(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0115762
(43) 공개일자 2023년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 13/04 (2006.01) *B22F 7/02* (2006.01)
G05B 19/418 (2006.01) *G06N 3/08* (2023.01)
(52) CPC특허분류
G05B 13/048 (2013.01)
B22F 7/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0012607
(22) 출원일자 2022년01월27일
심사청구일자 2022년01월27일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
성효경
경남 진주시 진주역로96번길 15
박하음
경남 진주시 서장대로185번길 19
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김종석

전체 청구항 수 : 총 23 항

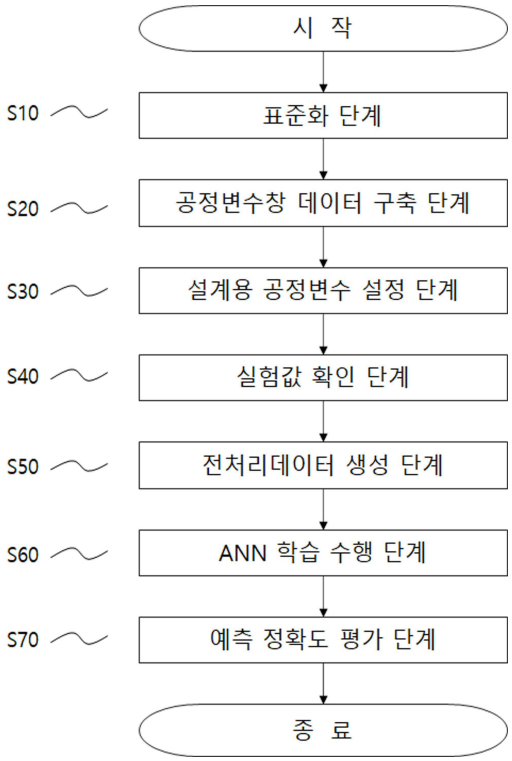
(54) 발명의 명칭 **인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 소재 적층을 위한 학습데이터 생성방법 및 이를 이용한 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치**

(57) 요 약

본 발명은 내식성이 뛰어나 항공용 소재로 활용되고 있는 CRES 합금인 STS316L 합금의 적층 방법에 관한 것으로, 인공지능을 활용하여 입력값 및 출력값을 설정하고 우수한 인장특성을 가지는 공정 조건을 제시하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



본 발명에 따른 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법은, 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 제1단계; 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 제2단계; 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 제3단계; 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 제4단계; 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 제5단계; 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 제6단계; 상기 제4단계에서 평가된 기계적 특성의 실험값과 상기 제6단계에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행된 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 제7단계;를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
C22C 38/00 (2013.01)
G05B 19/418 (2013.01)
G06N 3/08 (2023.01)

(72) 발명자
박상은
부산 강서구 가락대로 1432-12
여태형
경남 진주시 호탄길13번길 13
김정기
경남 진주시 내동로348번길 10
설재복
경남 진주시 충의로 146

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	1/1
과제수행기관명	경상대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 제1단계;

상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 제2단계;

상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 제3단계;

상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 제4단계;

상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 제5단계;

상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 제6단계;

상기 제4단계에서 평가된 기계적 특성의 실험값과 상기 제6단계에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행된 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 제7단계;를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1단계의 공정조건은,

레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정하여 표준화하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제2단계에서 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는,

에너지 밀도가 50 내지 80 J/㎟ 의 영역인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 제2단계에서 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는,

스캔속도가 600 내지 1,200 ㎜/s 이고, 레이저 전력이 80 내지 180 W 인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 항공용 금속 합금은,

STS316L인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 제4단계에서 기계적 특성 측정을 통해 확인된 실험값은,

상대밀도, 경도 및 연신율인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 제4단계에서 설계용 공정변수를 기준으로 설정한 상기 레이저 전력 및 스캔속도의 범위는,

스캔속도가 900 내지 1,100 ㎜/s 및 레이저 전력이 140 내지 180 W 인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 제5단계의 전처리데이터는,

적층방향, 입력값(Input data) 및 출력값(output data)로 분류되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 입력값(Input data)은,

레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 10

제 8항에 있어서,

상기 출력값(output data)은,

항복강도, 인장강도 및 연신율로 설정되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 제6단계에서 상기 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하기 위해 인공신경망 모형을 구축하되,

상기 인공신경망 모형은 학습률, 전체 훈련 데이터가 학습에 한 번 사용되는 주기, 신경망 층의 수, 노드의 수 및 배치 정규화를 변수로 하여 설정되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법.

청구항 12

금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 데이터표준부(10);

상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 공정변수창생성부(20);

상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 공정변수설정부(30);

상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 실험값확인부(40);

상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 전처리데이터생성부(50);

상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 데이터학습부(60);

상기 실험값확인부(40)에서 평가한 기계적 특성의 실험값과 상기 데이터학습부(60)에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행한 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 데이터평가부(70);를 포함하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 데이터표준부(10)는,

상기 공정조건을 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정하여 공정조건을 표준화하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 14

제 12항에 있어서,

상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는,

에너지 밀도가 50 내지 80 J/㎟ 의 영역인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 15

제 12항에 있어서,

상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는,

스캔속도가 600 내지 1,200 ㎜/s 및 레이저 전력이 80 내지 180 W 인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 16

제 12항에 있어서,

상기 항공용 금속 합금은

STS316L인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 17

제 12항에 있어서,

상기 실험값확인부(40)에서 기계적 특성 측정을 통해 확인한 실험값은,

상대밀도, 경도 및 연신율인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 18

제 12항에 있어서,

상기 실험값확인부(40)에서 설정한 상기 레이저 전력 및 스캔속도의 범위는,

스캔속도가 900 내지 1,100 ㎜/s 및 레이저 전력이 140 내지 180 W 인 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 19

제 12항에 있어서,

상기 전처리데이터생성부(50)는,

상기 전처리데이터를 적층방향, 입력값(Input data) 및 출력값(output data)로 분류하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 20

제 19항에 있어서,

상기 입력값(Input data)은,

레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 21

제 19항에 있어서,

상기 출력값(output data)은,

항복강도, 인장강도 및 연신율로 설정되는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 22

제 12항에 있어서,

상기 데이터학습부(60)는,

상기 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하기 위해 인공신경망 모형을 구축하되,

상기 인공신경망 모형은 학습률, 전체 훈련 데이터가 학습에 한 번 사용되는 주기, 신경망 층의 수, 노드의 수 및 배치 정규화를 변수로 하여 설정하는 것을 특징으로 하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치.

청구항 23

제 1항 내지 제 11항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 내식성이 뛰어나 항공용 소재로 활용되고 있는 CRES 합금인 STS316L 합금의 적층 방법에 관한 것으로, 인공지능을 활용하여 입력값 및 출력값을 설정하고 우수한 인장특성을 가지는 공정 조건을 제시하는 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] L-PBF(laser powder bed fusion) 방식으로 제작된 STS316L 합금에 대하여 에너지 밀도가 46 ~ 127 J/㎣ 의 범위일 경우 밀도가 99.8% 이상인 조형체를 얻을 수 있다고 밝혀진 바 있다. 많은 연구자들은 적층제조 소재의 우수한 물성을 확보하기 위하여 에너지 밀도가 50 ~ 80 J/㎣ 인 영역에서 공정변수를 최적화하고자 하는 연구를 수행하고 있다.

[0004] 적층제조 기술을 항공, 의료, 전자, 통신 분야 등 다양한 분야에 적용 시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 적층 기술에는 최적 공정조건을 설정하기 위해 방대한 양의 데이터와 오랜 시간이 요구된다는 문제점이 있다.

[0005] 본 발명은 인공지능을 활용하여 강도와 경제성이 모두 우수한 항공용 금속 신소재에 관한 것으로, 항공 산업에서 사용되는 부식저항 강철(corrosion resistant steel, 이하 CRES) 합금 적층방법을 제시하고자 한다. CRES 합금의 경우 구조적 안정성이 중요하기 때문에 우수한 항복강도 및 연신율이 요구된다. 현재까지 알려진 적층된 항공용 CRES 합금의 항복강도×연신율은 평균 11,600 (MPa %)이다. 본 발명은 인공지능을 활용하여 공정변수에 따른 기계적 특성을 예측하고, 조형된 합금의 인장 특성 평가를 실시하여 항복강도×연신율 30,000 (MPa %)을 갖는 고강도 고연신율의 항공용 CRES 합금을 개발하고자 하였다. 또한, 본 발명은 인공지능 기술을 적용하여 적층 소재와 공정조건 최적화를 위한 시간과 비용을 대폭 단축할 수 있을 것으로 예상된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국공개특허 2021-0085244

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 공정변수에 따른 인장물성 예측이 가능하여 적층제조 공정 조건 최적화에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있는 항공용 강철 소재 적층 방법을 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 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법은,

[0012] 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 제1단계;

[0013] 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 제2단계;

[0014] 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 제3단계;

[0015] 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 제4단계;

[0016] 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 제5단계;

[0017] 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 제6단계;

[0018] 상기 제4단계에서 평가된 기계적 특성의 실험값과 상기 제6단계에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행된 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 제7단계;를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 본 발명에 따른 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치는,

[0020] 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 데이터표준부(10);

[0021] 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 공정변수창생성부(20);

[0022] 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 공정변수설정부(30);

[0023] 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 실험값확인부(40);

[0024] 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 전처리데이터생성부(50);

[0025] 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 데이터학습부(60);

[0026] 상기 실험값확인부(40)에서 평가한 기계적 특성의 실험값과 상기 데이터학습부(60)에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행한 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 데이터평가부(70);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, HDD(Hard disk drive), SSD(solid state drive), USB, 광데이터 저장장치 등이 있다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

발명의 효과

[0029] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 공정변수에 따른 인장물성 예측이 가능한 인공지능 기술을 이용하여 항공용 강철 소재 적층방법을 제공할 수 있다.

[0030] 또한, 본 발명인 인공지능을 활용하여 항공용 강철 소재의 적층 공정 조건을 최적화하고 적층 공정 시 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법을 보여주는 순서도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 제2단계(S20)에서 금속 합금의 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축한 그래프(a) 및 적정 에너지 밀도에 따른 공정조건을 그래프로 확인(b)하여 공정변수창(process parameter window) 데이터와 비교하였다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따라 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수를 이용한 조형 계획도로, 스캔방향을 나타내는 도면(a)이고, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면(b)이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따라 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수에서 (a) 공정조건 1(parameter 1) 및 (b) 공정조건 2(parameter 2)로 제작된 조형물의 사진이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따라 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수에서 (a) 공정조건 1(parameter 1)로 제작된 조형물의 고배율 사진이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따라 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 제4단계(S40)에서 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 다양하게 설정한 것으로, 1차 조형을 위해 설정된 공정변수이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따라 도 7에 나타난 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 공정변수를 이용한 1차 정육면체 조형물 계획도로, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따라 도 8에 나타난 조형 계획도에 따른 정육면체 조형물의 시뮬레이션 결과(a) 및 실제 조형물의 사진(b)이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따라 도 9에 나타난 정육면체 조형물의 상대밀도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따라 도 9에 나타난 정육면체 조형물의 경도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 따라 도 7에서 설정한 1차 조형을 위해 설정된 공정변수에 따른 정육면체 조형물의 상대밀도 및 경도 측정결과이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따라 도 7에 나타난 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 공정변수를 이용한 1차 인장시편 조형물 계획도로, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따라 도 13에 나타난 조형 계획도에 따른 인장시편 조형물의 사진이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 140 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 140 W에서 측정된

인장시험 결과값이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 160 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 18은 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 160 W에서 측정된 인장시험 결과값이다.

도 19는 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 180 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 20은 본 발명의 일실시예에 따라 도 14에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 180 W에서 측정된 인장시험 결과값이다.

도 21은 본 발명의 일실시예에 따라 도 7에서 설정하여 1차 조형물에서 획득한 에너지 밀도에 따른 상대밀도 그래프(a) 및 에너지 밀도에 따른 공정조건을 그래프로 확인(b)하였다.

도 22는 본 발명의 일실시예에 따라 1차 조형물의 공정변수를 기준으로 제4단계(S40)에서 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 것으로, 2차 조형을 위해 설정된 공정변수이다.

도 23은 본 발명의 일실시예에 따라 도 22에 나타난 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 공정변수를 이용한 2차 정육면체 조형물 계획도로, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면이다.

도 24는 본 발명의 일실시예에 따라 도 23에 나타난 조형 계획도에 따른 정육면체 조형물의 시뮬레이션 결과(a) 및 실제 조형물의 사진(b)이다.

도 25는 본 발명의 일실시예에 따라 도 24에 나타난 2차 정육면체 조형물의 상대밀도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 26은 본 발명의 일실시예에 따라 도 24에 나타난 2차 정육면체 조형물의 경도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 27은 본 발명의 일실시예에 따라 도 22에서 설정한 2차 조형을 위해 설정된 공정변수에 따른 정육면체 조형물의 상대밀도 및 경도 측정결과이다.

도 28은 본 발명의 일실시예에 따라 1차 및 2차 조형물의 공정변수를 기준으로 제4단계(S40)에서 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 것으로, 3차 조형을 위해 설정된 공정변수이다.

도 29는 본 발명의 일실시예에 따라 도 28에 나타난 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정한 공정변수를 이용한 3차 인장시편 조형물 계획도로, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면이다.

도 30은 본 발명의 일실시예에 따라 도 29에 나타난 조형 계획도에 따른 인장시편 조형물의 사진이다.

도 31은 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 3차 정육면체 조형물의 상대밀도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 32는 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 3차 정육면체 조형물의 경도 측정결과로, 각 시편의 에너지 밀도의 상대적인 비교(a) 및 그래프(b)이다.

도 33은 본 발명의 일실시예에 따라 도 28에서 설정한 3차 조형을 위해 설정된 공정변수에 따른 정육면체 조형물의 상대밀도 및 경도 측정결과이다.

도 34는 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 140 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 35는 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 140 W에서 측정된 인장시험 결과값이다.

도 36은 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 160 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 37는 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 160 W에서 측정된 인장시험 결과값이다.

