다른 조성의 제2 금속층을 증착 할 수 있다. 이 때, 상기 제1 금속층은 기 제조된 기판을 사용할 수 있으나, 이에 한정되지 않으며, 제2 금속층과 동일하게 소정의 기판 위에 3D 프린팅으로 증착된 금속층일 수 있다.
- [0018] 실시예에 따르면, 상기 티타늄 합금은 중량%로, 알루미늄(Al) 3 내지 5, 바나듐(V) 3 내지 5 및 잔부의 티타늄(Ti)과 불가피한 불순물로 이루어진 티타늄 합금을 포함할 수 있으며, 더욱 더 바람직하게는 Ti-6Al-4V를 포함할 수 있으나 이에 한정되지 않는다. 아울러, 상기 스테인리스 강(Stainless Steel)은 17-4PH 스테인리스 합금을 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0019] 실시예에 따르면, 상기 중간층은 바나듐(V)을 포함할 수 있으며, 더욱 바람직하게는 순도 99.9 % 이상의 바나듐을 레이저로 용해한 후 3D 프린팅 한 금속층 더욱 더 바람직하게는 바나듐 분말을 레이저 빔의 집중된 열에너지로 용해하여 증착하는 직접 에너지 증착법(Directed Energy Deposition; DED)에 의해 증착된 금속층으로 구현될 수 있다.
- [0020] 즉, 본 발명은 티타늄(Ti) 또는 스테인리스 강(Stainless Steel)을 포함하는 제1 금속층 위에 3D 프린팅을 이용하여 바나듐(V) 중간층을 증착하고, 상기 중간층 위에 티타늄(Ti) 또는 스테인리스 강(Stainless Steel) 중 제1 금속층과 다른 조성의 제2 금속층을 3D 프린팅을 이용하여 증착할 수 있다.
- [0021] 예를 들어, 상기 제1 금속층이 Ti-6Al-4V 인 경우, 상기 제1 금속층, 중간층 및 제2 금속층이 Ti-6Al-4V / V / 17-4PH SS 순으로 순차적으로 증착될 수 있으며, 상기 제1 금속층이 17-4PH SS / V / Ti-6Al-4V 순으로 순차적으로 증착될 수 있다.
- [0022] 이상 본 발명의 구성에 대해 설명하였다. 이하, 본 발명의 접합방법에 대해 더욱 구체적으로 설명한다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법을 설명하는 순서도이다.
- [0024] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이중금속 접합방법(S100)은 티타늄 또는 스테인리스 강 중 선택되는 어느 하나를 포함하는 제1 금속층을 준비하는 단계(S110), 상기 제1 금속층 상면에 바나듐을 포함하는 중간층을 레이저를 이용하여 100 내지 350 μ m 두께로 증착하는 단계(S130) 및 상기 중간층 상면에 티타늄 또는 스테인리스 강 중 상기 제1 금속층과 다른 이중의 금속을 포함하는 제2 금속층을 레이저를 이용하여 증착하는 단계(S150)을 포함할 수 있다.
- [0025] S110
- [0026] 상기 S110 단계에서는 제1 금속층을 준비할 수 있다. 실시예에 따르면, 상기 제1 금속층의 조성은 앞서 설명했으므로 생략하도록 한다. 이하 본 명세서에서는 상기 제1 금속층이 Ti-6Al-4V, 후술할 제2 금속층이 17-4PH SS 인 것으로 예를 들어 설명하겠으나, 이에 한정되지 않으며, 제1 금속층이 17-4PH SS, 제2 금속층이 Ti-6Al-4V로 변형할 수 있음은 자명하다.
- [0027] S130

