



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0015454
(43) 공개일자 2024년02월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 10/28 (2021.01) B22F 10/73 (2021.01)
B22F 12/33 (2021.01) B33Y 10/00 (2015.01)
C22C 1/04 (2023.01) C22C 38/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B22F 10/28 (2023.08)
B22F 10/73 (2023.08)

(21) 출원번호 10-2022-0093348

(22) 출원일자 2022년07월27일

심사청구일자 2022년07월27일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

주식회사 테라웍스

대전광역시 유성구 가정북로 112 (장동, 한국엔지니어링랩)

(72) 발명자

홍성환

경기도 하남시 검단산로 108, 302(하산곡동)

하성용

세종특별자치시 대평1길 27, 106동 2401호(대평동, 해들마을1단지)

(74) 대리인

수안특허법인

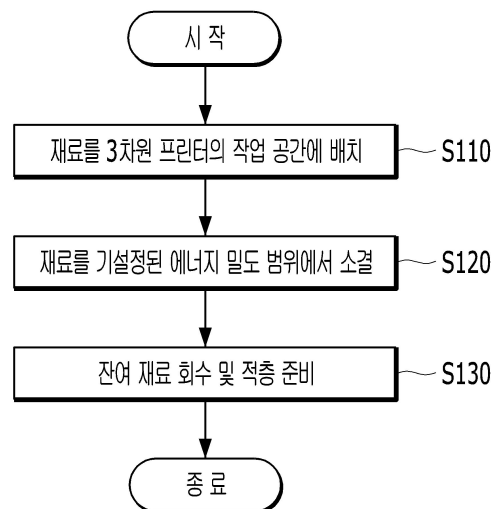
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법 및 이를 이용하여 제조된 박판

(57) 요약

본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법은 재료를 3차원 프린터의 작업 공간에 배치하는 재료 배치 단계, 상기 작업 공간에 배치된 상기 재료를 기설정된 에너지 밀도를 기초로 레이저 소결하는 재료 소결 단계, 및 상기 재료 소결 단계 이후 잔여 재료를 회수하고, 소결된 재료를 단위층의 두께만큼 하강시켜 적층을 준비하는 회수 및 적층 단계를 포함하고, 제조된 박판의 밀도는 주조에 의해 제조된 주조 박판의 밀도의 99%이상 100% 이하일 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

B22F 12/33 (2021.01)

B33Y 10/00 (2013.01)

C22C 1/04 (2023.01)

C22C 38/08 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415179628
과제번호	20013060
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발
연구과제명	성형 가공 중소중견기업 애로기술 해결 지원을 위한 SOGANG 플랫폼 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서강대학교산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1234567890
과제번호	ITAD0418210110070001000300200
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신산업진흥원
연구사업명	3D 프린팅 제조혁신 실증지원 사업
연구과제명	타이어 몰드 및 초박형 3차원 부품 제조공정 혁신
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국프리스이션웍스
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 있어서,

재료를 3차원 프린터의 작업 공간에 배치하는 재료 배치 단계;

상기 작업 공간에 배치된 상기 재료를 기설정된 에너지 밀도를 기초로 레이저 소결하는 재료 소결 단계; 및

상기 재료 소결 단계 이후 잔여 재료를 회수하고, 소결된 재료를 단위층의 두께만큼 하강시켜 적층을 준비하는 회수 및 적층 단계;를 포함하고,

제조된 박판의 밀도는 주조에 의해 제조된 주조 박판의 밀도의 99%이상 100% 이하인 것을 특징으로 하는, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 에너지 밀도는 75 J/mm³ 이상 95 J/mm³ 이하인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 에너지 밀도는 스캔 속력에 대한 레이저 강도에 비례하며,

상기 레이저 강도는 150W 이상 170W 이하인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 스캔 속력은 700 mm/s 이상 850 mm/s 이하인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 에너지 밀도는 상기 단위층의 두께의 역수에 비례하며,

상기 단위층의 두께는 35 μm 내지 40 μm인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 에너지 밀도는 상기 3차원 프린터가 상기 재료를 소결시키는 레이저 장치의 해칭 거리(hatching distance)의 역수에 비례하며,

상기 해칭 거리는 60 μm 내지 65 μm인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 재료는 마레이징강 합금 분말로 형성되며,

상기 재료는 중량%로, 철(Fe) 65이상 68.0 이하, 니켈(Ni) 20 이하, 코발트(Co) 8 이상 10이하, 몰리브데넘(Mo) 4 이상 5 이하, 및 나머지로써 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 규소(Si), 인(P) 및 불순물을 포함하는 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 제조된 박판의 압축 항복 강도는 1100 MPa 이상인 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 제조된 박판이 가지는 미립자(nano particle)은 전체 박판 대비 2.5% 이상 3.0% 이하의 비율로 형성되고,

상기 미립자의 평균 크기는 15 nm 이상 40 nm 이하로 형성되는 것을 특징으로 하는 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법.

청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서,

상기 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되고, 그 두께가 500 μm 이하로 제조되는 박판.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법 및 이를 이용하여 제조된 박판에 관한 것으로, 특정 조성을 가지는 마레이징 금속 분말을 사용하여 임계밀도를 만족하는 박판을 제조하기 위한, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법 및 이를 이용하여 제조된 박판에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지금까지의 전통적인 제조업에서, 제품은 제품의 특성에 따라 주조(casting), 단조(forging), 압연(rolling), 압출(extrusion), 인발(drawing)을 포함한 다양한 재료 가공 방식들 중 적어도 하나를 통해 생산되었다. 또한, 다양한 재료 가공 방식들을 이용하여 제조된 복수의 부품들을 결합하여 하나의 완제품이 제조되기도 한다.

[0003] 최근에, 3차원 데이터를 이용하여 제조하고자 하는 제품을 적층 가공하는 3차원 프린팅(3D printing) 분야가 주목받고 있다. 예시적으로, 3차원 프린팅을 수행하는 3차원 프린터는 3차원 데이터의 형상에 대응하여 재료를 일정한 높이로 순차적으로 적층 및 소결시켜 제품을 제조한다. 제품을 제조하기 위한 재료로, 열에 의해 용융되는 필라멘트, 또는 고체 분말이 사용될 수 있다.

[0004] 금속제의 제품을 제조하기 위한 3차원 프린팅 분야에서, 제품을 제조하기 위한 재료로 금속 분말이 사용될 수 있다. 3차원 프린터는 금속 분말을 3차원 프린터의 작업공간에 분사하고 소정 출력을 가지는 레이저로 상기 금속 분말을 용융시키고, 소결되지 않은 부분의 잔여 금속분말을 회수한다. 회수된 잔여 금속분말은 다음 층을 적층시킬 때 재사용될 수 있다.

[0005] 한편, 양질의 금속제의 박판을 제조하기 위한 최적의 재료 및 최적 제어 조건이 연구되고 있다. 경우에 따라, 3차원 프린팅에 의해 제조된 제품은 주조를 통해 제조된 제품에 비하여 밀도가 낮아 제품 신뢰성이 보장되지 않는 문제가 있다.

[0006] 따라서, 주조 공정으로 제조된 제품과 유사한 밀도를 가지는 3차원 프린팅 제품을 제조하기 위한 최적의 3차원 프린터 제어 조건이 연구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) KR 10-1873779 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 전술된 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 마레이징강의 재료를 이용하여 특정한 조건(즉, 최적 조건)을 적용하여 박판을 제조하는, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법 및 이를 이용하여 제조된 박판을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재들로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 전술한 바와 같은 목적을 달성하기 위해서, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법은, 재료를 3차원 프린터의 작업 공간에 배치하는 재료 배치 단계, 상기 작업 공간에 배치된 상기 재료를 기설정된 에너지 밀도를 기초로 레이저 소결하는 재료 소결 단계, 및 상기 재료 소결 단계 이후 잔여 재료를 회수하고, 소결된 재료를 단위층의 두께만큼 하강시켜 적층을 준비하는 회수 및 적층 단계를 포함하고, 제조된 박판의 밀도는 주조에 의해 제조된 주조 박판의 밀도의 99%이상 100% 이하일 수 있다.

