



(19) 대한민국 지식재산청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2026-0009584
(43) 공개일자 2026년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B23K 26/342 (2014.01) B08B 7/02 (2006.01)
B23K 26/14 (2014.01) B23K 26/144 (2014.01)
B23K 37/00 (2026.01) B23K 103/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B23K 26/342 (2015.10)
B08B 7/028 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2024-0091770

(22) 출원일자 2024년07월11일

심사청구일자 2024년07월11일

(71) 출원인

부산대학교 산학협력단

부산광역시 금정구 부산대학교로63번길 2 (장전동, 부산대학교)

(72) 발명자

박상후

부산광역시 금정구 부산대학교로63번길 2 (장전동)

김홍석

부산광역시 금정구 부산대학교로63번길 2 (장전동)

(74) 대리인

오위환, 박진기, 정기택

전체 청구항 수 : 총 10 항

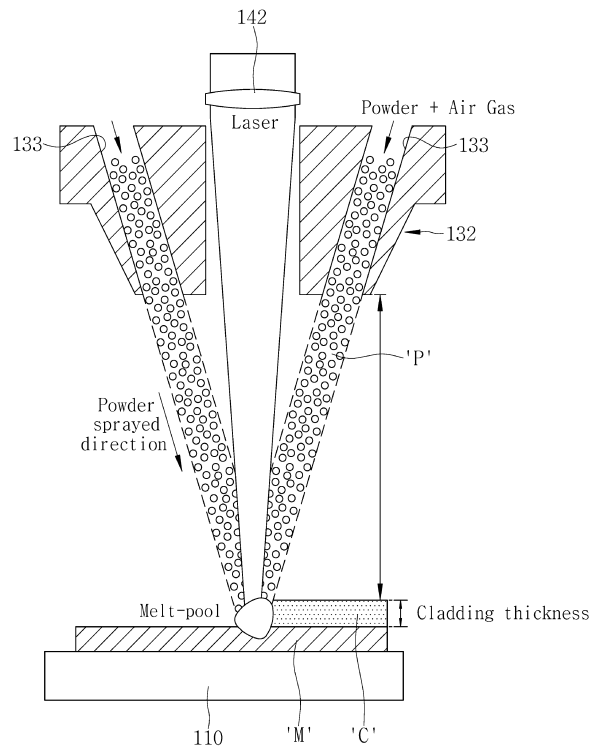
(54) 발명의 명칭 레이저 직접 용착을 이용한 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 금속 모재의 표면에 단일 세라믹 분말을 공급하고 세라믹 분말에 레이저를 조사하여 금속 모재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성함에 있어서, 레이저 출력과 조사 시간을 최적화하여 세라믹 분말이 금속 모재의 표면에 직접 용착되면서 모재 금속과 합금 형태로 섞여서 계면에서 균열이 발생하지 않으며, 두께 변화를 최소화할

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



수 있는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법은, (S1) 금속 기재의 표면에 세라믹 분말을 공급하는 단계; 및, (S2) 상기 세라믹 분말에 레이저 빔을 조사하여 금속 기재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단계;를 포함하며, P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔 직경(mm)이고, 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $Especific = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고, 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $Gspecific = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때, 상기 (S2) 단계에서 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 소정의 수학적식을 만족하도록 제어하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/144 (2015.10)

B23K 26/1464 (2013.01)

B23K 37/00 (2026.01)

B23K 2103/52 (2018.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345374146
과제번호	2021R1A6C101A449
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국기초과학지원연구원
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	핵심연구지원센터조성지원과제(부산대 하이브리드 제조혁신 엔지니어링 센터)
과제수행기관명	부산대학교 산학협력단
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711187789
과제번호	2023R1A2C1007231
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	고품질 하이브리드 금속-세라믹 복합체 클래딩 공정개발
과제수행기관명	부산대학교 산학협력단
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

(S1) 금속 기재의 표면에 세라믹 분말을 공급하는 단계; 및,

(S2) 상기 세라믹 분말에 레이저 빔을 조사하여 금속 기재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단계;

를 포함하며,

P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔 직경(mm)이고,

단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $E_{specific} = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고,

단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $G_{specific} = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때,

상기 (S2) 단계에서는,

아래의 수학적

$$y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7, \text{ 및 } y > 50 \text{ (여기서 } y \text{는 } E_{specific}, x \text{는 } G_{specific} \text{ 임)}$$

을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 (S1) 단계 및 (S2) 단계에서는 노즐을 통해 세라믹 분말을 금속 기재의 표면의 일 지점으로 수렴하도록 분사함과 동시에 분사되는 세라믹 분말을 향해 레이저 빔을 조사하여 클래드층을 형성하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 (S1) 단계를 진행하기 전에 금속 기재의 표면을 에탄올로 초음파 세척하여 불순물을 제거하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 (S2) 단계가 완료된 후, (S3) 초음파 혼의 상측에서 무게추로 연직방향으로 정하중을 가하면서 초음파 혼을 클래드층에 접촉시킨 상태에서 초음파 혼에 진동을 전달하여 클래드층을 타격하여 결정립 미세화 표면 처리하는 단계를 진행하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 (S3) 단계에서, 상기 금속 기재를 일정 온도로 가열된 히팅베드(heating bed) 상에 안착시키고, 초음파 혼과 히팅베드를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동하면서 클래드층에 초음파 진동을 가하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 6