도 38은 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 180 W에서 측정된 인장시험 결과 그래프(a) 및 인장시험 결과 사진(b)이다.

도 39는 본 발명의 일실시예에 따라 도 30에 나타난 인장시편 조형물을 이용하여 레이저 전력 180 W에서 측정된 인장시험 결과값이다.

도 40은 본 발명의 일실시예에 따라 제5단계(S50)의 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 나타낸 도면이다.

도 41은 본 발명의 일실시예에 따라 제7단계(S70)의 예측 정확도를 평가하여 나타낸 것으로, (a)는 제6단계에서 상기 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하기 위해 설정된 셋팅값이고, (b)는 트레이닝 셋(Training set)의 실험값(Experimental) 및 예측값(ANN predicted)과 테스트 셋(Test set)의 실험값(Experimental) 및 예측값(ANN predicted)을 비교하여 나타냈다.

도 42는 도 41의 트레이닝 셋(Training set)의 실험값(Experimental) 및 예측값(ANN predicted)과 테스트 셋(Test set)의 실험값(Experimental) 및 예측값(ANN predicted)에 대한 그래프이다.

도 43은 본 발명에 따른 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치의 구성을 나타낸 구성도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 본 발명에 대한 해결하고자 하는 과제, 과제의 해결 수단, 발명의 효과를 포함한 구체적인 사항들은 다음에 기재할 실시 예 및 도면들에 포함되어 있다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0038] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0040] 본 발명인 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성 장치는, 도 43에 기재된 바와 같이, 데이터표준부(10), 공정변수창생성부(20), 공정변수설정부(30), 실험값확인부(40), 전처리데이터생성부(50), 데이터학습부(60) 및 데이터평가부(70)를 포함하여 구성된다.

[0041] 먼저, 상기 데이터표준부(10)는 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화한다. 상기 공정조건은 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정하여 공정조건을 표준화한다.

[0042] 상기 데이터표준부(10)는 금속 합금 데이터를 수집하고, 특히 CRES 합금의 공정조건 데이터를 수집하여 표준화한다. 상기 데이터표준부(10)가 정리한 데이터는 도 2(a)와 같이 그래프로 나타낼 수 있다.

[0044] 다음으로, 상기 공정변수창 생성부(20)는 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축한다.

[0045] 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는 에너지 밀도가 50 내지 80 J/㎟ 의 영역인 것이 바람직하다. 또한, 상기 에너지 밀도 영역에서 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는 스캔속도가 600 내지 1,200 ㎜/s 이고, 레이저 전력이 80 내지 180 W 인 것을 특징으로 한다.

[0046] 에너지 밀도가 CRES 합금의 적층 조형체에 미치는 영향은 매우 중요하다. 에너지 밀도가 낮을 경우 분말이 충분히 용융될 만큼 레이저가 조사되지 못하고, 상대적으로 낮은 냉각속도를 가져 조대한 주상정 결정립이 형성된다. 또한, 금속 분말이 완전히 녹지 않아 미용융 상태의 분말이 존재하고, 미세조직에서는 융합불량(lack of fusion)이 관찰될 수 있다. 한편, 에너지 밀도가 높을 경우 상대적으로 빠른 냉각속도로 인해 미세한 주상정 결정립이 형성된다고 알려져 있으며, 기체가 용융풀 내부에 존재하게 되면서 기공(gas pore)이 형성되며 조형체의 밀도가 감소한다는 문제점이 있다. 적층제조 소재가 구조물에 사용될 경우 이러한 적층결함들은 파괴 개시점으로 작용하게 되므로, 스캔속도와 레이저 전력을 최적화하여 적층결함을 최소화해야 한다.

[0047] 보다 구체적으로, L-PBF(laser powder bed fusion) 방식으로 제작된 합금, 특히 STS316L 합금에 대하여 에너지 밀도가 46~127 J/㎟의 범위일 경우 밀도가 99.8% 이상인 조형체를 얻을 수 있다. 따라서 본 발명에서는 적층소재의 우수한 물성을 확보하기 위해, 에너지 밀도가 50 내지 80 J/㎟ 의 영역에서 공정변수를 최적화하고자 하는 연구를 수행하되, 인공지능 기술을 활용하여 공정변수에 따른 물성 데이터를 구축하였다.

[0048] 상기 데이터표준부(10)가 정리한 데이터인 도 2(a)와 같이 그래프에서, 상기 공정변수창(process parameter window)은 적정 에너지 밀도로 설정한 50 내지 80 J/㎟ 의 영역을 ‘process window’로 설정할 수 있다.

[0049] 여기서, 상기 공정변수창(process parameter window)으로 설정한 50 내지 80 J/㎟ 영역의 에너지 밀도를 이용하여 스캔속도 및 레이저 전력을 설정할 수 있다. 보다 구체적으로, 아래 에너지 밀도 [식 1]을 이용하여 상기 에너지 밀도 영역에서 스캔속도 및 레이저 전력을 확인할 수 있다.

[0051] [식 1]

[0052] $$Energy\,density(J/mm^3)=\frac{P(W)}{S(mm/s)\times H(mm)\times L(mm)}$$

[0053] (단, S는 스캔속도, H는 해칭간격, L은 레이어 두께, P는 레이저 전력이고, H는 66 ㎛, L은 50 ㎛로 설정 함)

[0055] GE addittive 사에서 제공된 해칭간격(66 ㎛), 레이어 두께(50 ㎛)를 활용하여 최적의 스캔속도는 600 내지 1200 ㎜/s이고, 레이저 전력은 80 내지 180 W임을 확인할 수 있다. 상기 스캔속도가 600 내지 1200 ㎜/s이고, 레이저 전력이 80 내지 180 W일 때 도 2(a)에서 설정한 process window의 결과와 부합하는 것을 도 2(b)에서 확인할 수 있다.

[0057] 다음으로, 상기 공정변수설정부(30)는 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정한다.

[0058] 본 발명에 따른 일실시예에 따라, 상기 항공용 금속 합금은 STS316L인 것을 특징으로 한다.

[0059] 상기 설계용 공정변수는, 도 3에 나타난 바와 같이, 내부 공정변수(Part Parameter)와 외곽 공정변수(contour parameter)로 분류하여 설정한다. 일반적으로, 조형체 외곽에 레이저가 조사되는 속도가 낮을 경우, 높은 에너지 밀도를 가져 분말이 용융되는 양이 증가하기 때문에 외곽 공정변수(contour parameter)의 스캔속도가 낮고, 에너지 밀도가 높을수록 표면 조도가 향상된다. 또한, 레이어 두께가 감소할수록 에너지 밀도가 높아져 표면조도가 향상된다. 이를 활용하여 본 발명은 도 3에 나타난 바와 같이, 레이어 두께를 0.03 ㎜ 및 0.05 ㎜로 구분하고, 외곽 공정변수를 설정하여 적층 제조를 실시하였다. 여기서, 해칭간격은 GE addittive 사에서 제공된 공정조건을 사용하였다.

[0060] 상기 공정변수설정부(30)는 상기 설계용 공정변수를 이용하여 조형체를 제조하여 표면조도 및 접합부량이 나타날 확률을 확인한 후, 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격 및 레이어 두께를 설정한다.

[0061] 본 발명의 실시예에 따른 설계용 공정변수는 레이저 전력 140 W, 스캔속도 1,000 ㎜/S, 해칭간격 0.066 ㎜ 및 레이어 두께 0.05 ㎜로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 공정변수의 에너지 밀도는 42.42 J/㎟ 임을

확인하였다.

[0063] 다음으로, 상기 실험값확인부(40)는 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인한다. 보다 구체적으로, 상기 실험값확인부(40)는 여러 번 수행하도록 설계되는 것이 바람직하며, 가장 바람직하게는 본 발명의 일실시예와 같이 1차 내지 3차 조형을 수행하도록 한다.

[0064] 상기 실험값확인부(40)는, 상기 공정변수설정부(30)에서 설정한 설계용 공정변수인 레이저 전력 140 W, 스캔속도 1,000 ㎜/S, 해칭간격 0.066 ㎜ 및 레이어 두께 0.05 ㎜를 기준(No. 19)으로 하여 도 7에 나타난 바와 같이 레이저 전력과 스캔속도를 다양하게 설정한다. 여기서, 상기 설계용 공정변수를 기준으로 설정한 레이저 전력 및 스캔속도의 범위는 스캔속도가 900 내지 1,100 ㎜/s 및 레이저 전력이 140 내지 180 W 인 것이 바람직하다.

[0065] 상기 실험값확인부(40)는 도 7에 설정한 공정변수에 따라 다양한 정육면체 및 인장시편용 조형체를 제조하여 실험값을 확인하도록 수행한다. 여기서, 상기 기계적 특성 측정을 통해 확인된 실험값은 상대밀도, 경도 및 연신율을 측정하도록 설정된다.

[0067] 다음으로, 상기 전처리데이터생성부(50)는 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성한다.

[0068] 상기 생성된 전처리데이터는 적층방향, 입력값(Input data) 및 출력값(output data)로 분류되는 것이 바람직하다. 시편과 적층방향의 관계에 대해 각각 수직, 수평, 대각선 방향으로 분류하는 것이 바람직하며, 상기 입력값(Input data)은 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 상기 출력값(output data)은 항복강도, 인장강도 및 연신율로 설정되는 것이 바람직하다.

[0069] 상기 전처리데이터생성부(50)는 상기 실험값확인부(40)에서 수행한 1차 내지 3차 조형물 제조에서 얻은 데이터를 활용한다. 인공지능 예측 정확도를 향상시키기 위해서는 정확한 입력값(input)과 출력값(output)의 선별은 필수적이기 때문에, 인공지능 기술을 개발하기 전에 데이터 전처리를 시도한 결과를 도 40에 나타내었다. 문헌에서 조사된 각 적층 제조된 시편의 방향은 H(horizontal), V(vertical) 각각 0과 1으로 설정하였으며, 입력값은 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정하였다. 또한, 출력값은 항복강도, 인장강도 및 연신율 3가지로 설정하여 선형회귀 방법을 이용해 인공지능 기술을 개발하고자 하였다.

[0071] 다음으로, 상기 데이터학습부(60)는 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행한다. 보다 구체적으로, 상기 데이터학습부(60)는 상기 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하기 위해 인공신경망 모형을 구축하되, 상기 인공신경망 모형은 학습률, 전체 훈련 데이터가 학습에 한 번 사용되는 주기, 신경망 층의 수, 노드의 수 및 배치 정규화를 변수로 하여 데이터를 학습하도록 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0072] 상기 데이터학습부(60)는 도 41(a)와 같은 변수로 설계되었으며, 여기서 LR(learning rate)은 학습률, 에포크(Epoch)는 전체 훈련 데이터가 학습에 한 번 사용된 주기, nLayer는 신경망의 층의 수, nNode는 노드의 수, BN(Batch Normalization)는 배치 정규화, Mean loss는 평균 오차를 나타낸다. 인공지능 모델의 학습은 입력값과 출력값을 지정하면 훈련 데이터 세트에서 노드를 통해 복잡한 데이터를 모형화하여 진행한다.

[0073] 상기 신경망 층의 수(nLayer)는 3 내지 10으로 지정하는 것이 바람직하다. 그 이유는 3 미만의 층을 구성하는 경우 노드의 수가 22 미만으로 인공지능이 훈련하는 데이터 세트가 적어 출력값의 정확도가 낮아질 수 있으며 10을 초과하여 구성할 경우, 훈련 데이터 세트가 과하게 증가하여 오류발생이 증가해 데이터의 신뢰도가 떨어질 수 있다.

[0074] 상기 에포크(Epoch)는 500 미만으로 지정하는 것이 바람직하다. 500을 초과하는 경우 인공지능 모델이 학습하지 못하고 지나치는 현상(over shoot)이 발생하여 인공지능 모델의 오차가 높게 나타날 수 있어 500 미만으로 설정하는 것이 바람직하다.

[0075] 상기 배치 정규화를 거치는 않는 경우와 거치는 경우를 각각 BN-0, BN-1로 하였을 때, 각 공정변수에 따른 평균 오차는 그 값이 0.024 내지 0.027 정도임을 확인할 수 있다.

[0077] 다음으로, 상기 데이터평가부(70)는 상기 실험값확인부(40)에서 평가한 기계적 특성의 실험값과 상기 데이터학습부(60)에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행한 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가한다.

[0078] 도 41(b) 및 도 42는 선형회귀 방법으로 학습된 학습결과를 그래프로 보여준다. 그림 42(a)는 학습된 데이터의 예측값과 실험값을 나타낸 그래프이며, 선형회귀 방법을 활용하여 학습된 결과를 항복강도, 인장강도, 연신율에 대한 예측값과 실험값의 유사성을 나타내었다. 학습한 후 예측값을 모은 실험 데이터의 경향이 선형으로 나타났으며, 도 42(b)에 나타난 실험값과 예측값에서 유사성이 나타남을 확인할 수 있었다.

[0080] 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명인 인공지능을 활용한 항공용 CRES 합금 적층을 위한 학습데이터 생성방법은 아래 단계를 포함하여 수행한다.

[0081] 먼저, 제1단계(S10)는 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화한다. 상기 공정조건은 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정하여 표준화하는 것이 바람직하다.

[0083] 다음으로, 제2단계(S20)는 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축한다.

[0084] 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는 에너지 밀도가 50 내지 80 J/㎟ 의 영역인 것이 바람직하다. 또한, 상기 에너지 밀도 영역에서 상기 공정변수창(process parameter window) 데이터는 스캔속도가 600 내지 1,200 ㎜/s 이고, 레이저 전력이 80 내지 180 W 인 것을 특징으로 한다.

[0085] 상기 제1단계(S10)에서 표준화한 데이터인 도 2(a)와 같이 그래프에서, 상기 공정변수창(process parameter window)은 적정 에너지 밀도로 설정한 50 내지 80 J/㎟ 의 영역을 'process window'로 설정할 수 있다.

[0086] 여기서, 상기 공정변수창(process parameter window)으로 설정한 50 내지 80 J/㎟ 영역의 에너지 밀도를 이용하여 스캔속도 및 레이저 전력을 설정할 수 있다. 보다 구체적으로, 아래 에너지 밀도 [식 1]을 이용하여 상기 에너지 밀도 영역에서 스캔속도 및 레이저 전력을 확인할 수 있다.