[0011] 또한, 상기 에너지 밀도는 75 J/mm^3 이상 95 J/mm^3 이하일 수 있다.

[0012] 또한, 상기 에너지 밀도는 스캔 속력에 대한 레이저 강도에 비례하며, 상기 레이저 강도는 150W 이상 170W 이하일 수 있다.

[0013] 또한, 상기 스캔 속력은 700 mm/s 이상 850 mm/s 이하일 수 있다.

[0014] 또한, 상기 에너지 밀도는 상기 단위층의 두께의 역수에 비례하며, 상기 단위층의 두께는 $35 \mu\text{m}$ 내지 $40 \mu\text{m}$ 일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 에너지 밀도는 상기 3차원 프린터가 상기 재료를 소결시키는 레이저 장치의 해칭 거리(hatching distance)의 역수에 비례하며, 상기 해칭 거리는 $60 \mu\text{m}$ 내지 $65 \mu\text{m}$ 일 수 있다.

[0016] 또한, 상기 재료는 마레이징강 합금 분말로 형성되며, 상기 재료는 중량%로, 철(Fe) 65이상 68.0 이하, 니켈(Ni) 20 이하, 코발트(Co) 8 이상 10이하, 몰리브데넘(Mo) 4 이상 5 이하, 및 나머지로써 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 규소(Si), 인(P) 및 불순물을 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 제조된 박판의 압축 항복 강도는 1100 MPa 이상일 수 있다.

[0018] 또한, 상기 제조된 박판이 가지는 미립자(nano particle)은 전체 박판 대비 2.5% 이상 3.0% 이하의 비율로 형성되고, 상기 미립자의 평균 크기는 15 nm 이상 40 nm 이하로 형성될 수 있다.

[0019] 한편, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법을 이용하여 제조되는 박판은 그 두께가 $500 \mu\text{m}$ 이하로 제조될 수 있다.

발명의 효과

[0020] 전술한 과제 해결 수단과 후술할 구체적인 내용에 따르면, 본 발명의 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법을 사용함으로써, 제조되는 박판의 밀도가 주조를 통해 제조되는 제품과 유사한 밀도를 가져 완성도 높은 박판의 제조가 가능한 이점이 있다.

[0021] 또한, 완성도 높은 박판을 제조하기 위한 최적의 조건을 적용함으로써, 과도하거나 부족한 에너지를 투입하지 않고 적정량의 에너지를 가하여 박판을 제조할 수 있는 이점이 있다.

[0022] 또한, 본 발명의 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판은 일정 비율 및 일정 크기의 미립자를 가지므로, 별도의 어닐링 및 에이징 공정을 거치지 않고도 강도가 높은 박판을 제조할 수 있는 이점이 있다.

[0023] 또한, 본 발명의 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판은 주조 제품과 비교하여 높은 강도를 가지면서도 높은 인장 항복 강도, 및 연신율을 가지므로 향상된 제품 안정성을 가지는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법을 수행하는 3차원 프린터의 개략적인 사시도이다.

도 2는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판의 일 예시이다.

도 3은 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판의 다른 예시이다.

도 4는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법의 개략적인 순서도이다.

도 5는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법의 최적 조건을 도출하기 위한 다양한 실험예들을 나타낸 표이다.

도 6 및 도 7은 도 5의 다양한 실험예들에 따라 제조된 박판의 밀도를 나타낸 그래프이다.

도 8은 도 5의 다양한 실험예들의 X선 회절 도형을 나타낸 그래프이다.

도 9는 도 5의 다양한 실험예들의 광학현미경 사진을 나타낸 것이다.

도 10은 도 5의 다양한 실험예들의 주사전자현미경 저배율 사진을 나타낸 것이다.

도 11은 도 5의 다양한 실험예들의 주사전자현미경 고배율 사진을 나타낸 것이다.

도 12는 도 5의 다양한 실험예들 중 실험예 10의 투과전자현미경 명시야상 및 제한시야전자회절 도형을 나타낸 것이다.

도 13은 도 5의 다양한 실험예들 중 실험예 12의 투과전자현미경 명시야상 및 제한시야전자회절 도형을 나타낸 것이다.

도 14는 도 5의 다양한 실험예들의 비커스 경도를 나타낸 그래프이다.

도 15는 도 5의 다양한 실험예들의 압흔 사진을 나타낸 것이다.

도 16은 도 5의 다양한 실험예들의 비커스 경도를 나타낸 표이다.

도 17은 도 5의 다양한 실험예들의 항복 강도를 나타낸 표이다.

도 18은 도 5의 다양한 실험예들의 에너지 밀도에 따른 항복 강도를 나타낸 그래프이다.

도 19는 도 5의 다양한 실험예들 중 최적 조건에 부합하는 실험예 11을 적용하여 제조된 박판의 시편들을 나타낸 것이다.

도 20은 도 19의 시편들 및 상기 시편들의 비교예에 대한 인장 시험 결과를 나타낸 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명의 실시예를 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에

대한 구체적인 설명이 본 발명의 실시예에 대한 이해를 방해한다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0026] 본 발명의 실시예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 또한, 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 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0028] 도 1은 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법을 수행하는 3차원 프린터의 개략적인 사시도이다.

[0029] 도 1을 참조하면, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법을 수행하는 3차원 프린터(1)는 작업 공간을 제공하는 챔버(500)와, 챔버(500) 내부에 마련되며 평면을 형성하며 분말 공급부(512), 제품 수용부(513) 및 분말 회수홀(514)이 형성되는 베이스부(510)와, 베이스부(510)에 수직하게 배치되는 회전축을 중심으로 회전 가능하며, 회전축과 직교되는 방향으로 선형 이동 가능한 리코터부를 포함하는 리코터 어셈블리(100)와, 베이스부(510)의 분말 공급부(512)에 상하 방향으로 이동 가능하게 배치되며, 상기 금속 분말이 수용되는 분말공급 어셈블리(200)와, 제품 수용부(513)에 상하 방향으로 이동 가능하게 배치되며, 상면에 리코터 유닛이 분말공급 어셈블리(200)로부터 상기 금속 분말을 공급하는 조형 어셈블리(300)와, 조형 어셈블리(300)의 상방에 배치되며, 조형 어셈블리(300)의 상면에 적어도 하나의 금속분말 레이어가 형성된 상태에서, 레이저를 조사하여 상기 금속 분말을 소결시키는 레이저 어셈블리(400)를 포함한다. 한편, 챔버(500)는 상기 작업 공간에 불활성 기체를 공급하는 불활성 가스 공급부를 더 포함할 수 있으며, 챔버(500)는 일면에 형성되는 도어에 의하여 상기 작업 공간이 개방 또는 폐쇄될 수 있다. 분말 공급부(512), 제품 수용부(513) 및 분말 회수홀(514)은 베이스부(510)에 관통 형성될 수 있으며, 예시적으로 분말 공급부(512) 및 제품 수용부(513)는 원형으로 형성될 수 있다.

[0030] 본 발명의 개시된 실시예에 따른 3차원 프린터(1)는, 리코터부가 회전축을 중심으로 회전하며, 분말공급 어셈블리(200)의 금속 분말을 조형 어셈블리(300)의 상면에 이송한다. 그 다음, 상기 금속 분말이 도포된 조형 어셈블리(300)의 상면에 레이저를 조사하여, 상기 금속 분말이 원하는 패턴으로 형성되도록 하고, 이러한 과정이 반복되면서, 입체적인 제품을 형성할 수 있다.