(S1) 금속 기재의 표면에 세라믹 분말을 공급하는 단계;

(S2) 상기 세라믹 분말에 레이저 빔을 조사하여 금속 기재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단계; 및,

(S3) 초음파 혼의 상측에서 무게추로 연직방향으로 정하중을 가하면서 초음파 혼을 클래드층에 접촉시킨 상태에서 초음파 혼에 진동을 전달하여 클래드층을 타격하여 결정립 미세화 표면 처리하는 단계;

를 포함하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 (S1) 단계 및 (S2) 단계에서는 노즐을 통해 세라믹 분말을 금속 모재의 표면의 일 지점으로 수렴하도록 분사함과 동시에 분사되는 세라믹 분말을 향해 레이저 빔을 조사하여 클래드층을 형성하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔 직경(mm)이고,

단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $Especific = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고,

단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $Gspecific = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때,

상기 (S2) 단계에서는,

아래의 수학적

$$y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7, \text{ 및 } y > 50 \text{ (여기서 } y \text{는 } Especific, x \text{는 } Gspecific \text{ 임)}$$

을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 (S3) 단계에서, 상기 금속 모재를 일정 온도로 가열된 히팅베드(heating bed) 상에 안착시키고, 초음파 혼과 히팅베드를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동하면서 클래드층에 초음파 진동을 가하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 (S1) 단계를 진행하기 전에 금속 모재의 표면을 에탄올로 초음파 세척하여 불순물을 제거하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 금속 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 금속 모재의 표면에 세라믹 분말을 분사하고 세라믹 분말에 레이저를 조사하여 금속 모재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 레이저를 이용한 금속표면강화 공정에는 대표적으로 레이저 표면합금화(Laser Surface Alloying, LSA)와 레이저 클래딩(Laser Cladding, LC)이 있다.

[0003] 레이저 표면합금화(LSA)는 세라믹 분말을 폴리머 접착제와 섞어서 반죽을 만들고, 타겟에 반죽을 페인팅하여 레이저로 모재와 함께 용융시키는 기술이다. 레이저 표면합금화(LSA) 기술의 특징은 모재의 두께변화가 적고 강화층의 화학적 성분이 모재와 유사하다는 것이다. 또한, 세라믹 분말이 모재의 용융 풀과 섞여 응고됨에 따라 모재의 안쪽으로 비드가 형성되며, 박리에 대해 안정적인 기하학적 형상을 갖는 강화층이 만들어진다.

[0004] 그러나 반죽 제조 및 페인팅 절차가 번거롭고 임의의 모재형상(곡면, 단차 등)에 대해 적용이 어려워 최근 산업에서는 잘 사용되지 않고 있다.

[0005] 레이저 표면합금화(LSA)와 달리, 레이저 클래딩(LC) 공정에서는 노즐을 통해 금속분말을 공급한다. 레이저 클래

딩(LC) 공정에서는 분말 분사와 레이저 조사가 동시에 이루어지기 때문에 분말 공급속도, 레이저 파워 등의 공정변수의 실시간 제어가 용이하며, 기능성 경사 코팅층(FGC) 제작이 가능한 이점이 있다.

- [0006] 레이저 클래딩(LC)에서 가장 주요한 문제 중 하나는 클래드층과 모재의 물성차이로 인한 박리 현상이다.
- [0007] 이러한 레이저 클래딩(LC)에서 발생하는 박리를 막기 위해 한정된 범위의 상업화된 클래딩용 합금분말을 세라믹 분말과 함께 사용하거나 화학적 성분 및 물리적 특성이 모재와 유사한 중간재 분말을 함께 섞어서 사용하고 있다.
- [0008] 이 경우 분말 혼합물을 사전 제조하기 위한 기계적 혼합(mechanical mixing) 및 볼 밀링(ball milling) 등의 추가적인 공정이 요구된다.
- [0009] 도 1에 도시한 것과 같이, 세라믹 분말(SiC)과 클래딩 금속분말(316L)을 함께 분사하면서 레이저를 조사하는 기존의 레이저 클래딩(LC)에서는 클래딩 금속분말이 레이저 빔에 의해 용융됨에 따라 모재 표면 위에 수 mm 두께의 클래드 층이 덧입히지며, 불룩한 싱글비드 단면 형상이 나타난다.
- [0010] 클래딩 공정 후 나타나는 클래드 층의 waviness와 불완전하게 용융된 입자들은 응력집중의 원인이 되며, 부식 및 피로하중을 겪으며 부스러기를 생성하게 되므로 이들은 실제 산업에의 적용 전에 제거되어야 한다.
- [0011] 그러나 고경도의 클래드층을 머시닝을 통해 깎아내는 작업은 공구의 손상을 유발할 수 있을 뿐만 아니라 클래드 층에 무리한 하중을 주어 균열을 일으킬 수 있다.
- [0012] 또한, 클래드층에 의한 두께상승은 제품의 치수 디자인 단계에서 고려되어야 하는 추가적인 요인으로 작용한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2023-0008125호(2023.01.13. 공개)
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-2458041호(2022.10.19. 등록)