- [0028] 상기 S130 단계에서는 제1 금속층 상면에 바나듐을 포함하는 중간층을 증착할 수 있다. 실시 예에 따르면, 상기 중간층은 직접 에너지 증착법(DED)에 의해 100 내지 350 μ m 두께로 증착될 수 있다.
- [0029] 실시 예에 따르면, 상기 중간층의 두께가 100 μ m 미만이면, 상기 바나듐(V)층이 지나치게 적어 제2 금속층에 포함된 철(Fe)이 중간층에 확산되어, 제1 금속층에서 확산된 Ti과 결합하여 TiFe 또는 TiFe₂의 금속간 화합물이 발생될 수 있다. 상기 금속간 화합물은 취성이 매우 강하고 계면 에너지가 높아 취성 박리 현상에 원인이 된다.
- [0030] 반대로, 상기 중간층의 두께가 350 μ m를 초과하면, 중간층 증착에 요구되는 레이저 빔 출력이 지나치게 증가하여 중간층에 기공이 형성될 수 있으며, 중간층 증착 과정에서 제1 금속층의 Ti가 지나치게 확산되어 TiFe 또는 TiFe₂의 금속간 화합물이 발생될 수 있다. 이러한 이유로, 상기 중간층의 두께는 100 내지 350 μ m, 더욱 바람직하게는 300 내지 350 μ m으로 형성될 수 있다.
- [0031] 실시 예에 따르면, 상기 중간층은 직접 에너지 증착법을 기반으로, 170 내지 250W의 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 스캔 속도의 레이저에 의해 3D 프린팅 될 수 있다.
- [0032] 상기 중간층을 형성하기 위한 빔 출력이 170W미만이면, 중간층 증착에 요구되는 레이저 빔 출력이 부족하여 중간층이 형성되지 못하며, 빔 출력이 250W를 초과하면 레이저 빔 출력이 지나치게 증가하여 기공이 형성되거나 TiFe 또는 TiFe₂의 금속간 화합물이 발생될 수 있다, 이러한 이유로 빔 출력은 170 내지 250W 더욱 바람직하게는 200 내지 230W일 수 있다.
- [0033] 스캔 속도가 400mm/min 미만이면, 중간층에 가해지는 레이저 빔 출력이 지나치게 증가하여 기공이 형성되거나 TiFe 또는 TiFe₂의 금속간 화합물이 발생될 수 있으며, 스캔 속도가 500mm/min를 초과하면 중간층이 충분히 형성되지 않아 박리가 발생할 수 있다.
- [0034] 이 외, 상기 중간층은 직접 에너지 증착법을 기반으로, 레이저 빔 사이즈(spot size)가 0.5 내지 1.5mm, 레이저 스캐닝 간격(hatch spacing)은 0.1 내지 0.5mm 인 조건에서 수행될 수 있으며, 레이저와 동일한 축 방향으로 아르곤 보호 가스를 5 내지 20L/min로 주입한 상태에서 수행될 수 있다.
- [0035] S150
- [0036] 상기 S150 단계에서는 중간층 상면에 제2 금속층을 레이저를 이용하여 증착하여 접합체를 제조할 수 있다. 이 때, 상기 제2 금속층은 티타늄 합금 또는 스테인리스 합금 중 상기 제1 금속층과 서로 다른 금속을 포함할 수 있다. 본 명세서에서는 상기 제1 금속층이 Ti-6Al-4V, 후술할 제2 금속층이 17-4PH SS인 것으로 예를 들어 설명하겠으나, 이에 한정되지 않으며, 제1 금속층이 17-4PH SS, 제2 금속층이 Ti-6Al-4V로 변형할 수 있음은 자명하다.
- [0037] 실시 예에 따르면, 상기 제2 금속층은 상기 중간층과 동일하게 직접 에너지 증착법을 기반으로, 170 내지 250W의 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 스캔 속도, 0.5 내지 1.5mm의 레이저 빔 사이즈(spot size), 0.1 내지 0.5mm 레이저 스캐닝 간격(hatch spacing)에서 수행될 수 있으며, 레이저와 동일한 축 방향으로 아르곤 보호 가스를 5 내지 20L/min로 주입한 상태에서 수행될 수 있다.
- [0038] 이하, 실시예를 통해 본 발명에 따른 3D 프린팅을 이용한 이중금속 접합방법에 대하여 더욱 상세히 설명한다. 다만 하기 실시예는 본 발명을 상세히 설명하기 위한 하나의 참조일 뿐 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 여러 형태로 구현될 수 있다.
- [0039] 또한 달리 정의되지 않은 한, 모든 기술적 용어 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 당업자 중 하나에 의해 일반적으로 이해되는 의미와 동일한 의미를 갖는다. 본원에서 설명에 사용되는 용어는 단지 특정 실시예를 효과적으로 기술하기 위함이고 본 발명을 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 또한 명세서에서 특별히 기재하지 않은 첨가물의 단위는 원자%일 수 있다.
- [0040] 도 2는 본 발명의 실시예 1 ~ 2와 3 ~ 4에 따라 제조된 접합체를 설명하기 위한 도면이다.
- [0041] [실시예 1 ~ 2, 비교예 1 ~ 2] Ti-6Al-4V / V / 17-4PH 순서로 접합되는 이중금속 접합체
- [0042] 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)으로 이루어진 제1 금속층을 준비한다. 상기 제1 금속층 상면에 직접 에너지 증착법(DED)에 의해 중간층을 형성하였다. 구체적으로, 상기 제1 금속층 1 내지 2mm 위치에서 레이저 빔 생성기를 위치한 후, 제1 금속층에 레이저를 조사하여 국부적인 용융풀을 형성시킨 뒤, 용융풀에 평균입도 50 내지 150 μ m의 순수 바나듐(V) 분말을 공급하여 적층하였다. 이 때, 직접 에너지 증착법의 조건은 150 내지 300W의 빔 출력을