[0032] 도 2는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판(900, 901)의 일 예시이고, 도 3은 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판(900, 902)의 다른 예시이다.

[0033] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명에 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판(900, 901, 902)들이 도시된다. 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판(900)은 도 2에 도시된 바와 같이 판형 형상을 가지는 박판(901)일 수도 있고, 절곡 형상을 가지는 박판(902)일 수도 있다. 예시적으로, 상기 박판(900, 901, 902)은 약 500 μm 이하의 초박판일 수 있다. 상기 박판(900, 901, 902)을 제조하기 위해, 전술한 3차원 프린터(1)는 금속층을 소결 및 적층시킬 수 있으며, 이에 따라 제조된 박판(900)은 일정한 임계값 이상의 밀도를 가져야 한다. 보다 상세하게는, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판은 주조(casting) 방법에 의해 제조된 박판과 거의 동일하거나 근접한 특성을 가질 수 있으며, 이에 따라 주조 방법에 의해 제조된 박판을 대체할 수 있어야 한다. 따라서, 주조 방법에 의해 제조된 박판을 기준으로, 소정 기준을 만족하는 3차원 프린팅된 박판을 제조하기 위한 3차원 프린팅 방법이 제안된다.

[0035] 이하에서는, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 대해 설명한다.

- [0036] 도 4는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법의 개략적인 순서도이다.
- [0037] 도 4를 참조하면, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법은 재료 배치 단계(S110)를 포함한다. 재료 배치 단계(S110)에서, 3차원 프린터는 재료를 3차원 프린터의 작업 공간인 챔버에 배치할 수 있다. 상기 3차원 프린터의 작업 공간은 재료의 산화를 최소화하기 위해 불활성기체로 충전될 수 있다. 예시적으로, 상기 불활성기체는 네온(N)일 수 있으나, 반드시 나열된 예시에 한정되지는 않는다.
- [0038] 상기 재료는 레이저 소결이 가능하며, 주조 금속 제품을 대체할 수 있는 금속 재료일 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 재료는 금속 분말일 수 있으며, 상기 금속 분말은 작업 공간에 분말 상태로 분배될 수 있다.
- [0039] 재료가 배치된 후, 재료 소결 단계(S120)가 수행될 수 있다. 재료 소결 단계는 재료 배치 단계(S110)에서 작업 공간에 배치 및 분배된 재료를 전술한 레이저 어셈블리(도 1의 400)로 레이저 소결하는 것일 수 있다. 상기 재료는 레이저 어셈블리(400)에서 조사되는 레이저의 에너지에 의해, 고체 분말 상태에서 열적 활성화 과정을 거쳐 하나의 덩어리를 형성하도록 상호 결합(소결)될 수 있다. 이 때, 상기 재료는 기설정된 최적화된 조건이 적용된 레이저 어셈블리(400)의 동작(예를 들면, 레이저 강도, 스캔 속도, 단위층의 두께, 해칭 거리 등)에 의해 소결될 수 있다.
- [0040] 이 때, 재료 소결 단계(S120)에서 상기 재료에 가해지는 레이저가 가지는 에너지 밀도(energy density)가 최적화될 수 있다. 에너지 밀도는 단위부피당 재료에 가해지는 에너지를 나타낼 수 있다. 에너지 밀도는 재료가 소결됨으로써 완성되는 제품(즉, 박판)의 밀도와 연관된다. 에너지 밀도가 낮은 경우, 재료를 구성하는 금속 분말은 소결되지 않을 수 있으며, 소결 적층에 따른 박판 제조가 어려울 수 있다. 또한, 에너지 밀도가 높은 경우, 박판을 제조할 때 소요되는 에너지가 크게 형성되어 박판의 생산비용이 증가하는 문제가 발생할 수 있다.
- [0041] 따라서, 양질의 박판을 제조하면서 과도한 에너지 사용을 방지하기 위해, 레이저 어셈블리는 재료를 기설정된 에너지 밀도를 기초로 레이저 소결할 수 있다. 기설정된 에너지 밀도에 대해서는 후술한다.
- [0042] 재료 소결 단계(S120)가 수행된 후, 회수 및 적층 단계(S130)가 수행될 수 있다. 회수 및 적층 단계(S130)에서 3차원 프린터는 재료 소결 단계(S120) 이후 소결되지 않은 잔여 재료를 회수하고, 소결된 단위층의 두께만큼 하강시켜 적층을 준비할 수 있다. 회수 및 적층 단계(S130)에서 소결되지 않은 잔여 재료를 회수함으로써, 재료의 낭비를 방지할 수 있고, 소결된 단위층의 두께만큼 소결된 재료를 하강시켜 재료를 적층시킴으로써, 박판이 적층 형성되더라도 레이저 어셈블리가 항상 동일한 작업 공간 상 베이스부(510)에서 작업이 가능한 이점이 있다.
- [0043] 한편, 전술한 내용과 같은 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판의 밀도는 주조 공정에 의해 제조된 주조 박판(미도시)의 밀도의 99% 이상 100% 이하일 수 있다. 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판의 완성도를 보장하기 위해, 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판은 주조 박판의 밀도의 99% 이상의 밀도를 가지도록 제조되어야 한다.
- [0045] 이하에서는, 본 발명에 따른 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판의 요구조건을 달성하기 위한 최적 조건에 대해 설명한다.
- [0046] 도 5는 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강제 박판의 3차원 프린팅 방법의 최적 조건을 도출하기 위한 다양한 실험예들을 나타낸 표이고, 도 6 및 도 7은 도 5의 다양한 실험예들에 따라 제조된 박판의 밀도를 나타낸 그래프이다.
- [0047] 도 5 내지 도 7을 참조하면, 에너지 밀도 및 다양한 조건 하에서 3차원 프린팅을 수행하였을 때 제조된 박판의 실험 밀도와 주조 박판과의 밀도 비율이 도시된다. 일반적으로, 동일한 조성의 재료를 사용하여 제조된 주조 박판의 이론상 평균 밀도(ρ_{theo})는 8.05 g/cm^3 이다. 따라서, 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판의 밀도는 최소 7.97 g/cm^3 이상을 만족하여야 한다.
- [0048] 도 5에 도시된 바에 따르면, 실험 밀도가 주조 박판의 평균 밀도의 99% 이상인 실험예는 실험예 9, 실험예 10, 실험예 11, 및 실험예 12를 포함한다. 이와 같은 실험예들에 의해, 주조 박판에 근접한 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판을 제조하기 위한 최적의 에너지 밀도는 75 J/mm^3 이상 95 J/mm^3 이하일 수 있다. 기설정된 에너지 밀도를 전술한 범위 내의 에너지 밀도로 설정함으로써, 본 발명에 따른 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박

판이 주조 박판에 준하는 성질을 가지도록 제조될 수 있다.