[0088] [식 1]

[0089] $$Energy\,density(J/mm^3)=\frac{P(W)}{S(mm/s)\times H(mm)\times L(mm)}$$

[0090] (단, S는 스캔속도, H는 해칭간격, L은 레이어 두께, P는 레이저 전력이고, H는 66 ㎛, L은 50 ㎛로 설정 함)

[0092] GE addittive 사에서 제공된 해칭간격(66 ㎛), 레이어 두께(50 ㎛)를 활용하여 최적의 스캔속도는 600 내지 1200 ㎜/s이고, 레이저 전력은 80 내지 180 W임을 확인할 수 있다. 상기 스캔속도가 600 내지 1200 ㎜/s이고, 레이저 전력이 80 내지 180 W일 때 도 2(a)에서 설정한 process window의 결과와 부합하는 것을 도 2(b)에서 확인할 수 있다.

[0094] 다음으로, 제3단계(S30)는 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정한다.

[0095] 본 발명에 따른 일실시예에 따라, 상기 항공용 금속 합금은 STS316L인 것을 특징으로 한다.

[0096] 상기 제3단계(S30)는 상기 설계용 공정변수를 이용하여 조형체를 제조시켜 표면조도 및 접합부량이 나타날 확률을 확인한 후, 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격 및 레이어 두께를 설정한다.

[0097] 본 발명의 실시예에 따른 설계용 공정변수는 레이저 전력 140 W, 스캔속도 1,000 ㎜/S, 해칭간격 0.066 ㎜ 및 레이어 두께 0.05 ㎜로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 공정변수의 에너지 밀도는 42.42 J/㎟ 임을

확인하였다.

[0099] 다음으로, 제4단계(S40)는 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인한다. 보다 구체적으로, 상기 실험값확인부(40)는 여러 번 수행하도록 설계되는 것이 바람직하며, 가장 바람직하게는 본 발명의 일실시예와 같이 1차 내지 3차 조형을 수행하도록 한다.

[0100] 상기 제4단계(S40)는 상기 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수인 레이저 전력 140 W, 스캔속도 1,000 ㎜/S, 해칭간격 0.066 ㎜ 및 레이어 두께 0.05 ㎜를 기준(No. 19)으로 하여 도 7에 나타난 바와 같이 레이저 전력과 스캔속도를 다양하게 설정한다. 여기서, 상기 설계용 공정변수를 기준으로 설정한 레이저 전력 및 스캔속도의 범위는 스캔속도가 900 내지 1,100 ㎜/s 및 레이저 전력이 140 내지 180 W 인 것이 바람직하다.

[0101] 상기 제4단계(S40)에서 기계적 특성 측정을 통해 확인된 실험값은 상대밀도, 경도 및 연신율인 것을 특징으로 한다.

[0103] 다음으로, 제5단계(S50)는 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성한다.

[0104] 상기 제5단계(S50)에서 생성된 전처리데이터는 적층방향, 입력값(Input data) 및 출력값(output data)로 분류되는 것이 바람직하다. 상기 입력값(Input data)은 레이저 전력, 스캔속도, 해칭간격, 레이어 두께로 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 상기 출력값(output data)은 항복강도, 인장강도 및 연신율로 설정되는 것이 바람직하다.

[0106] 다음으로, 제6단계(S60)는 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행한다.

[0107] 상기 제6단계(S60)에서 상기 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하기 위해 인공신경망 모형을 구축하되, 상기 인공신경망 모형 구축은 학습률, 전체 훈련 데이터가 학습에 한 번 사용되는 주기, 신경망 층의 수, 노드의 수 및 배치 정규화를 변수로 하여 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0109] 다음으로, 제7단계(S70)는 상기 제4단계에서 평가된 기계적 특성의 실험값과 상기 제6단계에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행된 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가한다.

[0110] 도 41(b) 및 도 42는 선형회귀 방법으로 학습된 학습결과를 그래프로 보여준다. 그림 42(a)는 학습된 데이터의 예측값과 실험값을 나타낸 그래프이며, 선형회귀 방법을 활용하여 학습된 결과를 항복강도, 인장강도, 연신율에 대한 예측값과 실험값의 유사성을 나타내었다. 학습한 후 예측값을 모은 실험 데이터의 경향이 선형으로 나타났으며, 도 42(b)에 나타난 실험값과 예측값에서 유사성이 나타남을 확인할 수 있었다.

[0112] 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, HDD(Hard disk drive), SSD(solid state drive), USB, 광데이터 저장장치 등이 있다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

[0114] 아래는 본 발명에 따라 실시한 실시예 및 실험예를 설명하고자 한다.

[0115] **1) 실험방법**

[0116] **(1) 공정변수에 따른 기계적 특성 D/B 구축**

[0117] 기존 문헌결과 및 실험실 데이터를 기반으로 하여 CRES 합금의 공정조건 데이터 정리 하였다. 스캔속도-레이저

전력 그래프를 활용하여 각 공정변수를 나타내고, 에너지 밀도를 계산하였다.

[0119] **(2) 다양한 공정변수에 따른 적층 건전성 평가**

[0120] 에너지 밀도 40~70 J/㎣ 를 갖는 범위에서 다양한 공정변수를 설정하여 상대밀도, 경도, 인장특성 평가하였다.

[0121] - 밀도는 아르키메데스 방법을 통하여 구하였으며, 각 시편의 부피, 무게를 측정하고 상용 STS316L의 밀도(0.008 g/㎣)와 비교하여 상대밀도를 나타내었다.

[0122] - 경도는 비커스 경도를 활용하여 측정하였으며, 압입하는 동안 1 kgf의 힘을 가하였으며, 압입시간은 10 초로 설정하였다.

[0123] - 인장특성 평가는 10^{-3} /s의 변형률 속도로 수행되었으며, 3차원 변형률 측정 시스템을 활용하여 변형률을 측정하였다.

[0124]

[0125] **(3) 인공지능을 통한 최적의 공정조건 예측**

[0126] 문헌조사 및 시험을 통해 얻은 데이터를 활용하여 공정조건에 따른 물성을 예측하고자 선형회귀 분석을 활용하여 인공신경망을 구축하여 예측하였다. 이때, 인공신경망 설계 시 사용된 변수는 도 41(a)에 나타내었다.

[0128] **2) 실시예**

[0129] **(1) 설계용 공정변수에 따른 조형물 적층**

[0130] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따라 제3단계(S30)에서 설정한 설계용 공정변수를 이용한 조형 계획도로, 스캔방향을 나타내는 도면(a)이고, 다양한 형상을 갖는 조형물의 상평면(top view), 등각투영(isometric view) 및 정면(front view) 도면(b)이다.

[0131] 도 4(a)와 같이 각 층의 스캔방향이 90° 를 이루도록 레이저를 반복하여 조사하는 적층방식을 사용하였으며, 이러한 적층방식은 열 방출에 의해 효과적으로 잔류응력을 해소할 수 있다고 알려져 있다. 또한 표면조도가 우수한 레이어 두께를 설정하기 위하여 다양한 형상을 갖는 조형체를 도 4(b)와 같이 설계하였으며, 실제 조형제 사진을 도 6 및 도 7에 나타냈다.

[0132] 도 5는 각각 (a) 공정변수 1, (b) 공정변수 2로 제작된 조형체의 사진이며, 도 6은 공정변수 1로 제작된 시편의 고배율 사진이다.

[0133] 도 5(a)에서는 상대적으로 낮게 설정한 레이어 두께(0.03 ㎜)로 인해 전체적인 표면조도는 향상된 것을 확인할 수 있었으나, 도 5(a)의 노란색 동그라미로 표기된 부분과 같이 접합불량이 발생함 알 수 있었다.

[0134] 또한, 공정변수 1로 제작된 시편을 고배율으로 확인하였을 때, 45° 로 기울어진 형상에서 계단현상 없이 연속적으로 적층되었으나, 일부분 과용융된 부분이 있음을 도 6에서 확인할 수 있었다.

[0135] 반면 그림 5(b)의 경우 음각 명확도, 경사각도 등을 고려해보았을 때 도 5(a)에 비해 표면조도는 떨어지나 접합불량은 나타나지 않았다. 이러한 점들을 종합해보았을 때, 레이어 두께를 감소할수록 표면조도가 향상되었으나, 접합불량이 나타날 확률이 있으므로 레이어 두께를 0.05 ㎜로 제어(공정변수 2)하여 이후 조형체를 제조하고자 하였다.

[0137] **(2) 1차 조형체 제조**

[0138] ① 정육면체 시편

[0139] 도 7과 같이 설정한 공정변수에 따른 상대밀도 및 경도 측정을 위해 총 28개의 정육면체 시편을 조형하였으며, 조형 계획도를 도 8에 나타냈다.

[0140] 각 시편은 도 9(a)와 같이 8 ㎜ × 8 ㎜ × 8 ㎜ 크기로 제작되었으며, 실제 조형결과를 도 9(b)에 나타내었다.

에너지 밀도가 가장 낮은 시편인 4, 5번의 경우 표면에 적층결함이 있음을 육안으로 확인할 수 있었으며, 에너지 밀도가 가장 높았던 25번 시편의 경우 분말이 과용융 되면서 조형체가 갈색으로 변화된 모습을 관찰할 수 있다.

[0141] 적층제조의 건전성을 평가하기 위하여 조형된 시편의 상대밀도 및 경도를 측정하여 도 10 내지 도 12에 나타내었다. 상대밀도는 아르키메데스 방법(질량/부피, g/㎣)으로 측정하였으며, 그 결과를 도 10에 나타내었다. 각 시편의 스캔속도와 레이저 전력에 따른 에너지 밀도를 계산하였으며, 에너지 밀도의 상대적인 비교를 위해 도 10(a)과 같이 나타냈다. 레이저 전력이 증가함에 따라 상대밀도가 증가하는 경향을 보였으나, 에너지 밀도가 70 J/㎣ 이상일 경우 오히려 상대밀도가 감소하는 것을 도 10(b)를 통하여 확인할 수 있다. 특히, 상대밀도가 90% 이상인 조형체는 140 ~ 180 W의 레이저 전력으로 조형되었음을 확인할 수 있다.

[0142] 다음으로, 적층제조 건전성을 평가하기 위해 상대밀도뿐 아니라 경도를 측정하였다. 비커스 경도계를 이용하여 조형체당 최소 5번의 시험을 시도하였으며, 이를 통해 얻은 평균값을 도 11(b)에 정리하였다. 상대밀도의 경향과 비슷하게 에너지 밀도가 40 J/㎣ 이상, 70 J/㎣ 이상인 영역에서 경도가 약 200 Hv로 가장 높게 측정되었다. 또한, 높은 경도 값을 갖는 조형체는 주로 레이저 전력이 140 ~ 180 W 인 공정조건에 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

[0143] 각 공정조건에 따른 상대밀도 및 경도 값은 도 12에 나타내었으며, 측정된 결과값을 종합해 보았을 때, 에너지 밀도 40 ~ 70 J/㎣, 레이저 전력 140 ~ 180 W일 때 가장 우수한 조형체가 적층되었음을 알 수 있었다. 더 나아가 동일한 공정조건으로 제조된 인장시편을 제조하고 인장 특성평가를 시도하여, 구조적 안전성을 평가하고자 하였다.

[0145] ② 인장 시편

[0146] 다음으로, 인장시편은 도 13의 조형 계획도에 따라 적층방향에 수직하게 제조되었으며, 인장시편(총길이 30 ㎜, 게이지 길이 6.4 ㎜, 두께 2 ㎜)은 ASTM E8/E8M 규격을 참고하여 설계되었다. 앞서 언급된 상대밀도와 경도 측정결과에 따라 레이저 전력 140 ~ 180 W, 스캔속도 600 ~ 1,200 ㎜/s의 공정조건으로 총 24개의 인장시편을 조형하였다.

[0147] 인장시편이 조형된 결과를 도 14에 나타내었다. 레이저 전력이 80 W 이하인 조형체에서는 적층이 실패하여 plate와 인장시편 접합부가 끊어진 모습을 확인할 수 있다. 또한, 스캔속도 1,200 ㎜/s, 레이저 전력 60 W인 시편은 게이지 영역에서 인장시편이 파단된 모습도 관찰되었다. 적층에 실패한 인장시편을 제외하고 140 W, 160 W, 180 W의 레이저 전력과 600 ㎜/s, 800 ㎜/s, 1,000 ㎜/s, 1,200 ㎜/s의 스캔속도의 조합을 갖는 조형체를 활용하여 인장시험을 실시하였다.

[0148] 인장시험은 변형률 속도 10^{-3} /s 로 수행되었으며, 3차원 변형률 측정 시스템(Digital image correlation, DIC)을 활용하여 변형률을 측정하였다. 각 인장시험 결과를 레이저 전력에 따라 나누어 도 15 내지 도 20에 나타내었다.

[0149] 도 15과 도 16은 레이저 전력이 140 W인 조형체의 인장시험 결과이다. 도 15(a)의 응력-변형률 곡선을 통해 가장 낮은 스캔속도(600 ㎜/s)인 경우 항복강도가 449 MPa 정도로 가장 우수한 강도를 갖고 있음을 알 수 있었다. 또한 스캔속도가 증가하게 되면 강도는 감소하나, 연신율은 오히려 늘어나는 것을 알 수 있다. 하지만 스캔속도가 1,200 ㎜/s 까지 높아지게 되면 레이저가 충분히 조사되지 못하여 적층결함의 양이 증가하고, 강도와 연신율 모두 급격히 저하되는 모습을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들을 통하여 레이저 전력 140 W에서 스캔속도가 600 ㎜/s일 때, 강도×연신율의 값은 20,654 MPa·%로 가장 우수한 것을 확인하였다.