가지며, 0.9mm의 빔 사이즈(spot size)를 가진 레이저 빔 생성기를 0.3 mm 간격으로 480mm/min로 스캔하여 12 x 30 mm² 면적에 하기 표 1과 같은 두께로 중간층을 증착하였다. 이 과정에서 99.95%의 아르곤 보호 가스를 레이저 빔과 동축으로 7.5L/min 주입하였다. 레이저 빔 출력은 하기 표 1과 같다.

[0043] 이 후, 직접 에너지 증착법에 의해 17-4PH로 이루어진 제2 금속층을 중간층 상면에 증착하여 접합체를 제조하였다. 상기 제2 금속층은 빔 출력을 180W로 고정한 것 외 모든 조건을 중간층과 동일하게 수행하였으며, 10 x 25 mm² 면적에 소정 높이로 제2 금속층을 증착하였다. 상기 제1, 제2 실시예 및 제1, 제2 비교예에 따라 제조된 접합체를 도 2(a)에 기재하였다.

[0045] [실시예 3 ~ 4, 비교예 3 ~ 4] 17-4PH / V / Ti-6Al-4V 순서로 접합되는 이중금속 접합체

[0046] 17-4PH 스테인리스 합금으로 이루어진 제1 금속층을 준비하고, 상기 제1 금속층 위에 중간층 및 Ti-6Al-4V로 이루어진 제2 금속층을 순차적으로 증착한 것 외 모든 과정을 상기 실시예 1 ~ 2와 동일하게 수행하였다. 상기 제 3, 제4 실시예 및 제3, 제4 비교예에 따라 제조된 접합체를 도 2(b)에 기재하였다.

표 1

	시편 명	접합면 조성 (제1 금속층/중간층/제2 금속층)	중간층 빔 출력	중간층 두께
[0047]	실시예 1	VTi180 Ti-6Al-4V / V / 17-4PH	180 W	118 ~ 290 μm
	실시예 2	VTi210 Ti-6Al-4V / V / 17-4PH	210 W	280 ~ 310 μm
	실시예 3	VFe180 17-4PH / V / Ti-6Al-4V	180 W	121 ~ 285 μm
	실시예 4	VFe210 17-4PH / V / Ti-6Al-4V	210 W	280 ~ 310 μm
	비교예 1	VTi150 Ti-6Al-4V / V / 17-4PH	150 W	0 ~ 80 μm
	비교예 2	VTi300 Ti-6Al-4V / V / 17-4PH	300 W	370 ~ 410 μm
	비교예 3	VFe150 17-4PH / V / Ti-6Al-4V	150 W	0 ~ 74 μm
	비교예 4	VFe300 17-4PH / V / Ti-6Al-4V	300 W	380 ~ 410 μm

[0048] 1) 미세구조 분석

[0049] 상기 실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4에 따라 제조된 접합체를 대상으로 단면을 잘라 접합면을 관찰하였으며, 50 mL HCl, 50 mL ethanol, and 5 g CuCl₂가 혼합한 용액으로 폴리싱 한 후, EDS와 EBSD가 장착된 SEM (JSM-5800, JEOL)과 TEM (Talos F200X, FEI)등을 이용하여 접합면의 미세구조를 관찰하였다.

[0050] 도 3은 본 발명의 실시예 1에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 나타낸 사진이며, 도 4는 본 발명의 실시예 2에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 나타낸 사진이다.