- [0049] 도 6 및 도 7을 참조하면, 에너지 밀도가 증가함에 따라 제조된 박판의 밀도(즉, 실험 밀도)가 주조 박판의 이론상 평균 밀도에 근접하는 것을 확인할 수 있다.
- [0050] 한편, 에너지 밀도는 스캔 속력(scan speed, v)에 대한 레이저 강도(laser power, P)에 비례할 수 있다. 특히, 에너지 밀도는 레이저 강도의 크기에 비례할 수 있으며, 낮은 레이저 강도를 가지는 레이저를 재료에 조사하면 재료가 소결되지 않을 수 있다. 따라서, 박판 제조를 위한 최적의 레이저 강도는 150W 이상 170W 이하로 형성될 수 있다. 다만, 레이저 강도가 높을수록 재료 소결에 유리하나, 과도하게 높은 레이저 강도는 박판 제조를 위한 과도한 비용 소모를 유발할 수 있으므로, 170W 이하의 레이저 강도를 가지는 레이저를 재료에 조사함이 바람직할 수 있다. 도 6에 도시된 바와 같이, 레이저 강도가 증가할수록 박판의 (실험) 밀도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0051] 또한, 에너지 밀도는 스캔 속력에 대한 레이저 강도에 비례하므로, 상기 스캔 속력이 낮을수록 에너지 밀도가 증가할 수 있다. 따라서, 최적 조건을 도출하기 위한 밀도 분석 실험 결과에 따라, 박판 제조를 위한 최적의 스캔 속력은 700 mm/s 이상 850 mm/s 이하일 수 있다. 스캔 속력이 느릴수록 에너지 밀도가 증가하나, 전체적인 박판 제조 과정에서 소요되는 에너지 및 비용이 증가할 수 있고, 스캔 속력이 빠를수록 재료가 안정적으로 소결되기 전에 레이저가 지나가는 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해소하기 위해, 일정한 범위 이내의 스캔 속력을 이용하여 3차원 프린팅을 수행함이 바람직하다. 도 6에 도시된 바와 같이, 스캔 속력이 감소할수록 박판의 (실험) 밀도가 증가하는 경향을 보인다.
- [0052] 또한, 에너지 밀도는 전술한 단위층의 두께의 역수에 비례할 수 있다. 단위층의 두께란, 재료의 임의의 한 층을 소결하고 3차원 프린터가 적층을 위해 하강시키는 높이를 의미할 수 있다. 단위층의 두께가 감소할수록 에너지 밀도는 증가할 수 있다. 한편, 단위층의 두께는 35 μm 내지 40 μm 의 범위에서 형성될 수 있다.
- [0053] 또한, 에너지 밀도는 3차원 프린터가 재료를 소결시키는 레이저 장치(레이저 어셈블리)의 해칭 거리(hatching distance)의 역수에 비례할 수 있다. 해칭 거리는 레이저가 소결을 위한 이동을 수행할 때 나란한 레이저 중심간의 거리를 의미할 수 있다. 해칭 거리가 짧을수록 단위부피당 레이저 강도인 에너지 밀도가 증가하며, 해칭 거리가 길수록 에너지 밀도가 감소할 수 있다. 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판이 주조 박판을 기준으로 하는 조건을 달성하기 위해, 해칭 거리는 60 μm 내지 65 μm 의 범위에서 형성될 수 있다.
- [0055] 도 8은 도 5의 다양한 실험예들의 X선 회절 도형을 나타낸 그래프이다.
- [0056] 도 8을 참조하면, 실시한 실험예들의 XRD 분석을 수행하였을 때, 공정 조건에 따른 상변화 없이 모든 실험예에 따른 시편은 α -마르텐사이트 상으로 형성된 것을 확인할 수 있다.
- [0058] 도 9는 도 5의 다양한 실험예들의 광학현미경 사진을 나타낸 것이다.
- [0059] 도 9를 참조하면, 광학현미경 사진을 통해 각각의 실험예에 따라 제조된 박판의 미세구조를 분석할 수 있다. 제조된 박판의 미세구조를 분석한 결과, 레이저 강도가 증가함에 따라 미세 공극(micro-pore)이 감소하는 경향을 가지는 것을 확인할 수 있다. 예시적으로, 레이저 강도가 120W 내지 140W인 실험예에서, 도시된 바와 같이 시각적으로 확인할 수 있는 100 μm 이하의 크기의 기공이 다수 형성된 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 분석에 따라, 레이저 강도가 증가함에 따라 미세 공극이 감소하는 경향을 가지며, 미세 공극이 감소함에 따라 제조된 박판의 밀도가 증가할 수 있다.
- [0061] 도 10은 도 5의 다양한 실험예들의 주사전자현미경 저배율 사진을 나타낸 것이고, 도 11은 도 5의 다양한 실험예들의 주사전자현미경 고배율 사진을 나타낸 것이다.
- [0062] 도 10 및 도 11을 함께 참조하면, 주사전자현미경의 배율 사진을 확인할 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같은 밀도 조건을 만족하는 실험예 9, 실험예 10, 실험예 11, 및 실험예 12에 대응되는 배율 사진을 참고하면, 제조된 박판의 결정립 크기가 200 nm 내지 900 nm 의 크기로 형성된 것을 확인할 수 있다. 이와 같이, 결정립의 크기(grain size)가 약 1 μm 이하로 형성됨으로써, 조밀한 밀도를 가지는 박판의 제조가 가능하다.

- [0064] 도 12는 도 5의 다양한 실험예들 중 실험예 10의 투과전자현미경 명시야상 및 제한시야전자회절 도형을 나타낸 것이고, 도 13은 도 5의 다양한 실험예들 중 실험예 12의 투과전자현미경 명시야상 및 제한시야전자회절 도형을 나타낸 것이다.
- [0065] 도 12 및 도 13을 참조하면, 실험예에서의 미립자(nano particle)의 분율 및 평균 크기가 측정될 수 있다. 한편, 재료가 소결 및 적층되면서 상기 미립자가 발생할 수 있는데, 제조된 박판 내에 미립자가 일부 생성되는 경우 전체적인 박판의 강도가 증가할 수 있다. 예시적으로, 제조된 박판이 가지는 미립자는 전체 박판 대비 2.5% 이상 3.0% 이하의 비율(분율)로 형성될 수 있고, 미립자의 평균 크기는 15 nm 이상 40 nm 이하로 형성될 수 있다.
- [0066] 종래의 기술에서는 제조된 제품의 강도를 증가시키기 위한 어닐링(annealing), 에이징(aging) 공정과 같은 후처리 공정을 추가적으로 수행하였다. 그러나, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법을 사용하면, 제조된 박판 내에 미립자가 생성됨에 따라 전체적인 박판의 강도가 증가하고, 별도의 후처리 공정이 요구되지 않아 양질의 박판을 신속하게 제조할 수 있는 이점이 있다. 또한, 어닐링 공정, 에이징 공정을 수행하기 위해 필요한 장비, 공간, 비용, 및 시간이 절약되는 이점이 있다.
- [0068] 도 14는 도 5의 다양한 실험예들의 비커스 경도를 나타낸 그래프이고, 도 15는 도 5의 다양한 실험예들의 압흔 사진을 나타낸 것이며, 도 16은 도 5의 다양한 실험예들의 비커스 경도를 나타낸 표이다.
- [0069] 도 14 내지 도 16을 전체적으로 참조하면, 비커스 경도를 측정하기 위해 압입 하중 1.96N에 압입 유지시간 10초를 적용하였다. 또한, 형성상 자체의 미소경도를 평가하기 위해 기공 위치를 피해 시험이 진행되었다. 이에 따라 측정된 미소 경도 분석 결과, 모든 실험예에 따른 시편은 오차범위 내에서 약 350 HV 내지 370 HV 사이의 값을 가지는 것으로 확인되었다.
- [0071] 도 17은 도 5의 다양한 실험예들의 압축 항복 강도를 나타낸 표이고, 도 18은 도 5의 다양한 실험예들의 에너지 밀도에 따른 압축 항복 강도를 나타낸 그래프이다.
- [0072] 도 17 및 도 18을 참조하면, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판의 압축 항복 강도(Compression yield strength)는 1100 MPa 이상일 수 있다. 예시적으로, 실험예 9, 실험예 10, 실험예 11, 및 실험예 12를 참조하면, 전술한 에너지 밀도 범위에서 제조된 박판은 압축 시험에 따른 응력-변형을 평가에 의해 측정되는 압축 항복 강도 또한 높은 것으로 확인되며, 전술한 최적 조건에서 제조된 박판의 강도가 주조 박판과 비교하였을 때 일정 수준을 만족하는 것으로 평가될 수 있다. 이에 따라, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 따라 제조되는 박판의 완성도가 보장되는 이점이 있다. 도 18을 참조하면, 에너지 밀도가 증가할수록, 그리고 (실험) 밀도가 증가할수록 항복 강도가 높게 형성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0074] 한편, 박판을 제조하기 위한 상기 재료는 마레이징강 합금 분말로 형성될 수 있다. 마레이징강 합금 분말을 소결함으로써 제조되는 박판은 경화 열처리에 의해 조강력성을 발휘할 수 있으며, 고강도가 요구되는 제품의 제조에 사용될 수 있다. 본 발명에 따른 박판을 제조하기 위한 재료는, 중량%로, 철(Fe) 65이상 68.0 이하, 니켈(Ni) 20 이하, 코발트(Co) 8 이상 10이하, 몰리브데넘(Mo) 4 이상 5 이하, 및 나머지로써 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 규소(Si), 인(P) 및 불순물을 포함할 수 있다. 이와 같은 재료의 조성을 가짐으로써, 주조 박판과 동일 또는 유사한 성능을 가지는 박판의 제조가 가능하며, 고강도의 제품이 필요한 다양한 산업군에 본 발명에 따른 박판 제조를 위한 3차원 프린팅 방법 및 이에 따라 제조되는 박판이 적용될 수 있다.
- [0075] 보다 바람직하게는, 본 발명에 따른 박판을 제조하기 위한 재료는, 중량%로, 철(Fe) 66.0이상 67.0 이하, 니켈(Ni) 18.0 이상 19.0 이하, 코발트(Co) 9.0 이상 10.0이하, 몰리브데넘(Mo) 4.0 이상 5.0 이하, 알루미늄(Al) 0.05 이상 0.1 이하, 및 나머지로써 티타늄(Ti), 규소(Si), 인(P) 및 불순물을 포함할 수 있다.
- [0076] 이와 같은 조성의 마레이징 강재로 제조된 박판은 기존의 스테인리스 또는 플라스틱 재료로 제조된 판재에 비해 높은 강도를 가질 수 있고, 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 제품의 완성도가 향상되어 제품 신뢰성이 향상되