[0150] 도 17 및 도 18은 레이저 전력 160 W로 조형된 인장시편의 인장시험 결과이다. 레이저 전력을 160 W로 증가시켰을 때 스캔속도가 600 ㎜/s일 경우, 연신율은 58%로 레이저 전력이 140 W인 경우에 비하여 확연히 늘어난 모습을 확인할 수 있다. 반면 항복강도는 403 MPa로 레이저 전력이 140 W인 경우에 비하여 다소 감소된 모습을 확인할 수 있다. 이때의 강도×연신율의 값은 23,374 MPa·%로 가장 우수한 값을 나타내었다. 또한, 스캔속도가 1,200 ㎜/s 까지 증가하였을 때 140 W인 경우 보다 강도 및 연신율이 증가한 모습을 확인할 수 있다. 이는 충분히 높은 스캔속도로 인해 레이저가 충분히 조사되지 못하였으나, 레이저 전력이 증가함에 따라 에너지 밀도가 증가하였기 때문이라 예측할 수 있다.

[0151] 마지막으로 도 19와 도 20은 레이저 전력이 가장 높은 영역에서의 인장시험 결과를 정리한 것이다. 해당 인장시

험은 레이저 전력을 180 W인 시편으로 수행되었으며, 각각 인장시험 이후 파단된 시편의 사진을 도 19(b)에 나타내었다. 600~800 ㎜/s, 1,000~1,200 ㎜/s의 스캔속도를 갖는 인장시편의 항복강도는 약 392 MPa, 426.5 MPa이며, 해당 범위의 공정조건은 비슷한 경향을 나타내고 있음을 도 19(a)의 응력-변형률 곡선을 통해 알 수 있다. 한편, 연신율은 600~1,000 ㎜/s의 스캔속도를 갖는 인장시편에서 비슷한 경향을 보이며, 평균적으로 약 53% 정도로 나타났다. 상대적으로 항복강도, 연신율이 모두 우수하였던 공정조건(레이저 전력 180 W, 스캔속도 1,000 ㎜/s)의 강도×연신율의 값은 22,152 MPa·% 임을 확인하였다.

[0152] 모든 인장시험 데이터를 비교해 보았을 때, 강도와 연신율 모두 우수한 공정조건은 아래와 같이 세 가지로 정리할 수 있었다.

[0153] 1) 160 W, 600 ㎜/s (강도×연신율=23,374 MPa·%)

[0154] 2) 180 W, 600 ㎜/s (강도×연신율=22,152 MPa·%)

[0155] 3) 180 W, 800 ㎜/s (강도×연신율=22,152 MPa·%)

[0157] 목표값인 30,000 MPa·%에 미치지는 못하였으나, 일반적으로 알려진 CRES 합금의 강도×연신율의 값이 11,600 MPa·%인 수치보다 2배 이상 높은 적층소재 개발에 성공하였음을 알 수 있다.

[0159] **(3) 2차 조형체 제조**

[0160] 앞서 측정된 상대밀도, 경도, 인장시험 데이터를 통하여 40 ~ 70 J/㎟의 에너지 밀도가 가장 우수한 적층 건전성을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 2차 조형에서는 스캔속도의 차이를 더욱 세밀한 범위를 설정하여 정확한 공정조건을 확보하고자 하였다. 도 21(a)는 1차 조형체에서 획득한 에너지 밀도에 따른 상대밀도 그래프이다. 레이저 전력이 160 ~ 180 W인 범위에서 가장 높은 상대밀도를 갖는 것을 확인하였으며, 2차 조형 조건을 도 21(b)와 같이 레이저 전력 160~190 W, 스캔 속도 900~1,050 ㎜/s 로 설정하였다. 또한 2차 조형의 목표인 스캔 속도의 세분화를 위하여 각 공정조건의 간격이 50 ㎜/s가 되도록 하였다.

[0161] 기준이 되는 공정조건을 레이저 전력 180 W, 스캔속도 1,000 ㎜/s로 설정하고 스캔속도의 간격을 50 ㎜/s로 2차 조형 조건을 설정하였으며, 도 22에 그 결과를 정리하여 나타내었다.

[0162] 2차 조형의 적층방식은 (1차 조형과 마찬가지로) 각 층의 스캔방향이 90° 를 이루도록 레이저를 반복하여 조사하는 방식으로, 각 시편의 조형 계획도를 도 23에 나타내었다. 상대밀도 및 경도 측정용 정육면체를 28개씩 적층하였으며, 두 시편의 형상은 1차 조형과 동일한 조건으로 설계되었다.

[0163] 상대밀도 및 경도 측정용 정육면체는 도 24(a)와 같이 8 ㎜ × 8 ㎜ × 8 ㎜ 크기로 제작되었으며, 실제 조형결과를 도 24(b)에 나타내었다. 3번 공정조건으로 조형된 시편의 경우 표면에 균열이 형성됨을 확인하였으나, 1차 조형에 비해 에너지 밀도에 큰 차이는 없어 과용융으로 인한 변색을 육안으로 구분하는 것은 어려웠다.

[0164] 레이저 전력과 스캔속도 변화에 따른 상대밀도와 경도를 고찰하기 위하여 2차 조형체의 상대밀도 및 경도 분석을 실시하였다. 우선 2차 조형체의 상대밀도 측정결과를 도 25(b)에 나타내었다. 상대밀도는 앞의 방법과 동일하게 아르키메데스 방법으로 측정하였다. 또한 시편의 스캔속도와 레이저 전력을 이용하여 에너지 밀도를 계산하였으며, 에너지 밀도의 상대적인 비교를 위해 도 25(a)와 같이 나타냈다. 레이저 전력이 증가함에 따라 상대밀도가 증가하는 경향을 보였으며, 에너지 밀도가 64 J/㎟인 조형체의 상대밀도가 88%로 가장 높았다. 하지만 1차 조형에 비해 상대밀도 값은 약 7% 정도 감소한 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 분말 재활용의 영향으로, 재활용 횟수가 늘어남에 따라 산화되거나 용융된 분말이 잔여하며 적층결함을 증가시키고 상대밀도를 떨어뜨리게 된다.

[0165] 경도시험의 경우 비커스 경도계를 이용하여 조형체당 최소 5번의 시험을 시도하였으며, 이를 통해 얻은 평균값을 도 26(b)에 정리하였다. 상대밀도의 경향과 비슷하게 에너지 밀도가 50 J/㎟ 이상, 55 J/㎟ 이상인 영역에서 경도가 약 215 Hv로 가장 높게 측정되었다. 또한, 높은 경도 값을 갖는 조형체는 주로 레이저 전력이 140 ~ 180 W 인 공정조건에 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 분말 재활용 수가 증가하여도 경도 값은 떨어지지 않고 오히려 3%가 증가하는 모습을 알 수 있다. 공정 조건에 따른 상대밀도 및 경도 측정 결과는 아래의 도 27과 같이 나타내었다.

[0167] **(4) 3차 조형체 제조**

[0168] 적층제조 기술은 공정속도가 느려 생산성이 낮다는 한계를 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 스캔속도를 높이고, 이에 따른 공정조건을 최적화하여 우수한 물성을 나타내는 조형체를 제작하고자 하였다. 1, 2차 조형에서 얻은 결과를 바탕으로 레이저 전력, 에너지 밀도가 각각 140 ~ 180 W, 40 ~ 70 J/㎟로 제어하였을 때 가장 우수한 적층 건전성을 갖고 있음을 확인할 수 있었으며, 이를 고려하여 공정조건 최적화를 위해 제어 범위를 줄여 3차 조형을 실시 하였다. 생산성을 향상시키기 위해 스캔속도를 향상시키는 것이 바람직하나, 스캔속도가 1,200 ㎜/s 이상으로 높아지면 에너지 밀도가 40 ~ 70 J/㎟을 벗어나 공정조건 최적화에 부합하지 않는다는 문제점이 있었다. 따라서 에너지 밀도를 고정시킨 후 스캔속도를 최대한 높이고자 하였으며, 이를 바탕으로 스캔속도를 900 ~ 1,100 ㎜/s로 증가시켜 적층을 실시하였다. 적층된 조형체에 대해 건전성을 확인하기 위해 인장특성 평가를 시도하였으며, 3차 조형을 위해 설정한 공정변수를 도 28에 나타내었다.

[0169] 3차 조형을 실시하기 위해 설계한 시편 조형 계획도를 도 29에 나타내었다. 상대밀도 및 경도를 측정하기 위한 정육면체 모양의 시편은 도 24(a)와 같이 8 ㎜ × 8 ㎜ × 8 ㎜ 크기로 제작되었다. 1, 2 차 조형과 마찬가지로 인장시편은 총길이 30 ㎜, 게이지 길이 6.4 ㎜, 두께 2 ㎜로 ASTM E8/E8M 규격을 참고하여 설계하였다. 3차 조형 설계시 상대밀도 및 경도 측정용 정육면체 시편을 먼저 적층 후 그 위에 보조 조형물을 형성하여 인장시편을 연속적으로 적층하였으며, 이는 적층 후 plate와 분리가 용이하고, 적층시 사용되는 공간을 최소화하고자 하였다. 이러한 보조 조형물은 필요 이상으로 만들어지면 적층시간 및 비용이 늘어나고, 적게 만들어지면 조형체의 특성이 저하되어 적층실패로 이어질 수 있다.

[0170] 도 28의 공정조건 3을 적용하여 적층한 시편은 적층에 실패하였으며, 이는 높은 스캔속도로 인하여 충분히 레이저가 조사되지 않아 적층에 실패한 것으로 판단된다. 이는 생산성을 높이기 위해 레이저 전력을 과도하게 높일 경우 적층 실패를 야기할 수 있음을 알 수 있다. 적층이 성공된 3차 조형체의 물성을 평가하기 위하여, 상대밀도 및 경도를 측정하였다.

[0171] 1, 2차 조형체의 방법과 동일하게 아르키메데스 방법으로 측정하였으며, 그 결과를 도 31(b)에 나타내었다. 상대밀도 측정결과 140 ~ 180 W 범위에서는 레이저 전력이 증가함에 따라 상대밀도가 감소하는 경향을 보였으며, 에너지 밀도가 47 J/㎟인 조형체가 상대밀도가 94%로 가장 높은 값을 나타내었다.

[0172] 도 32(b)에 나타낸 경도값도 마찬가지로 상대밀도의 경향과 유사하게 에너지 밀도가 43 J/㎟인 조형체가 가장 높은 경도 값을 보였으나, 레이저 전력의 경우 140 W로 적층된 조형체보다 160 W로 적층된 조형체가 더 높은 값을 나타내었다.

[0173] 3차 조형체의 인장시험도 1차 조형체의 인장시험 조건과 마찬가지로 변형률 속도 10^{-3} /s 로 수행되었으며, 3차원 변형률 측정 시스템을 활용하여 변형률을 측정하였다. 각 인장시험 결과를 레이저 전력에 따라 나누어 도 34 내지 도 39에 나타내었다.

[0174] 도 34와 도 35는 레이저 전력이 140 W인 조형체의 인장시험 결과이다. 도 34(a)의 응력-변형률 곡선을 통해 1,100 ㎜/s의 가장 높은 스캔속도로 조형된 시편의 항복강도가 374 MPa 정도로 가장 우수한 값을 갖고 있음을 알 수 있었다. 하지만 1차 조형에 비해 분말의 재사용 횟수가 증가함에 따라 전제적으로 강도와 연신율이 감소한 것을 확인하였다. 또한, 스캔속도가 1100 ㎜/s를 제외한 시편의 경우 연신율이 3.8% 이하로 나타났다.

[0175] 도 36과 도 37은 레이저 전력이 160 W로 조형된 인장시편의 인장시험 결과이다. 레이저 전력을 160 W로 증가시켰을 때 스캔속도가 1,100 ㎜/s일 경우 연신율은 26%로, 레이저 전력이 140 W인 경우에 비해 다소 증가된 모습을 확인할 수 있다. 또한, 스캔속도가 낮아질수록 강도가 낮아지는 경향이 나타나게 된다. 160 W에서 가장 우수한 강도×연신율의 값은 8,228 MPa·%로 나타났다.

[0176] 마지막으로 도 38과 도 39은 레이저 전력이 가장 높은 180 W에서 조형된 시편의 인장 시험 결과를 정리한 것이다. 도 38(a)의 응력-변형률 곡선을 통하여 조형체의 강도는 스캔 속도가 낮아짐에 따라 낮아지는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이때, 1,1000 ㎜/s의 스캔속도로 제조된 시편에서 가장 우수한 강도×연신율이 17,262 MPa·%로 나타났다. 한편, 1000 ㎜/s 스캔속도로 제조된 시편의 연신율이 가장 낮게 측정되었으며, 위와 같은 원인을 인장 파면 분석을 통하여 추후 규명하고자 한다.

[0177] 3차 조형에서는 재사용분말 사용에 대한 재현성 검토와 스캔속도 증가에 따른 강도향상을 확인할 수 있었다. 3

차 조형 조건에서 강도와 연신율 모두 우수한 공정조건을 정리해 본다면 아래와 같다.

[0178] 1) 180 W, 1,100 mm/s (강도×연신율=17,262 MPa·%)

[0179] 2) 180 W, 900 mm/s (강도×연신율=13,533 MPa·%)

[0180] 3) 160 W, 1,100 mm/s (강도×연신율=10,946 MPa·%)

[0182] 분말 재사용으로 인해 1차 조형보다는 강도×연신율 값이 감소하였지만, 일반적으로 알려진 CRES 합금의 강도×연신율의 값인 11,600 MPa·% 보다는 우수한 강도와 연신율을 소재를 제조하였음을 확인하였다. 또한, 이러한 공정조건을 활용하여 인공지능 개발을 위한 데이터베이스로 활용할 수 있다.

[0184] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다. 본 발명의 목적, 특징, 장점은 이하의 실시예를 통하여 쉽게 이해될 것이다. 본 발명은 여기서 설명하는 실시예에 한정되지 않고, 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 여기서 소개되는 실시예는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 이하의 실시예에 의해 본 발명이 제한되어서는 안 된다.

[0186] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명은 공정변수에 따른 인장물성 예측이 가능한 인공지능 기술을 이용하여 항공용 강철 소재 적층방법을 제공할 수 있다.

[0187] 또한, 본 발명인 인공지능을 활용하여 CRES 합금의 적층 공정 조건을 최적화하고 적층 공정 시 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다.