[0051] 도 3을 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 접합체는 중간층의 두께가 118 내지 290으로 두께가 고르지 못하고 불균일, 불규칙한 것이 확인된다. 반면에 도 4를 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 접합체는 위치별로 약간의 편차는 있으나 평균 300 μm 내외로 균일하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이는 레이저 출력이 증가하면 바나듐(V)을 안정적으로 용융하여 고른 표면 층을 가지게 된다는 것을 의미한다. 상기 중간층과 제2 금속층 사이 계면을 기준으로 각각 1/3 에 해당하는 지점을 점 2,3,4 (도 4의 7,8, 9)로 정의하여 각 부분의 조성을 측정하였다. 해당 위치에 따른 조성을 표 2에 정리하였다.

표 2

구분	위치	조성(원자%)						
		Fe	Al	Ti	Cr	V	Cu	Si
실시예 1 (VTi180)	1	69.3	-	-	20.1	8.4	1.4	0.8
	2	-	-	6.5	-	93.5	-	-
	3	-	2.4	28.0	-	69.6	-	-
	4	-	5.3	55.7	-	39.0	-	-
	5	-	7.5	81.2	-	11.3	-	-
실시예 2 (VTi210)	6	70.2	-	-	19.5	7.5	2	0.6
	7	-	-	13.6	-	86.3	-	-
	8	-	3.7	36.1	-	60.2	-	-
	9	-	5.1	46.2	-	48.7	-	-
	10	-	8.2	82.5	-	9.3	-	-

[0053] 다만, 제1 금속층의 Ti의 경우에는 일부 Ti가 중간층에 확산되어 제1 금속층과 중간층의 계면에서부터 점진적으로 감소되는 것을 알 수 있다. 특히 실시예 1은 Ti가 제1 금속층과 중간층의 계면에 55 원자% 이상 집중되어 있고, 계면에서 멀어질수록 선형적으로 감소되나, 실시예 2는 Ti가 제1 금속층과 중간층의 계면에 46 원자% 형성되고 제1 금속층과 중간층의 계면으로부터 소정 거리 이상 이격되어도 36 내지 46원자%로 일정 수준으로 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 실시예 2에 따라 제조된 접합체가 더 높은 레이저 빔 출력에 의해 Ti가 중간층에 활발히 확산되었으며, 특정 위치에 집중되지 않고 전체적으로 균일하게 확산되어 있음을 입증하는 결과이다.

[0054] Ti의 경우, 실시예 1, 실시예 2 모두 중간층이 형성된 지역(도 3의 위치 2,3,4 도 4의 위치 7,8,9)에서 적정량 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시예 1, 실시예 2 모두 Ti가 중간층으로 확산되었음을 설명해준다. 다만, 제2 금속층이 형성된 지역(도 3의 위치 1, 도 4의 위치 5)에서는 Ti가 존재하지 않는다. 이를 통해 일부 Ti가 중간층에는 확산되었으나, 제2 금속층 까지 확산되지는 않았다는 것을 알 수 있다.

[0055] 레이저 출력이 150W인 비교예 1은, 실시예 1 보다 더욱 더 두께 편차가 컸으며 일부 위치에서는 바나듐이 완전히 용해되지 않아 바나듐 층이 형성되지 않는 부분도 부분적으로 발견되었다. 그 결과 제1 금속층의 Ti와 제2 금속층의 Fe의 금속간 화합물이 형성되어, 접합면에서 박리가 쉽게 발생하였다.

[0056] 반대로, 레이저 출력이 300W인 비교예 2는, 지나친 레이저 빔 출력로 인하여 중간층 곳곳에 기공이 발생하였으며, Ti가 지나치게 확산되어 제2 금속층까지 확산되었음을 확인하였다. 그 결과 제2 금속층의 형성된 Fe와 결합하여 TiFe 또는 TiFe₂의 금속간 화합물이 발생되었음을 알 수 있다.

[0058] 2) 물성 분석

[0059] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 인장 시험편을 나타낸 도면이며, 도 6은 본 발명의 실시예 2와 실시예 4의 접합면 미세구조를 비교한 사진이고, 도 7은 본 발명의 실시 예에 따라 제조된 접합체의 경도를 비교하기 위한 그라프이다.