는 이점이 있다.

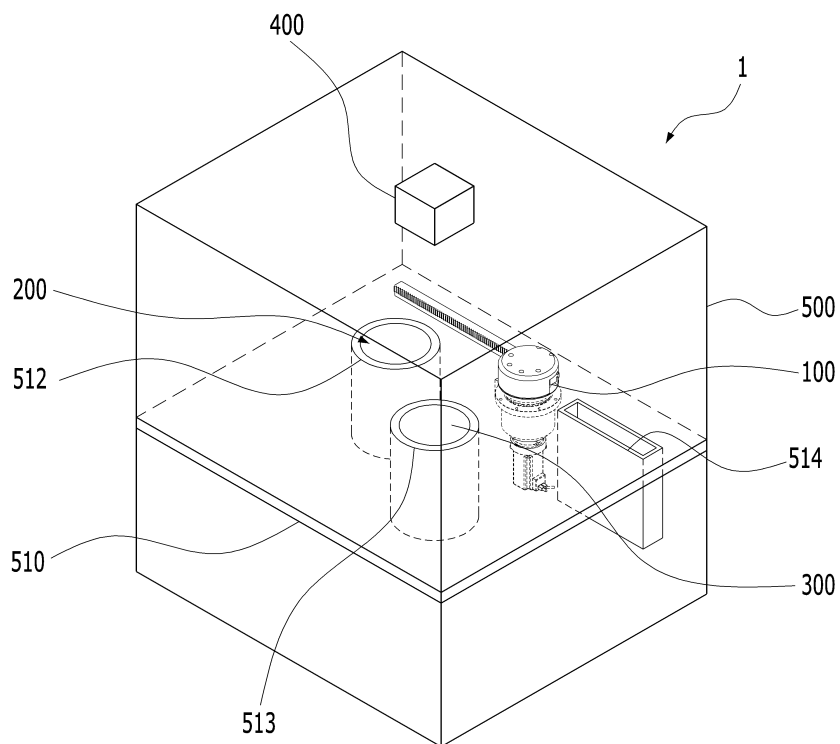
- [0078] 도 19는 도 5의 다양한 실험예들 중 최적 조건에 부합하는 실험예 11을 적용하여 제조된 박판의 시편들을 나타낸 것이고, 도 20은 도 19의 시편들 및 상기 시편들의 비교예에 대한 인장 시험 결과를 나타낸 표이다.
- [0079] 도 19 및 도 20을 참조하면, 전술한 최적 조건을 이용하여 제조된 0.4 T(즉, 400 μm)의 박판의 시편들이 제조될 수 있다. 최적 조건에 따라 제조된 박판 시편들의 강도를 확인하기 위해, 도 5의 실험예 11의 조건에 따라 제조된 3개의 시편들(911, 912, 913)과, 상기 최적 조건 이외의 조건에서 제조된 비교예의 시편(예를 들면, 실험예 4의 시편)에 대한 인장 시험을 수행하였다. 인장 시험을 수행한 결과, 실험예 11의 최적 조건에 따라 제조된 시편들(911, 912, 913)의 인장 강도는 1100 MPa 이상, 인장 항복 강도(Tension yield strength)는 1000 MPa 이상, 그리고 연신율은 5.5% 이상으로 측정되었다. 이에 비해, 비교예의 인장강도는 1000 MPa 이하, 인장 항복 강도는 900 MPa 이하, 연신율 또한 5% 이하로 측정되었다.
- [0080] 이와 같은 측정 결과에 따라, 본 발명에 따른 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 따라 제조된 박판은 비교예에 비해 높은 강도를 가지며, 높은 연신율을 가지므로 박판의 파손가능성이 감소한다. 또한, 최적화된 조건을 이용한 마레이징 강재 박판의 3차원 프린팅 방법에 의해 제조된 박판은 주조 공정에 의해 제조된 박판보다 높은 강도를 가지면서도 높은 연신율을 가지므로 본 발명에 따른 3차원 프린팅 방법에 의해 제조되는 박판의 안정성이 보장되는 이점이 있다.
- [0082] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다.
- [0083] 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

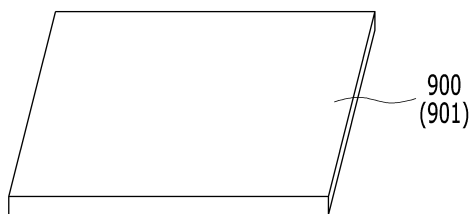
- [0085] 1: 3차원 프린터
- 900, 901, 902: 박판
- S110: 재료 배치 단계
- S120: 재료 소결 단계
- S130: 회수 및 적층 단계