[0189] 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.

[0190] 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

[0192] S10. 금속 합금 데이터를 수집하고, 화학조성, 공정조건 및 물성으로 구분하여 표준화하는 제1단계

S20. 상기 표준화된 데이터에서 공정변수창(process parameter window) 데이터를 구축하는 제2단계

S30. 상기 구축된 공정변수창(process parameter window) 데이터에서 항공용 금속 합금의 적층을 위한 설계용 공정변수를 설정하는 제3단계

S40. 상기 설정된 설계용 공정변수를 기준으로 레이저 전력 및 스캔속도의 범위를 다양하게 설정하고 기계적 특성 측정을 통해 실험값을 확인하는 제4단계

S50. 상기 설계용 공정변수 및 실험값을 기준으로 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습용 데이터인 전처리데이터를 생성하는 제5단계

S60. 상기 생성된 전처리데이터를 이용하여 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 수행하는 제6단계

S70. 상기 제4단계에서 평가된 기계적 특성의 실험값과 상기 제6단계에서 인공신경망(Artificial Neural Network) 학습을 통해 수행된 예측값을 비교하여 예측 정확도를 평가하는 제7단계

10. 데이터표준부

20. 공정변수창생성부

30. 공정변수설정부

40. 실험값확인부

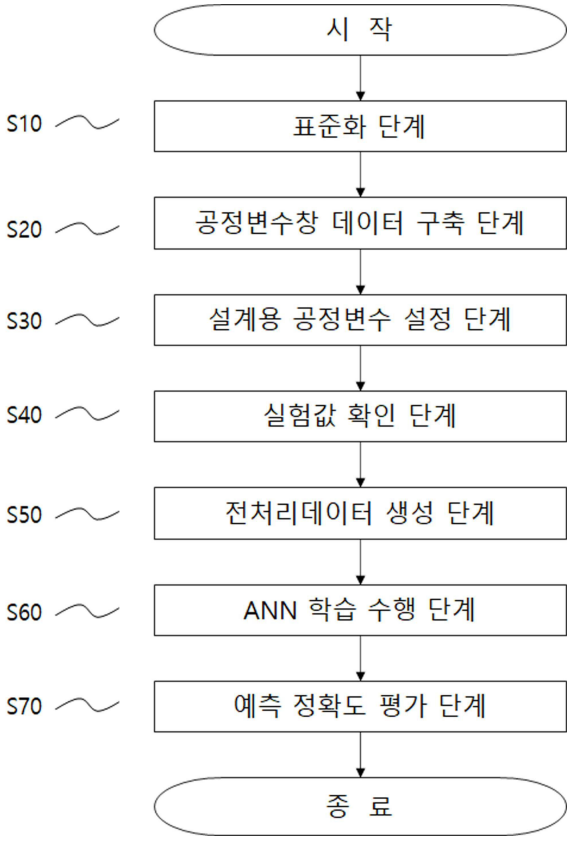
50. 전처리데이터생성부

60. 데이터학습부

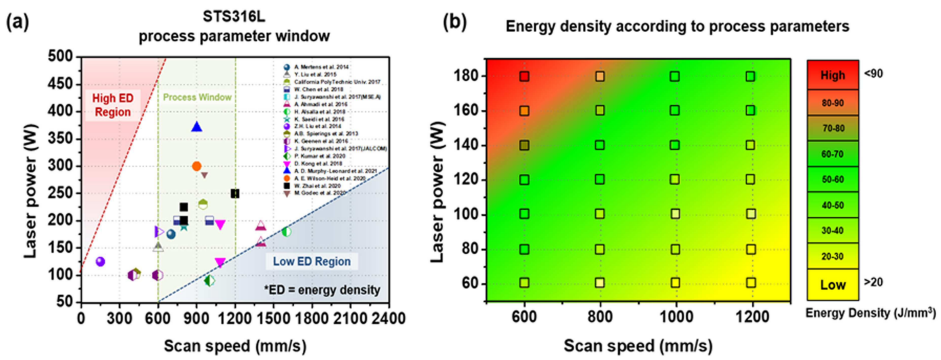
70. 데이터평가부

도면

도면1



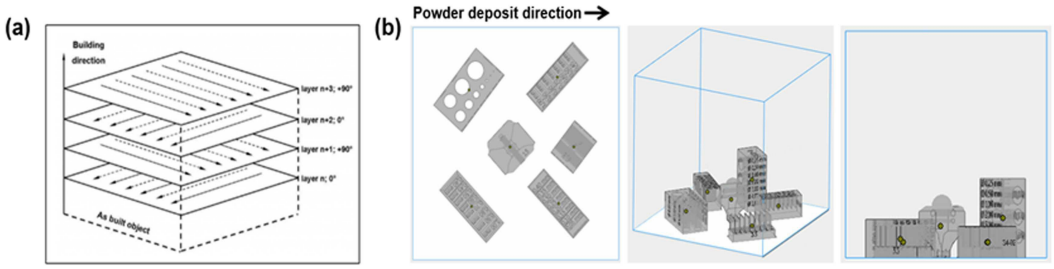
도면2



도면3

	Part Parameter				Contour Parameter	
	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)	Hatching Space (mm)	Layer Thickness (mm)	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)
Parameter 1	140	1000	0.066	0.03	120	1200
Parameter 2	140	1000	0.066	0.05	130	1300

도면4



도면5

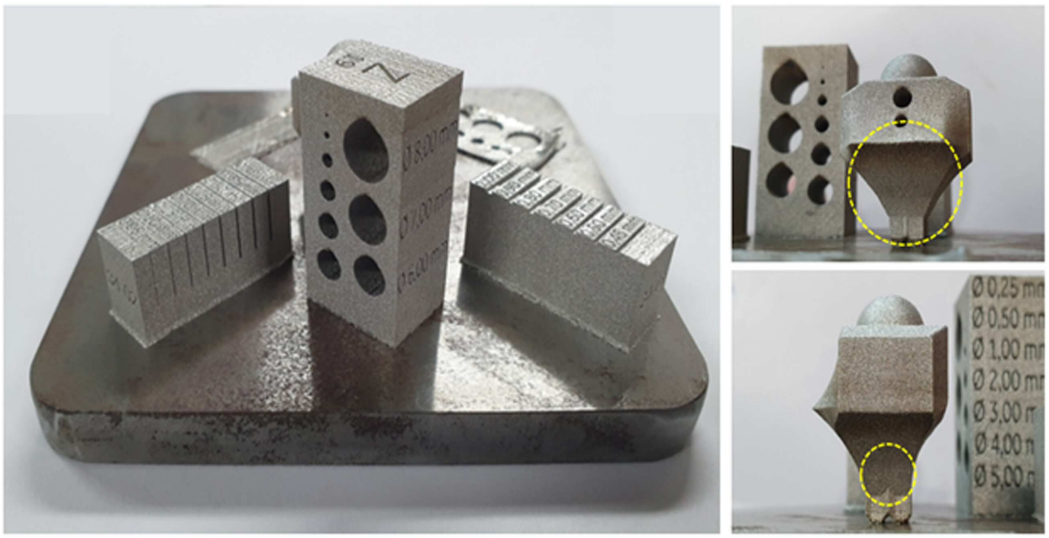


- Layer thickness: 0.03 mm
- Contour Parameter : 120 W, 1200 mm/s



- Layer thickness: 0.05 mm
- Contour Parameter : 130 W, 1300 mm/s

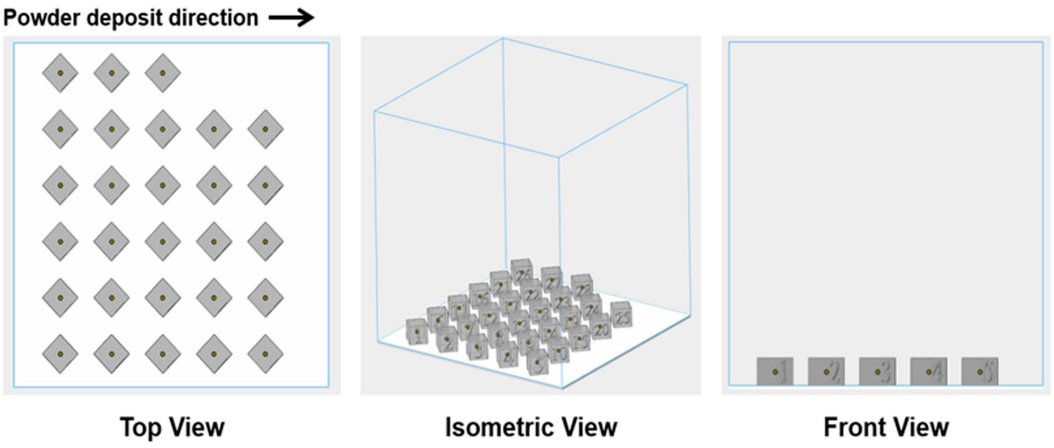
도면6



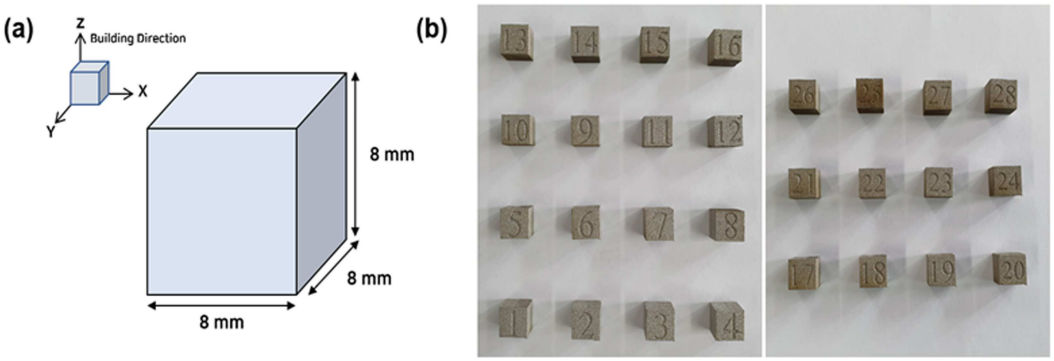
도면7

Process parameter					
No	Laser power (W)	Scan speed (mm/s)	Hatch space (mm)	Layer thickness (mm)	Energy density (J/mm³)
1	60	600	0.066	0.05	30.30303
2	60	800	0.066	0.05	22.72727
3	60	1000	0.066	0.05	18.18182
4	60	1200	0.066	0.05	15.15152
5	80	600	0.066	0.05	40.40404
6	80	800	0.066	0.05	30.30303
7	80	1000	0.066	0.05	24.24242
8	80	1200	0.066	0.05	20.20202
9	100	600	0.066	0.05	50.50505
10	100	800	0.066	0.05	37.87879
11	100	1000	0.066	0.05	30.30303
12	100	1200	0.066	0.05	25.25253
13	120	600	0.066	0.05	60.60606
14	120	800	0.066	0.05	45.45455
15	120	1000	0.066	0.05	36.36364
16	120	1200	0.066	0.05	30.30303
17	140	600	0.066	0.05	70.70707
18	140	800	0.066	0.05	53.0303
19	140	1000	0.066	0.05	42.42424
20	140	1200	0.066	0.05	35.35354
21	160	600	0.066	0.05	80.80808
22	160	800	0.066	0.05	60.60606
23	160	1000	0.066	0.05	48.48485
24	160	1200	0.066	0.05	40.40404
25	180	600	0.066	0.05	90.90909
26	180	800	0.066	0.05	68.18182
27	180	1000	0.066	0.05	54.54545
28	180	1200	0.066	0.05	45.45455

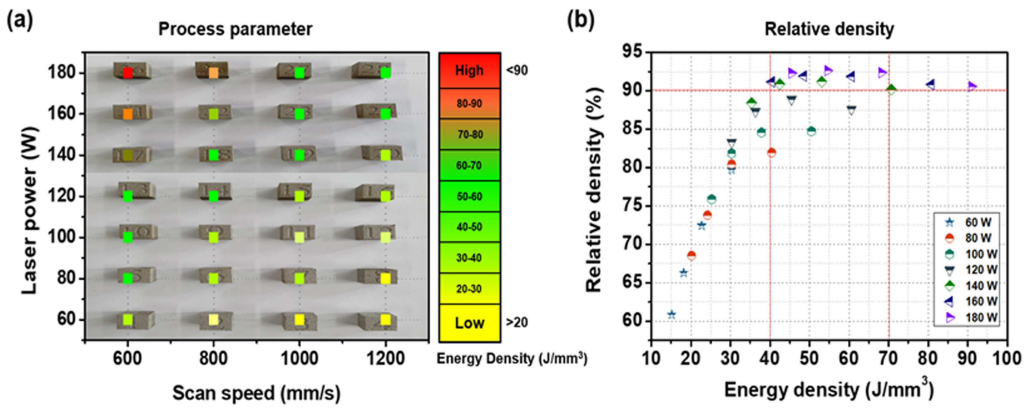
도면8


Powder deposit direction
Top View
Isometric View
Front View

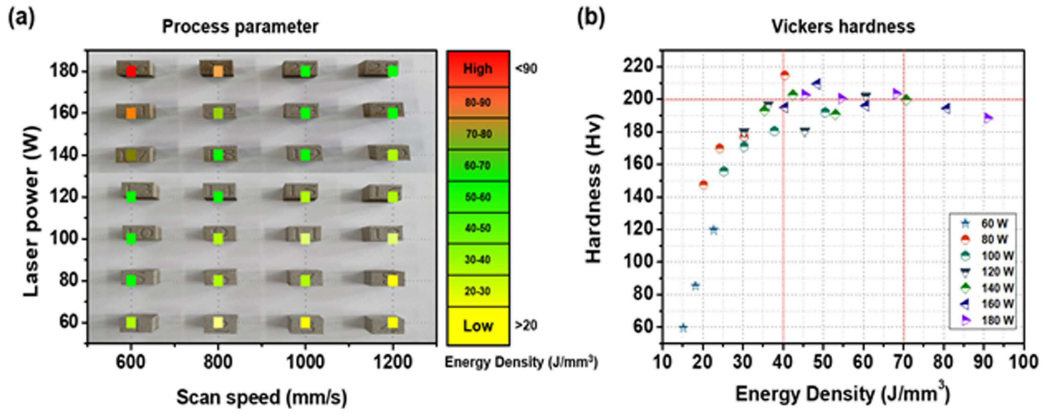
도면9


(a)
Z
Building Direction
X
Y
8 mm
8 mm
8 mm
(b)