[0060] 상기 실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4에 따라 제조된 접합체의 물성을 분석하기 위하여 접합체의 비커스 경도와 인장강도를 측정하였다. 비커스 경도는 접합체에 200g의 하중을 10초간 주입하였을 때 결과를 측정하였으며, 인장강도는 접합체를 도 5에 명시된 규격에 따라 인장 시험편을 제조한 후, 만능시험기(5900, Instron)를 사용하여 측정하였다. 측정 결과를 하기 표 3에 기재하였다.

표 3

[0061]

	시험 명	비커스 강도	인장강도
실시예 1	VTi180	350 HV	575 MPa
실시예 2	VTi210	400 HV	700 MPa
실시예 3	VFe180	510 HV	541 MPa
실시예 4	VFe210	550 HV	517 MPa
비교예 1	VTi150	180 HV	314 MPa
비교예 2	VTi300	400 HV	426 MPa
비교예 3	VFe150	250 HV	189 MPa
비교예 4	VFe300	555 HV	372 MPa

[0062] 상기 표 3을 참조하면, 170 내지 250W의 레이저 빔 출력으로 제조된 접합체는 상온에서 500 내지 800MPa의 인장강도와 350 내지 600HV의 비커스 강도를 모두 가지고 있는 것을 확인하였다.

[0063] 더욱 더 바람직하게, 상기 제1 금속층이 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)을 포함하고, 상기 제2 금속층이 스테인리스 합금(17-4PH)을 포함한 상태에서, 제1 금속층, 중간층, 제2 금속층을 직접 에너지 증착법(DED)에 의해 순차적으로 증착한 실시예 1, 실시예 2는 인장강도가 550 내지 800MPa이며, 상기 제1 금속층이 스테인리스 합금(17-4PH)을 포함하고, 상기 제2 금속층이 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)을 포함한 실시예 3, 실시예 4는 인장강도가 상대적으로 낮은 반면, 비커스 강도가 500 내지 550HV로 우수하였다. 상기의 특성 차이가 구현된 이유는 증착 과정에서 중간층에 확산된 성분 차이 때문으로 판단된다.

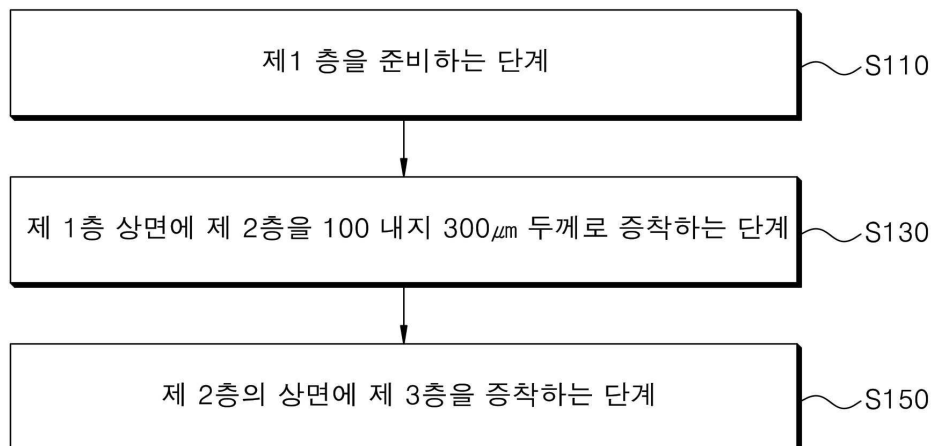
[0064] 또한, 상기 제1 금속층이 티타늄 합금(Ti-6Al-4V)을 포함하고, 상기 제2 금속층이 스테인리스 합금(17-4PH)을 포함한 상태에서, 200 내지 230W의 레이저 빔 출력으로 제조된 접합체는 상온에서의 인장 강도가 650 내지 800

MPa인 접합체를 제조할 수 있다.