도면

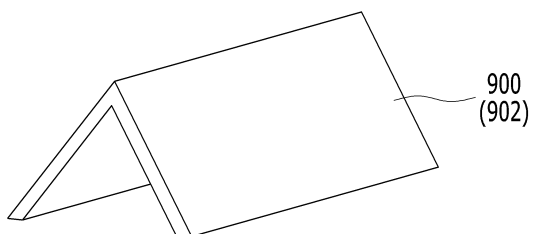
도면1



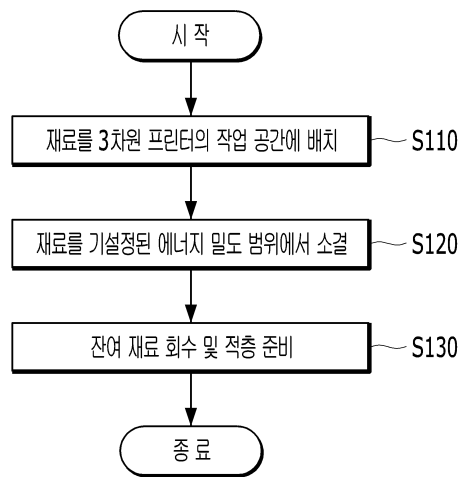
도면2



도면3



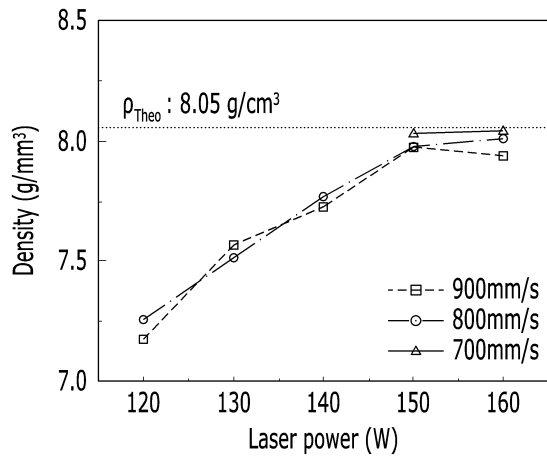
도면4



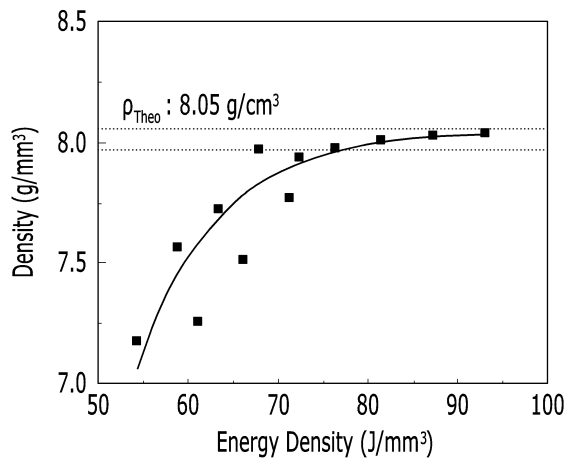
도면5

Specimen	Laser power (W)	Scan speed (mm/s)	Hatching Distance (mm)	Layer Thickness (mm)	Energy Density (J/mm ²)	Weight in air (g)	Weight in liquid (g)	Exp. density (g/cm ³)	Density (%)
실험예1	120	900	0.063	0.039	54.27	0.194	0.167	7.1758	89.14
실험예2	130	900	0.063	0.039	58.79	0.250	0.217	7.5658	93.99
실험예3	140	900	0.063	0.039	63.31	0.263	0.229	7.7248	95.96
실험예4	150	900	0.063	0.039	67.83	0.479	0.419	7.9728	99.04
실험예5	160	900	0.063	0.039	72.36	0.310	0.271	7.9382	98.61
실험예6	120	800	0.063	0.039	61.05	0.218	0.188	7.2572	90.15
실험예7	130	800	0.063	0.039	66.14	0.301	0.261	7.5151	93.36
실험예8	140	800	0.063	0.039	71.23	0.249	0.217	7.7708	96.53
실험예9	150	800	0.063	0.039	76.31	0.214	0.187	7.9755	99.07
실험예10	160	800	0.063	0.039	81.40	0.267	0.234	8.0078	99.48
실험예11	150	700	0.063	0.039	87.21	0.201	0.176	8.0294	99.74
실험예12	160	700	0.063	0.039	93.03	0.252	0.221	8.0388	99.86

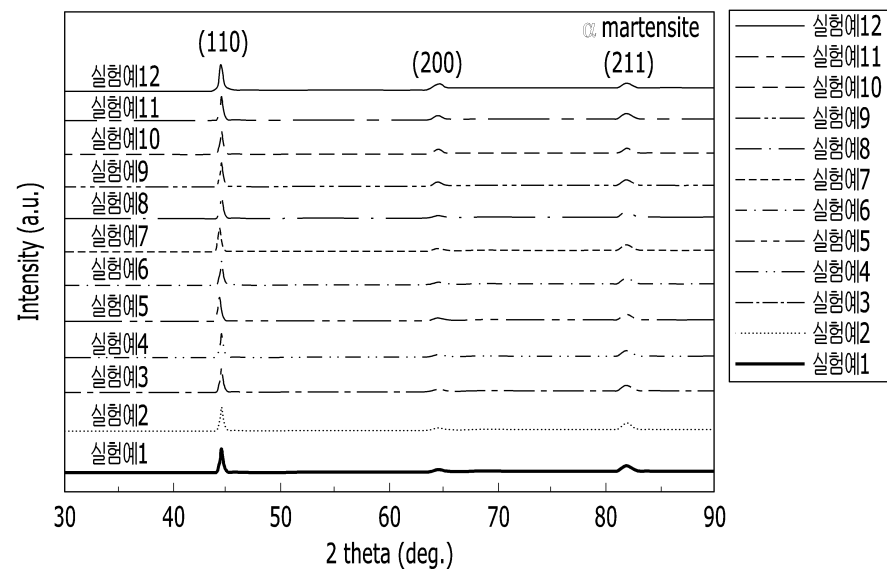
도면6



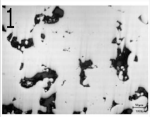
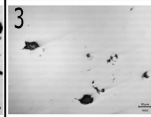
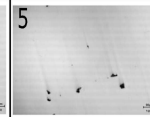
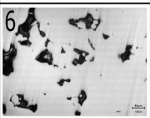
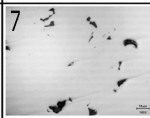
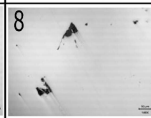
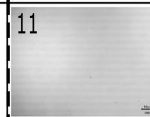
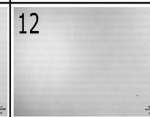
도면7