도면10


(a)
Process parameter
Laser power (W)
Scan speed (mm/s)
Energy Density (J/mm³)
High
Low
(b)
Relative density
Relative density (%)
Energy density (J/mm³)
60 W
80 W
100 W
120 W
140 W
160 W
180 W

도면11

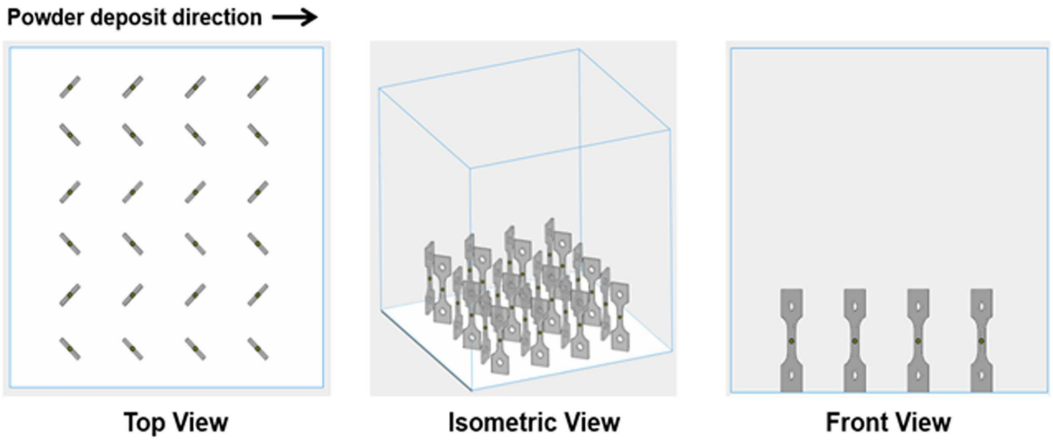


도면12

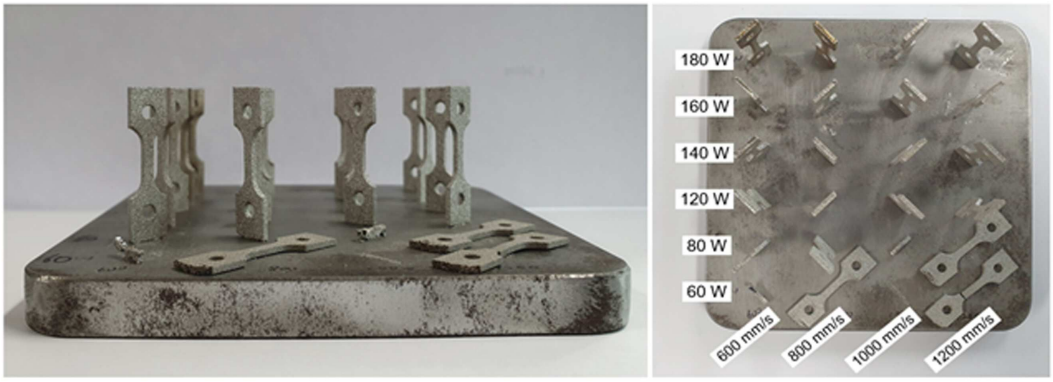
Relative density & Vickers hardness

No	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)	Hatching Space (mm)	Layer Thickness (mm)	Energy Density (J/mm³)	Volume (mm³)	Weight (g)	Density (g/mm³)	Relative density	Vickers hardness (Hv)
1	60	600	0.066	0.05	30.3030303	510.90	3.26	0.64	79.71	175.0
2	60	800	0.066	0.05	22.72727273	510.39	2.96	0.58	72.44	119.6
3	60	1000	0.066	0.05	18.18181818	510.58	2.71	0.53	66.29	85.4
4	60	1200	0.066	0.05	15.15151515	510.25	2.48	0.49	60.83	59.6
5	80	600	0.066	0.05	40.4040404	510.51	3.35	0.66	81.95	214.6
6	80	800	0.066	0.05	30.3030303	510.20	3.28	0.64	80.45	177.1
7	80	1000	0.066	0.05	24.24242424	510.81	3.02	0.59	73.80	169.9
8	80	1200	0.066	0.05	20.2020202	510.10	2.80	0.55	68.52	147.4
9	100	600	0.066	0.05	50.50505051	510.20	3.46	0.68	84.73	192.0
10	100	800	0.066	0.05	37.87878788	509.98	3.45	0.68	84.58	180.5
11	100	1000	0.066	0.05	30.3030303	510.03	3.34	0.65	81.86	170.9
12	100	1200	0.066	0.05	25.25252525	510.15	3.10	0.61	75.88	155.8
13	120	600	0.066	0.05	60.60606061	510.10	3.58	0.70	87.61	201.9
14	120	800	0.066	0.05	45.45454545	510.10	3.63	0.71	88.88	180.5
15	120	1000	0.066	0.05	36.36363636	510.08	3.56	0.70	87.33	196.7
16	120	1200	0.066	0.05	30.3030303	509.99	3.40	0.67	83.30	180
17	140	600	0.066	0.05	70.70707071	510.44	3.68	0.72	90.17	199.7
18	140	800	0.066	0.05	53.03030303	509.82	3.72	0.73	91.18	190.7
19	140	1000	0.066	0.05	42.42424242	509.99	3.71	0.73	90.88	202.7
20	140	1200	0.066	0.05	35.35353535	510.23	3.61	0.71	88.45	193.1
21	160	600	0.066	0.05	80.80808081	510.22	3.71	0.73	90.81	194.4
22	160	800	0.066	0.05	60.60606061	510.33	3.75	0.74	91.88	196.1
23	160	1000	0.066	0.05	48.48484848	510.26	3.75	0.74	91.91	209.4
24	160	1200	0.066	0.05	40.4040404	510.31	3.72	0.73	91.15	194.9
25	180	600	0.066	0.05	90.90909091	510.21	3.70	0.72	90.56	188.4
26	180	800	0.066	0.05	68.18181818	510.22	3.77	0.74	92.37	203.4
27	180	1000	0.066	0.05	54.54545455	510.48	3.78	0.74	92.63	200.5
28	180	1200	0.066	0.05	45.45454545	510.08	3.77	0.74	92.30	202.6

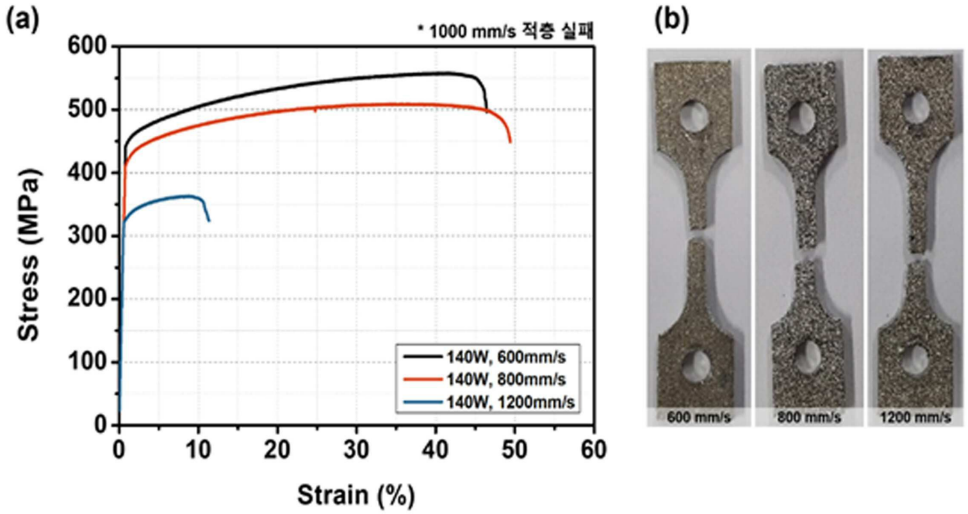
도면13



도면14



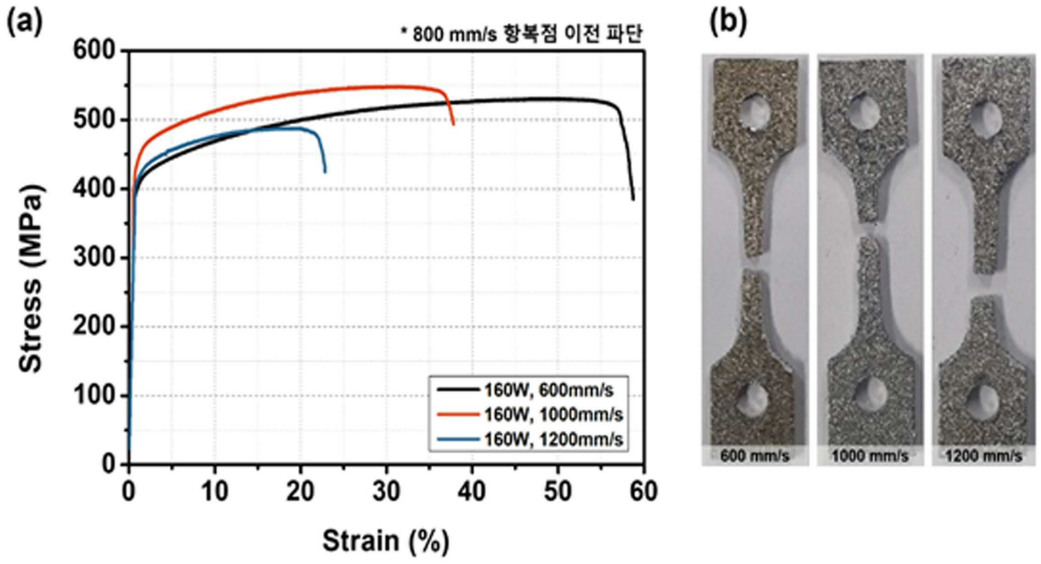
도면15



도면16

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
600 mm/s	449	558	46	20,654
800 mm/s	420	510	48	20,160
1200 mm/s	324	364	11	3,564

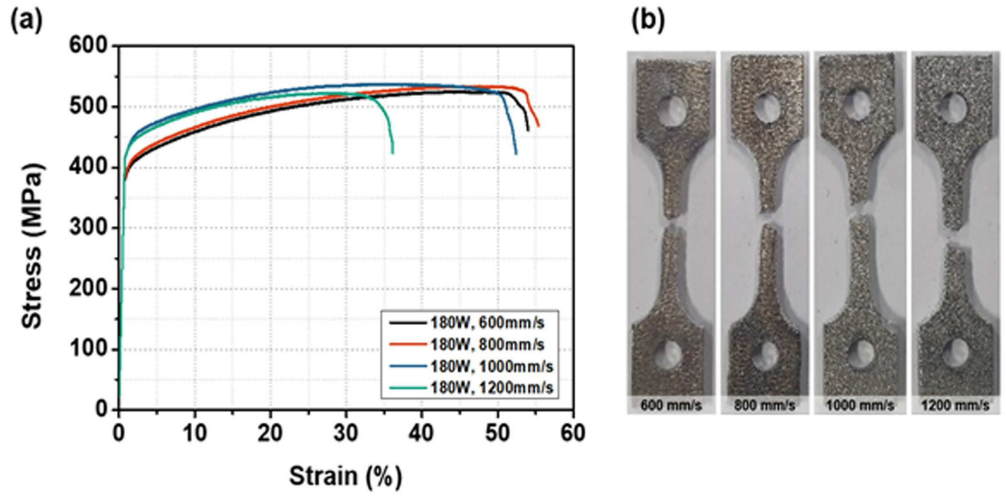
도면17



도면18

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
600 mm/s	403	531	58	23,374
1000 mm/s	438	549	36	15,738
1200 mm/s	427	523	35	14,945

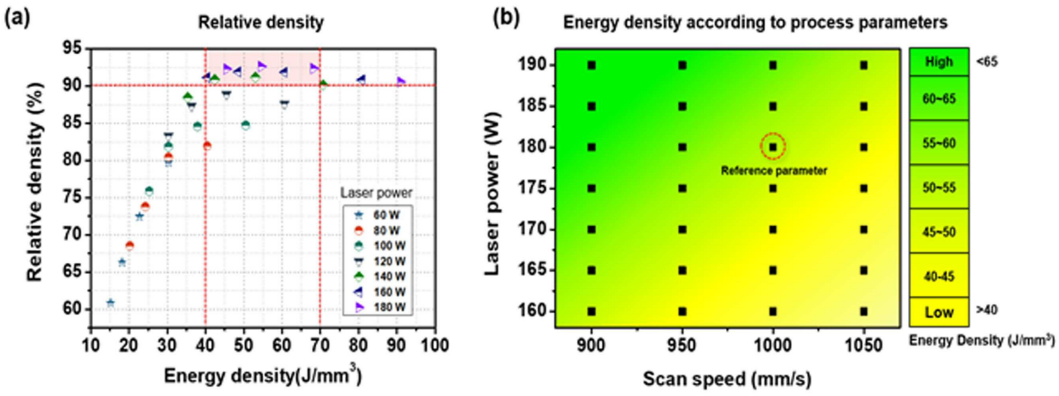
도면19



도면20

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
600 mm/s	392	531	53	20,776
800 mm/s	392	535	54	21,168
1000 mm/s	426	538	52	22,152
1200 mm/s	427	523	35	14,945