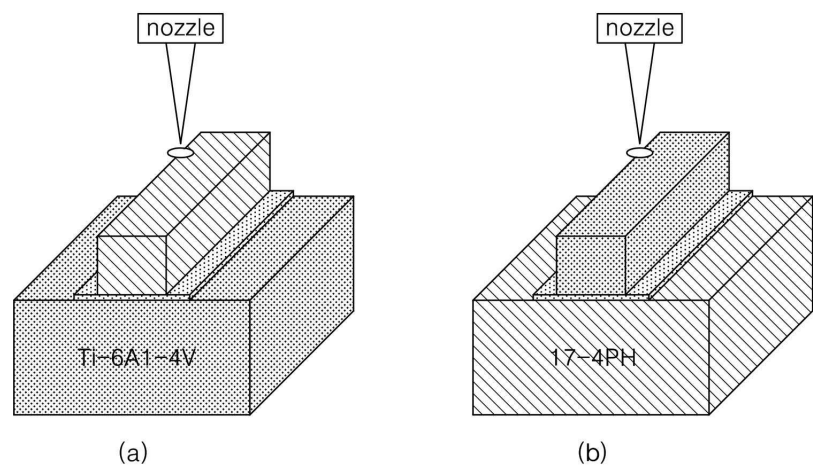
- [0065] 도 6의 (a)는 실시예 2에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 설명하기 위한 사진이고, 도 6의 (b)는 실시예 4에 따라 제조된 접합체의 접합면 미세구조를 설명하기 위한 사진이다.
- [0066] 도 6의 (a)를 참조하면, Ti-6Al-4V / V / 17-4PH 순서로 적층된 실시예 2는 중간층(V)과 제2 금속층(17-4PH SS) 사이 계면에서 Fe가 거의 측정되지 않았으나, 도 6의 (b)를 참조하면, 17-4PH / V / Ti-6Al-4V 순서로 적층된 실시예 4는 중간층(V)과 제1 금속층(17-4PH SS) 사이 계면에서 상대적으로 많은 Fe가 확산되었다. 그 결과, 중간층의 V이 제1 금속층에서 확산된 Fe와 결합하여 (Fe, V) 조성의 σ 상 고용체(solid solution)를 형성하여 경도가 증가되었다. 다만, (Fe, V) 조성의 고용체는 경도 증가 효과는 탁월하지만, 부서지기 쉽다는 특징이 있어서, Ti에 비해 강도 증가 효과가 우수하지 않다.
- [0067] 반면에 실시예 2는 앞서 설명한대로 중간층에 Ti가 적정 수준으로 확산되어 더 높은 인장 강도를 가질 수 있다. 실제로 티타늄(Ti)의 원자 반경이 바나듐(V)의 원자 반경보다 더 커서, BCC β 구조의 바나듐(V)에 티타늄(Ti)이 확산되면 티타늄(Ti)이 고용체가 되어 바나듐층의 강도를 향상시킬 수 있다.
- [0068] 즉, 본 발명은 티타늄 합금과 스테인리스 합금의 적층 순서를 통해 비커스 경도를 350 내지 400 HV로 유지한 상태에서 인장강도를 550 내지 800 MPa로 향상시킬 수 있으며, 또는 인장강도를 500 내지 550 MPa로 유지한 상태에서 비커스 경도를 500 내지 550 HV로 향상시킬 수 있다.
- [0069] 더욱 더 바람직하게 본 발명은 티타늄 합금 위에 직접 에너지 증착법을 기반으로, 200 내지 230W의 레이저 빔 출력, 400 내지 500mm/min의 스캔 속도로 바나듐(V)과 스테인리스 합금을 순차적으로 증착하여 상온에서의 인장강도가 650 내지 800MPa인 접합체를 제조할 수 있다.
- [0071] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