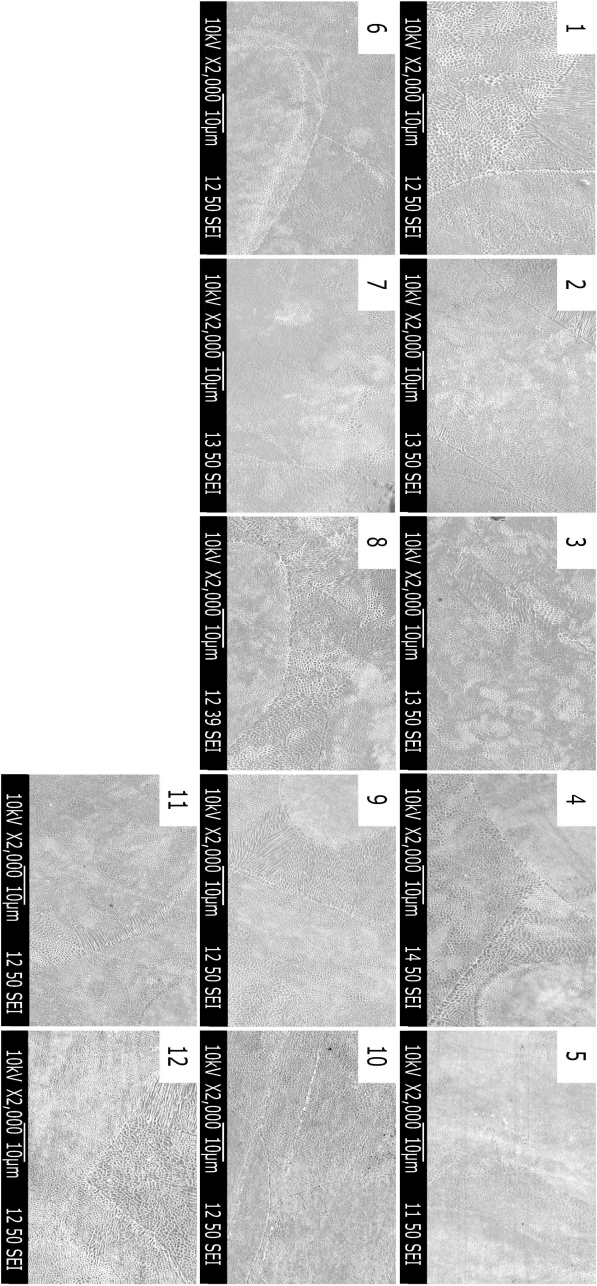
도면8



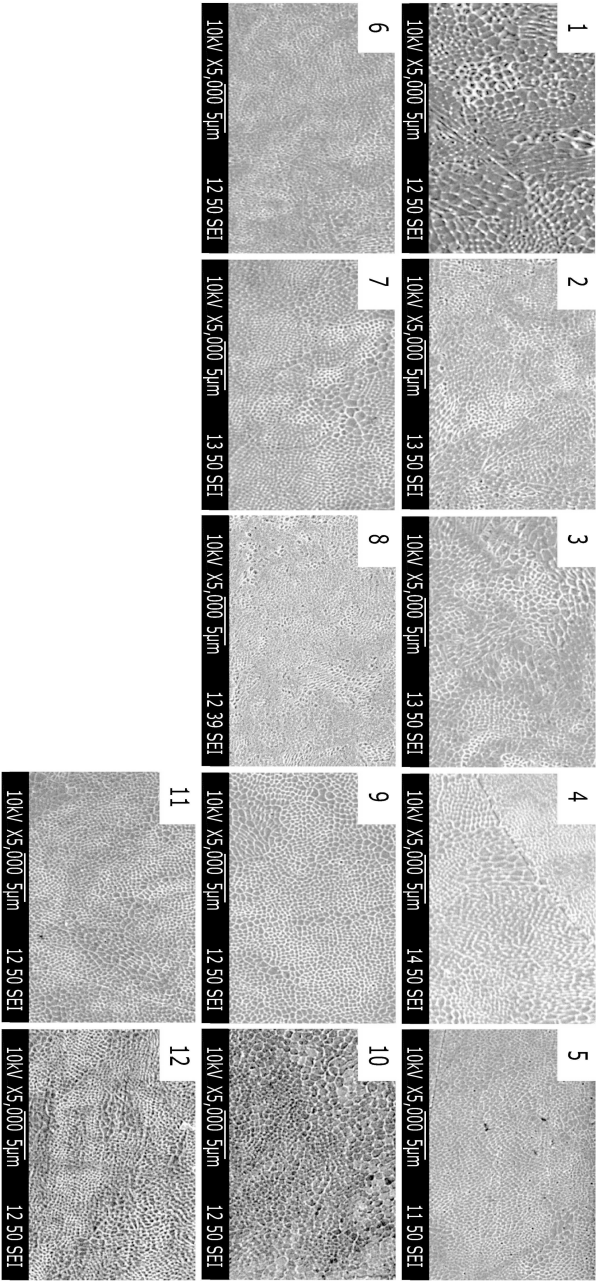
도면9

		Laser power (W)				
		120	130	140	150	160
Scan speed (mm/s)	900	1 	2 	3 	4 	5 
	800	6 	7 	8 	9 	10 
	700	N/A	N/A	N/A	11 	12 