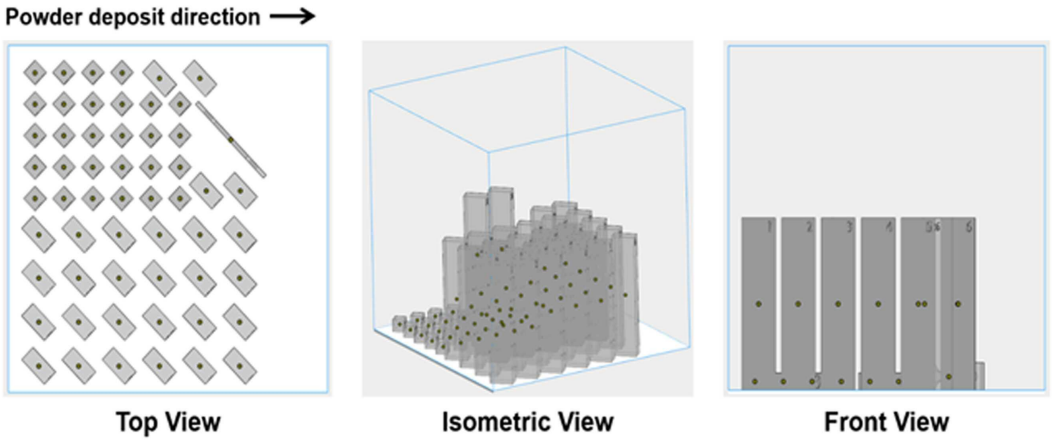
도면21



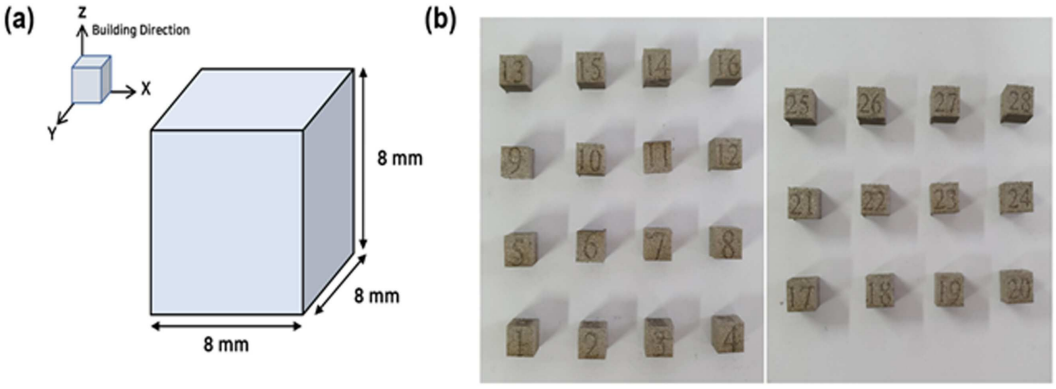
도면22

	Process parameter				
No	Laser power (W)	Scan rate (mm/s)	Hatch space (mm)	Layer thickness (mm)	Energy density (J/mm³)
1	190	900	0.066	0.05	63.97306397
2	190	950	0.066	0.05	60.60606061
3	190	1000	0.066	0.05	57.57575758
4	190	1050	0.066	0.05	54.83405483
5	185	900	0.066	0.05	62.28956229
6	185	950	0.066	0.05	59.01116427
7	185	1000	0.066	0.05	56.06060606
8	185	1050	0.066	0.05	53.39105339
9	180	900	0.066	0.05	60.60606061
10	180	950	0.066	0.05	57.41626794
11	180	1000	0.066	0.05	54.54545455
12	180	1050	0.066	0.05	51.94805195
13	175	900	0.066	0.05	58.92255892
14	175	950	0.066	0.05	55.82137161
15	175	1000	0.066	0.05	53.03030303
16	175	1050	0.066	0.05	50.50505051
17	170	900	0.066	0.05	57.23905724
18	170	950	0.066	0.05	54.22647528
19	170	1000	0.066	0.05	51.51515152
20	170	1050	0.066	0.05	49.06204906
21	165	900	0.066	0.05	55.55555556
22	165	950	0.066	0.05	52.63157895
23	165	1000	0.066	0.05	50
24	165	1050	0.066	0.05	47.61904762
25	160	900	0.066	0.05	53.87205387
26	160	950	0.066	0.05	51.03668262
27	160	1000	0.066	0.05	48.48484848
28	160	1050	0.066	0.05	46.17604618

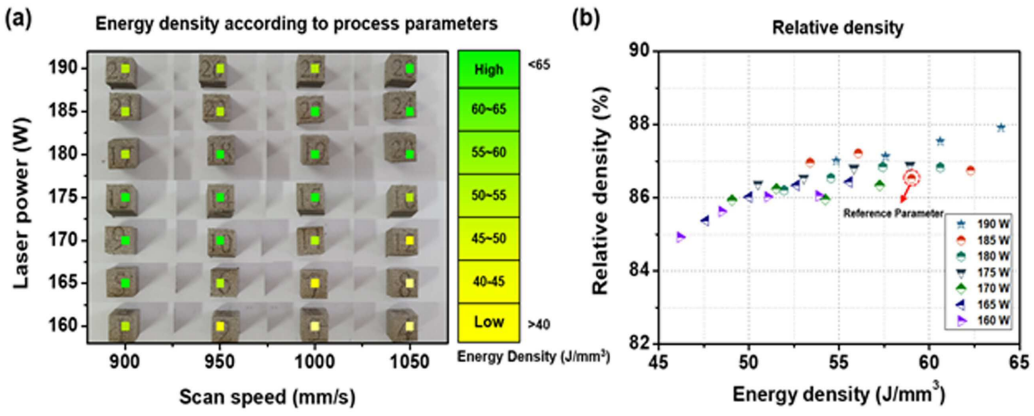
도면23



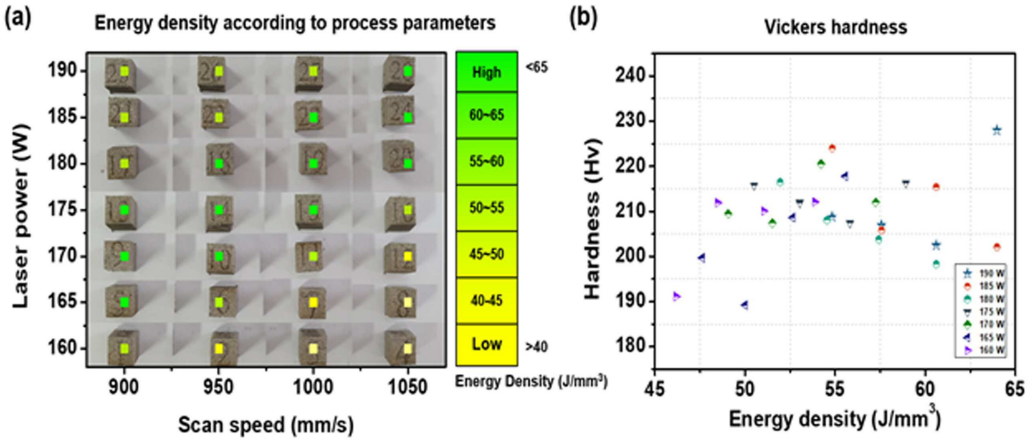
도면24



도면25



도면26



도면27

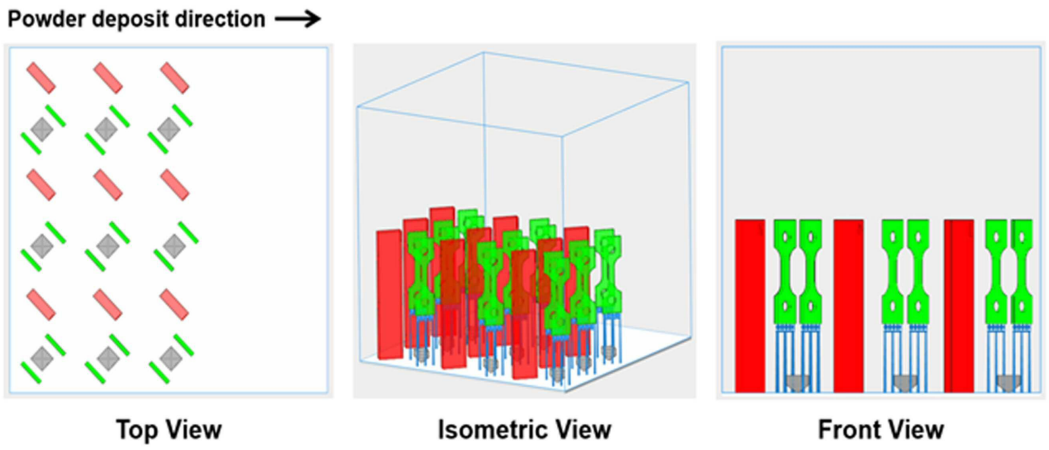
Relative density & Vickers hardness

No	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)	Hatching Space (mm)	Layer Thickness (mm)	Energy Density (J/mm³)	Volume (mm³)	Weight (g)	Density (g/mm³)	Relative density	Vickers hardness (Hv)
1	190	900	0.066	0.05	63.97306397	124.65	0.8767	0.70	87.92	228
2	190	950	0.066	0.05	60.60606061	124.49	0.8718	0.70	87.54	202.5
3	190	1000	0.066	0.05	57.57575758	124.55	0.8681	0.70	87.13	206.9
4	190	1050	0.066	0.05	54.83405483	124.44	0.8662	0.70	87.01	208.8
5	185	900	0.066	0.05	62.28956229	124.52	0.8641	0.69	86.74	202.1
6	185	950	0.066	0.05	59.01116427	124.42	0.8612	0.69	86.52	215.4
7	185	1000	0.066	0.05	56.06060606	124.62	0.8695	0.70	87.22	205.8
8	185	1050	0.066	0.05	53.39105339	124.39	0.8654	0.70	86.96	224
9	180	900	0.066	0.05	60.60606061	124.43	0.8643	0.69	86.83	198.3
10	180	950	0.066	0.05	57.41626794	124.39	0.8642	0.69	86.84	203.8
11	**180**	**1000**	**0.066**	**0.05**	**54.54545455**	**124.41**	**0.8613**	**0.69**	**86.54**	**208.1**
12	180	1050	0.066	0.05	51.94805195	124.44	0.8582	0.69	86.20	216.5
13	175	900	0.066	0.05	58.92255892	124.43	0.8649	0.70	86.89	26.3
14	175	950	0.066	0.05	55.82137161	124.43	0.8641	0.69	86.81	207.4
15	175	1000	0.066	0.05	53.03030303	124.43	0.8614	0.69	86.54	211.9
16	175	1050	0.066	0.05	50.50505051	124.40	0.8596	0.69	86.38	215.8
17	170	900	0.066	0.05	57.23905724	124.53	0.8602	0.69	86.34	212
18	170	950	0.066	0.05	54.22647528	124.35	0.8551	0.69	85.96	220.5
19	170	1000	0.066	0.05	51.51515152	124.40	0.8583	0.69	86.25	207.4
20	170	1050	0.066	0.05	49.06204906	124.44	0.8555	0.69	85.94	209.5
21	165	900	0.066	0.05	55.55555556	124.46	0.8606	0.69	86.43	217.8
22	165	950	0.066	0.05	52.63157895	124.47	0.8597	0.69	86.34	208.6
23	165	1000	0.066	0.05	50	124.48	0.8566	0.69	86.02	189.2
24	165	1050	0.066	0.05	47.61904762	124.47	0.8501	0.68	85.38	199.7
25	160	900	0.066	0.05	53.87205387	124.46	0.8568	0.69	86.05	212.1
26	160	950	0.066	0.05	51.03668262	124.43	0.8564	0.69	86.03	210.1
27	160	1000	0.066	0.05	48.48484848	124.54	0.8531	0.68	85.62	211.9
28	160	1050	0.066	0.05	46.17604618	124.42	0.8453	0.68	84.92	191.1

도면28

Process parameter					
No	Laser power (W)	Scan speed (mm/s)	Hatch space (mm)	Layer thickness (mm)	Energy density (J/mm³)
1	180	900	0.066	0.05	60.60606061
2	180	1000	0.066	0.05	54.54545455
3	180	1100	0.066	0.05	49.58677686
4	160	900	0.066	0.05	53.87205387
5	160	1000	0.066	0.05	48.48484848
6	160	1100	0.066	0.05	44.07713499
7	140	900	0.066	0.05	47.13804714
8	140	1000	0.066	0.05	42.42424242
9	140	1100	0.066	0.05	38.56749311