도면

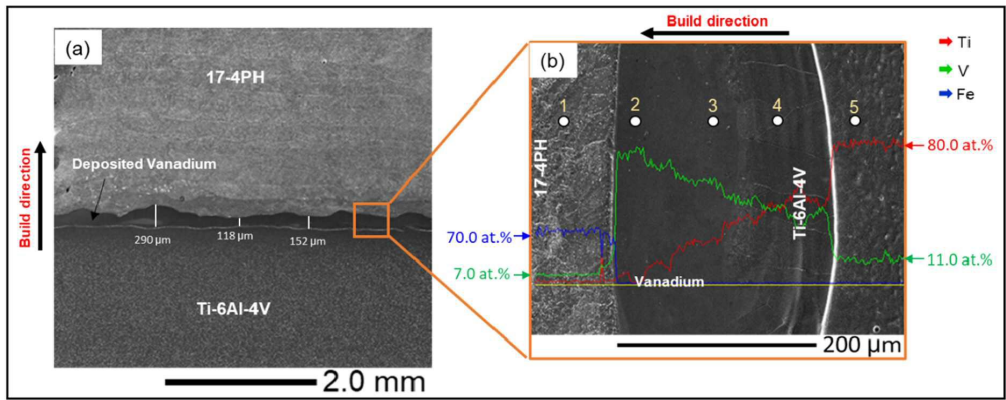
도면1



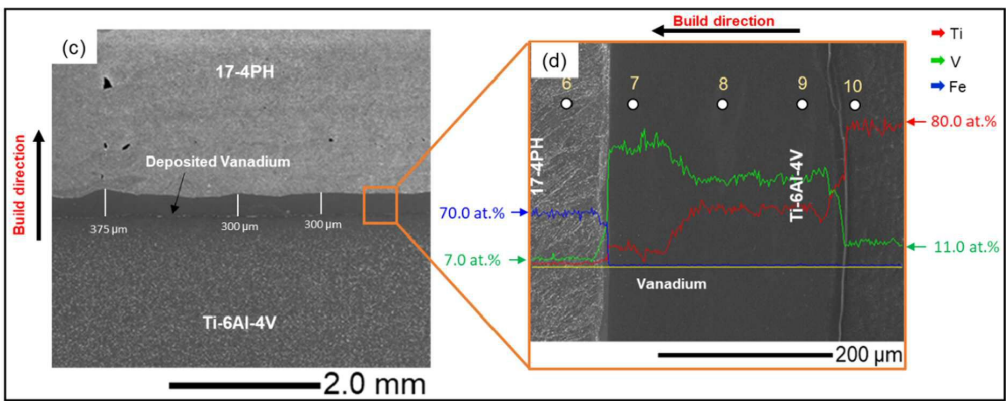
도면2



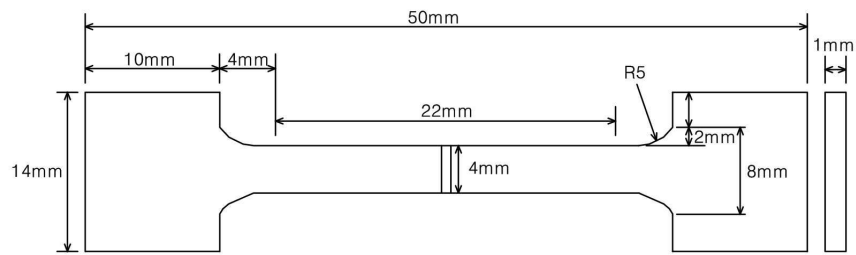
도면3



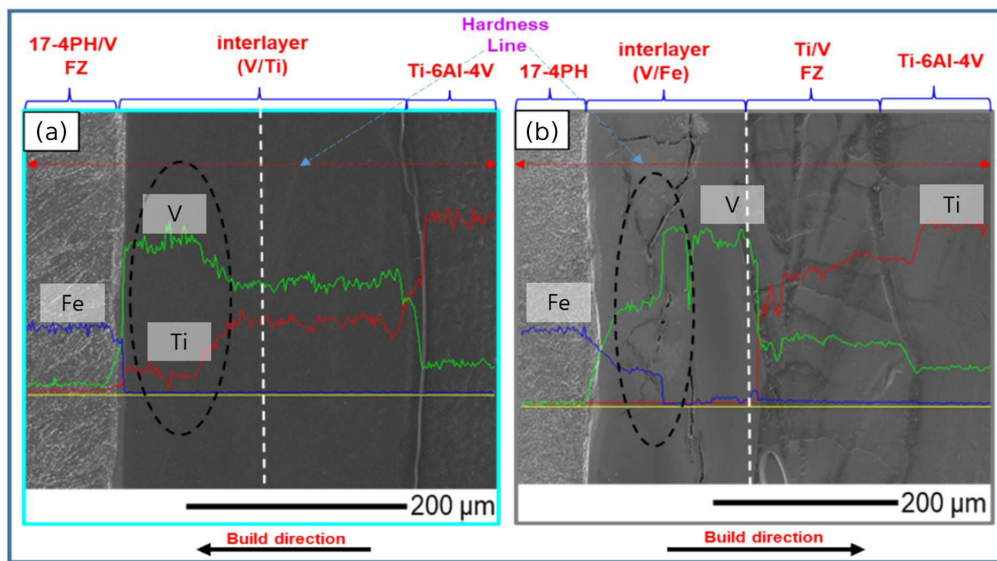
도면4



도면5



도면6



도면7