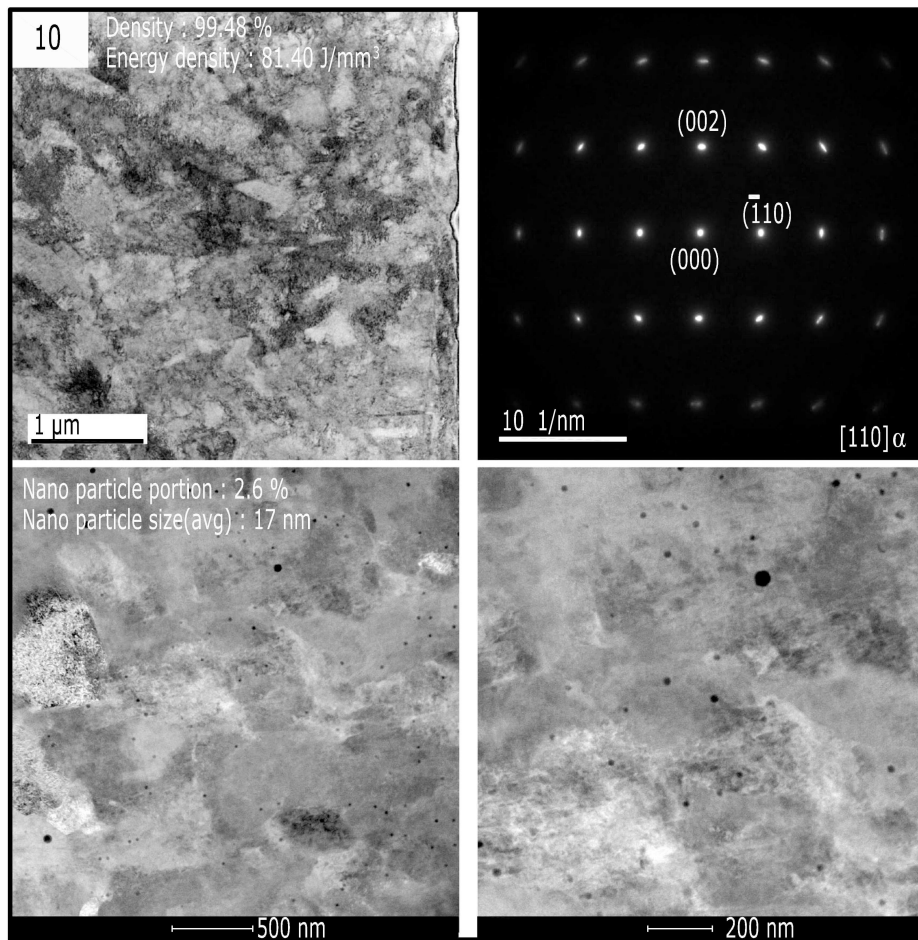
도면10



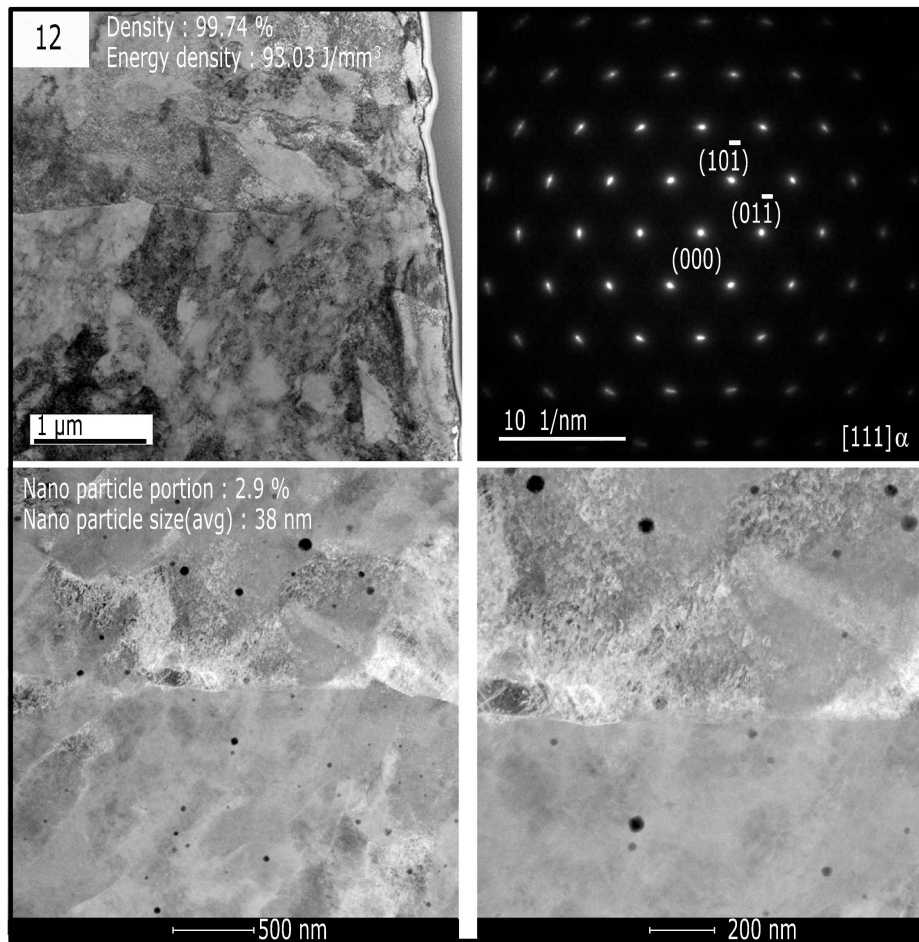
도면11



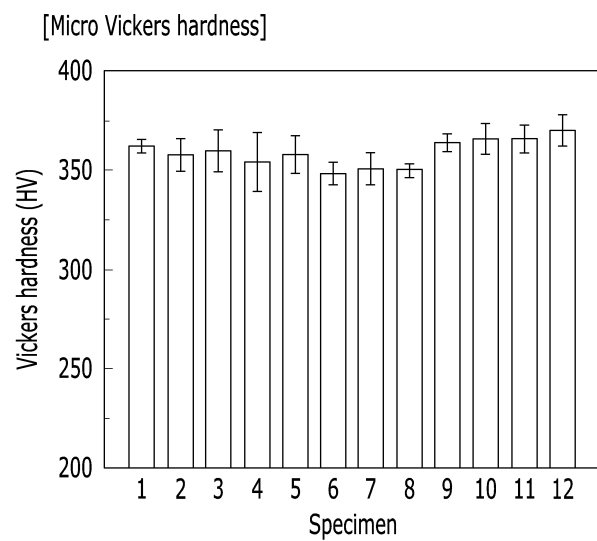
도면12



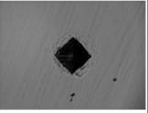
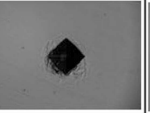
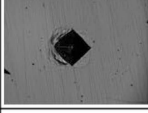
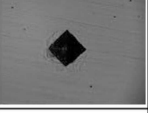
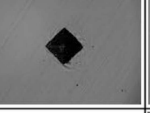
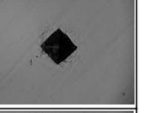
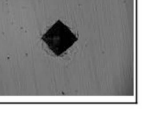
도면13



도면14



도면15

		Laser power (W)				
		120	130	140	150	160
Scan speed (mm/s)	900					
	800					
	700	N/A	N/A	N/A		

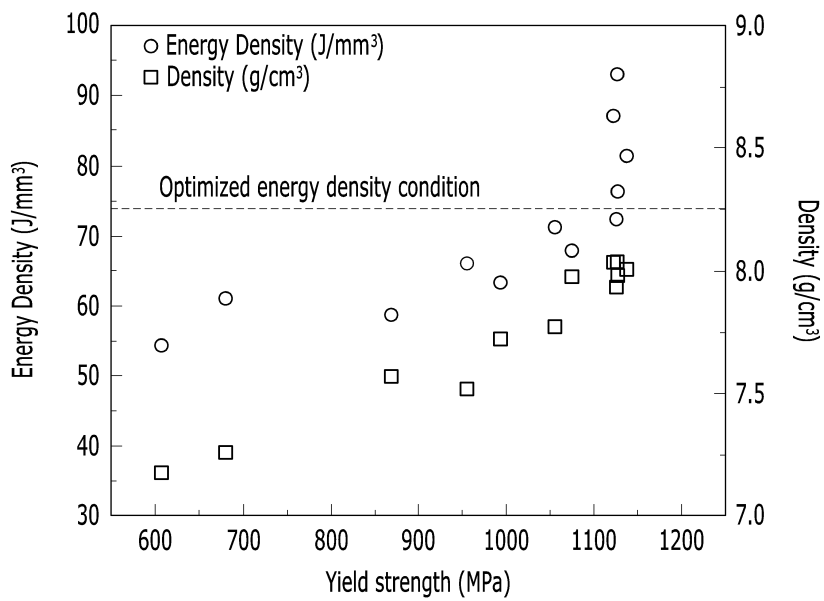
도면16

Sample No.	Manufacturing parameter		Vickers hardness (HV)
	Scan speed (mm/s)	Laser power (W)	
1	900	120	362±3.56
2	900	130	358±8.3
3	900	140	360±10.58
4	900	150	354±15.53
5	900	160	358±9.85
6	800	120	348±5.15
7	800	130	351±7.99
8	800	140	350±2.94
9	800	150	364±4.23
10	800	160	366±7.76
11	700	150	366±7.08
12	700	160	370±7.73

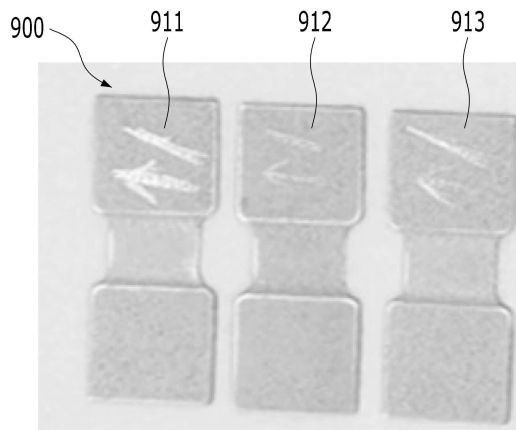
도면17

Sample No	Manufacturing parameter			Exp. density (g/cm ³)	Density (%)	Yield Strength (MPa)
	Scan speed (mm/s)	Laser power (W)	Energy Density (J/mm ³)			
1	900	120	54.27	7.1758	89.14	606.91
2	900	130	58.79	7.5658	93.99	868.6
3	900	140	63.31	7.7248	95.96	992.6
4	900	150	67.83	7.9728	99.04	1074.5
5	900	160	72.36	7.9382	98.61	1125.0
6	800	120	61.05	7.2572	90.15	680.1
7	800	130	66.14	7.5151	93.36	954.6
8	800	140	71.23	7.7708	96.53	1056.4
9	800	150	76.31	7.9755	99.07	1127.6
10	800	160	81.40	8.0078	99.48	1138.1
11	700	150	87.21	8.0294	99.74	1122.4
12	700	160	93.03	8.0388	99.86	1127.5

도면18



도면19



도면20

	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
비교예	975.8	861.9	4.32
실험예11 (1)	1164.9	1048.9	5.77
실험예11 (2)	1170.5	1043.8	6.08
실험예11 (3)	1165.5	1030.7	5.99