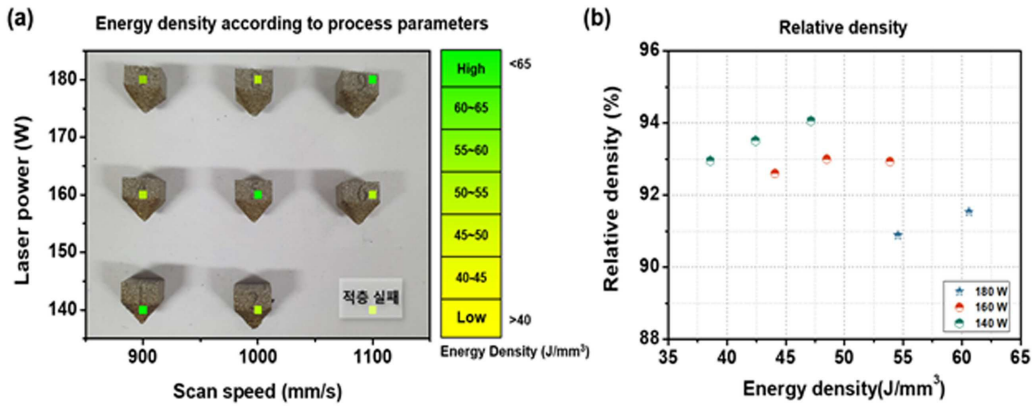
도면29



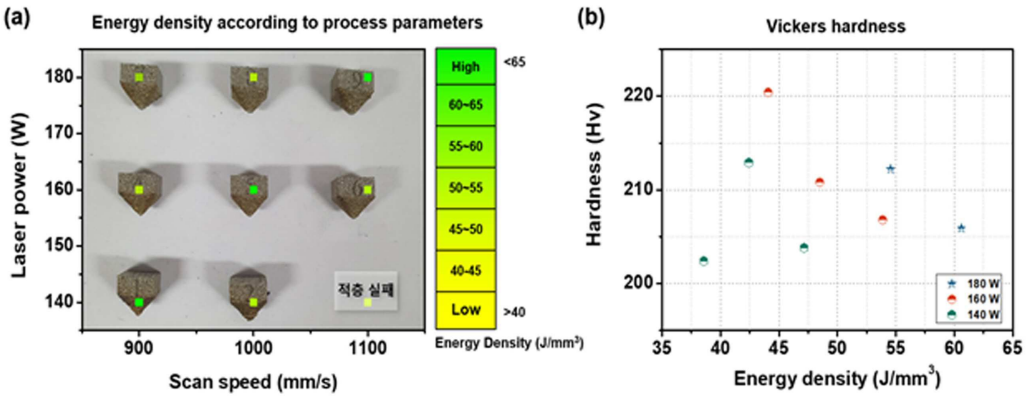
도면30



도면31



도면32

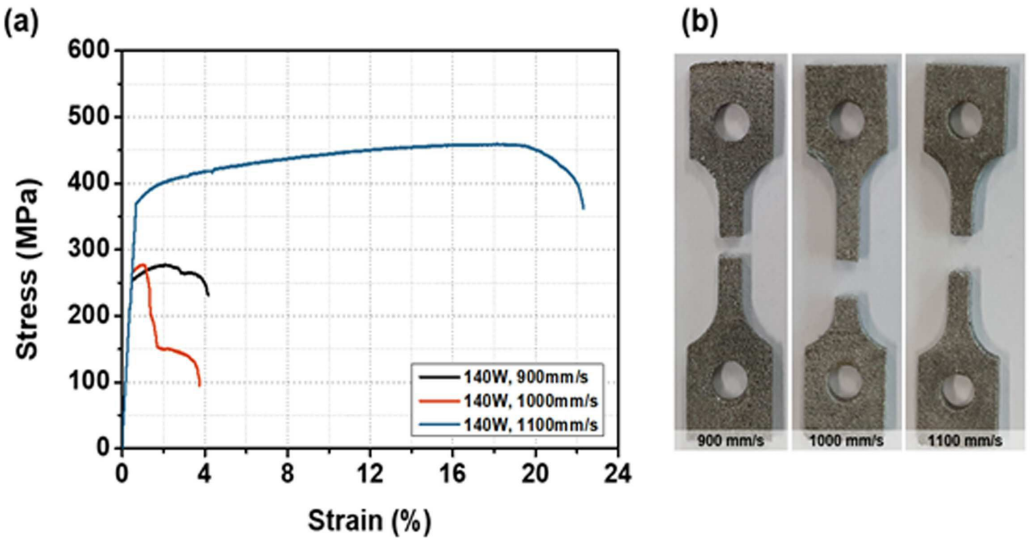


도면33

Relative density & Vickers hardness

No	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)	Hatching Space (mm)	Layer Thickness (mm)	Energy Density (J/mm3)	Volume (mm³)	Weight (g)	Density (g/mm3)	Relative density	Vickers hardness (Hv)
1	180	900	0.066	0.05	60.60606061	85.71	0.6276	0.73	91.53	205.9
2	180	1000	0.066	0.05	54.54545455	85.66	0.6228	0.73	90.88	212.2
3	180	1100	0.066	0.05	49.58677686	85.68	-	-	-	-
4	160	900	0.066	0.05	53.87205387	85.64	0.6367	0.74	92.93	206.8
5	160	1000	0.066	0.05	48.48484848	85.67	0.6374	0.74	93.00	210.8
6	160	1100	0.066	0.05	44.07713499	85.64	0.6344	0.74	92.6	220.4
7	140	900	0.066	0.05	47.13804714	85.70	0.6449	0.75	94.06	203.8
8	140	1000	0.066	0.05	42.42424242	85.63	0.6406	0.75	93.51	212.9
9	140	1100	0.066	0.05	38.56749311	85.64	0.6368	0.74	92.95	202.4

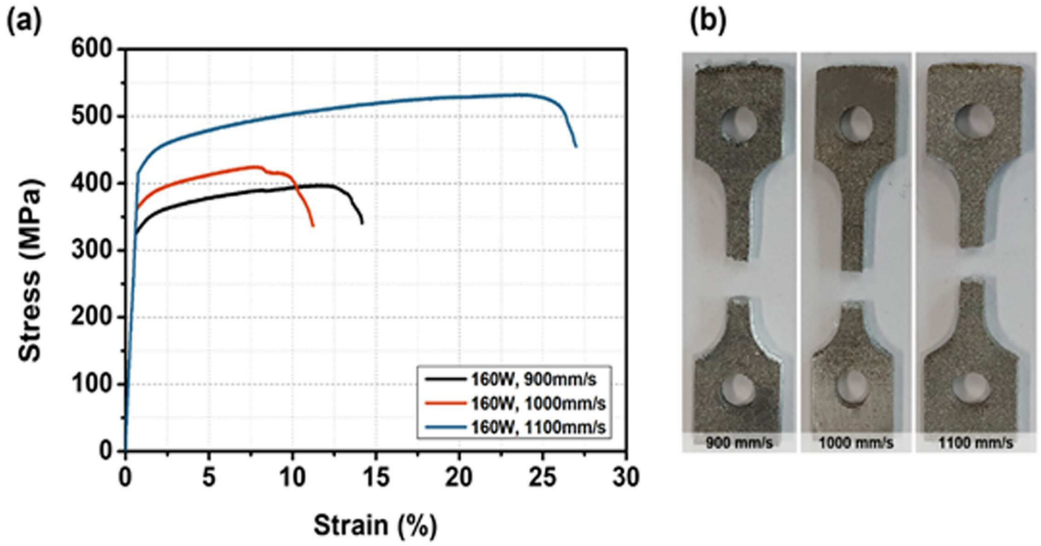
도면34



도면35

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
900mm/s	258	277	3.8	980
1000mm/s	271	277	3.6	980
1100mm/s	374	460	22	8,228

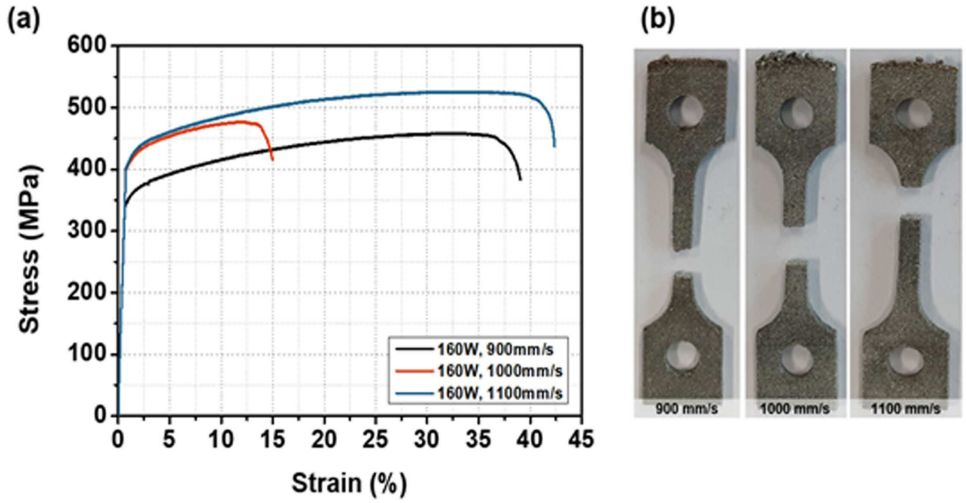
도면36



도면37

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
900mm/s	331	397	14	980
1000mm/s	369	425	11	4,059
1100mm/s	421	533	26	10,946

도면38



도면39

Specimen	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	YS*EL
900mm/s	347	459	39	13,533
1000mm/s	406	478	14	4,059
1100mm/s	411	533	42	17,262

도면40

	Input data				Output data		
Direction	Scan speed (mm/s)	Laser power (W)	Hatch space (μm)	Layer thickness (μm)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
0	700	175	120	60	534	653	16.2
0	700	175	120	60	528	659	16.6
1	700	175	120	60	444	567	8
0	150	600	80	40	488.9	664.7	29.3
1	150	600	80	40	436.3	499.8	13.7
0	230	950	60	30	375.87	636.87	32.46
0	1000	200	100	20	487	594	49
0	750	200	110	50	554	684.4	36.6
0	1000	90	150	30	511.6	621.7	20.4
1	1000	90	150	30	430.4	509	12.4
0	1000	90	150	30	220	520	42.5
0	3000	90	80	25	531.8	573.3	41.3
0	1400	159	50	30	462	555	6.44
1	1400	189	50	30	524	647	15.74
0	1600	180	75	30	397	668	37
0	1600	180	75	30	423	695	41
1	1600	180	75	30	387	564	35
0	8.5	250	380	190	240	590	20
0	800	190	70	30	456	703	45

* Direction: horizontal (0), vertical (1), Diagonal (2)

도면41

(a) Parameter

Parameter					
LR	nEpoch	nLayer	nNode	BN	Mean Loss
8.83×10^{-3}	500	3	97	0	0.02421
1.70×10^{-6}	500	10	19	1	0.02542
5.07×10^{-6}	500	4	63	1	0.02748

(b) Result comparison

Training set

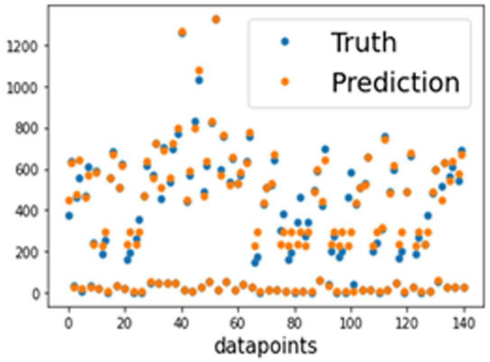
YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
375.87	636.87	32.45	452.52	629.25	31.28
462	555	6.44	476.94	646.89	24.68
473	610	35	464.81	570.24	28.77
240	590	20	235.47	586.88	20.09
186	257	2	228.45	298.70	5.81
554	684.4	36.6	555.96	671.98	37.88
511.6	621.7	20.4	507.51	617.00	20.75
160	197	2	232.32	298.24	5.69
264	357	3	234.28	297.95	5.62
Experimental			ANN predicted		

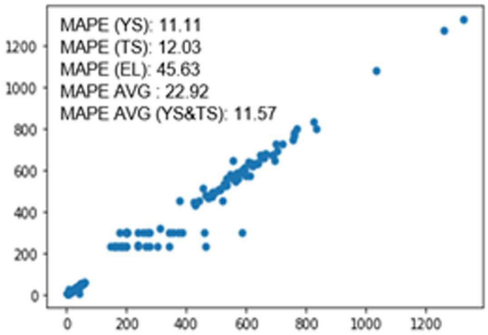
Test set

YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
387	564	35	491.68	610.99	15.60
436.3	499.8	13.7	482.92	597.12	64.46
575	615	30	545.55	638.02	26.38
478	603	18	464.79	570.20	28.78
660	856	55	606.77	823.73	40.53
414	530	1	228.45	298.75	5.81
220	520	42.5	507.53	616.69	20.75
511	621	20	507.53	616.69	20.75
397	668	37	441.75	644.08	31.60
Experimental			ANN predicted		

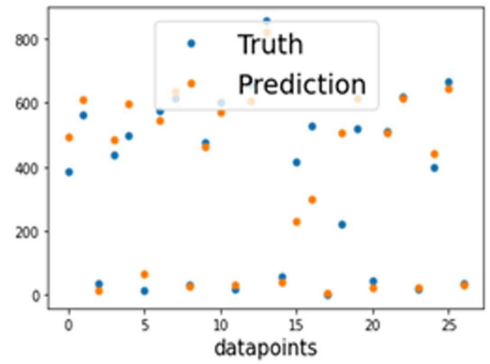
도면42

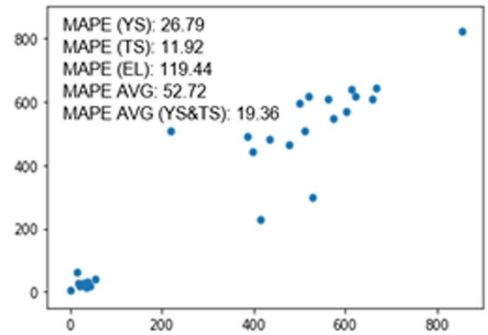
(a) Training set



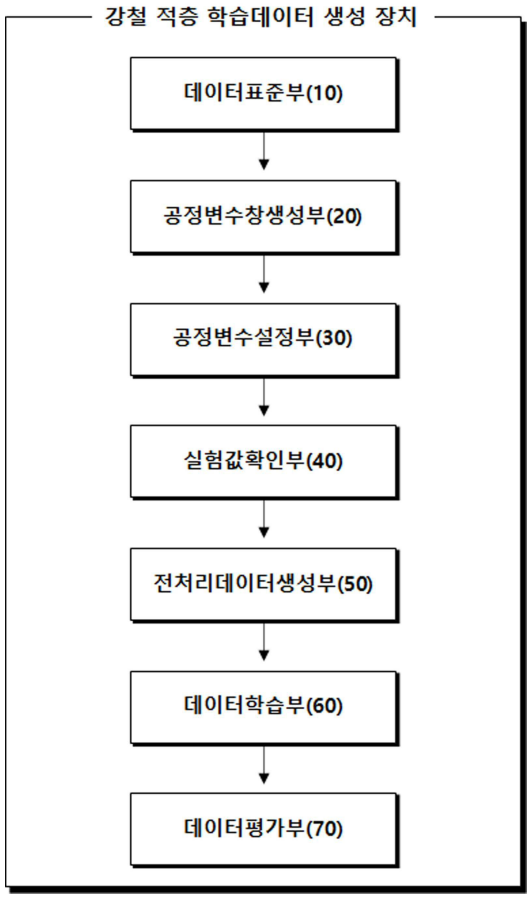


(b) Test set





도면43


강철 적층 학습데이터 생성 장치
데이터표준부(10)
공정변수창생성부(20)
공정변수설정부(30)
실험값확인부(40)
전처리데이터생성부(50)
데이터학습부(60)
데이터평가부(70)