비특허문헌

- [0014] (비특허문헌 0001) '초음파 나노표면개질기술의 특성과 활용방안 연구', 편영식 외 4, 대한기계학회논문집 A권, 제33권 제3호, pp. 190~195, 2009년.
- (비특허문헌 0002) '금속 클래딩 공정 기술의 최신동향과 응용'. 조영관, 박상후, 대한기계학회 기계저널, 58(9), 51-56, 2018년 09월

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명은 상기한 문제를 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 금속 모재의 표면에 단일 세라믹 분말을 공급하고 세라믹 분말에 레이저를 조사하여 금속 모재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성함에 있어서, 레이저 출력과 조사 시간을 최적화하여 세라믹 분말이 금속 모재의 표면에 직접 용착되면서 모재 금속과 합금 형태로 섞여서 계면에서 균열이 발생하지 않으며, 두께 변화를 최소화할 수 있는 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 한 형태에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법은, (S1) 금속 모재의 표면에 세라믹 분말을 공급하는 단계; 및, (S2) 상기 세라믹 분말에 레이저 빔을 조사하여 금속 모재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단계;를 포함하며,
- [0017] P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔

직경(mm)이고,

단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $Especific = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고,

단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $Gspecific = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때,

상기 (S2) 단계에서는,

아래의 수학적

$y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7$, 및 $y > 50$ (여기서 y는 Especific, x는 Gspecific 임)

을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어하는 것을 특징으로 한다.

상기 (S1) 단계 및 (S2) 단계에서는 노즐을 통해 세라믹 분말을 금속 모재의 표면의 일 지점으로 수렴하도록 분사함과 동시에 분사되는 세라믹 분말을 향해 레이저 빔을 조사하여 클래드층을 형성할 수 있다.

상기 (S1) 단계를 진행하기 전에 금속 모재의 표면을 에탄올로 초음파 세척하여 불순물을 제거할 수 있다.

상기 (S2) 단계가 완료된 후, (S3) 초음파 혼의 상측에서 무게추로 연직방향으로 정하중을 가하면서 초음파 혼을 클래드층에 접촉시킨 상태에서 초음파 혼에 진동을 전달하여 클래드층을 타격하여 결정립 미세화 표면 처리하는 단계를 추가로 진행할 수 있다.

상기 (S3) 단계에서, 상기 금속 모재를 일정 온도로 가열된 히팅베드(heating bed) 상에 안착시키고, 초음파 혼과 히팅베드를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동하면서 클래드층에 초음파 진동을 가할 수 있다.

본 발명의 다른 한 형태에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법은,

(S1) 금속 모재의 표면에 세라믹 분말을 공급하는 단계;

(S2) 상기 세라믹 분말에 레이저 빔을 조사하여 금속 모재의 표면에 세라믹 클래드층을 형성하는 단계; 및,

(S3) 초음파 혼의 상측에서 무게추로 연직방향으로 정하중을 가하면서 초음파 혼을 클래드층에 접촉시킨 상태에서 초음파 혼에 진동을 전달하여 클래드층을 타격하여 결정립 미세화 표면 처리하는 단계;

를 포함할 수 있다.

상기 (S1) 단계 및 (S2) 단계에서는 노즐을 통해 세라믹 분말을 금속 모재의 표면의 일 지점으로 수렴하도록 분사함과 동시에 분사되는 세라믹 분말을 향해 레이저 빔을 조사하여 클래드층을 형성할 수 있다.

여기서, P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔 직경(mm)이고,

단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $Especific = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고,

단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $Gspecific = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때,

상기 (S2) 단계에서는,

아래의 수학적

$y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7$, 및 $y > 50$ (여기서 y는 Especific, x는 Gspecific 임)

을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어할 수 있다.

상기 (S3) 단계에서, 상기 금속 모재를 일정 온도로 가열된 히팅베드(heating bed) 상에 안착시키고, 초음파 혼과 히팅베드를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동하면서 클래드층에 초음파 진동을 가할 수 있다.

상기 (S1) 단계를 진행하기 전에 금속 모재의 표면을 에탄올로 초음파 세척하여 불순물을 제거할 수 있다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 단일 세라믹 분말의 레이저 클래딩 공정에서 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량

(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 소정의 수학적식에 근거하여 제어함으로써 금속 모재와 클래드층의 계면에서 균열이 발생하지 않으며, 두께 변화를 최소화할 수 있게 된다.

[0044] 또한, 레이저 클래딩 공정 후에 초음파 진동에 의한 클래드층의 표면 개질 처리를 실행하게 되면, 세라믹-금속 합금층의 결정조직을 미세화 하고 압축 잔류응력을 증대시켜 기계적 강성과 경도를 급격하게 향상시켜서 고가의 고강도 세라믹 분말을 사용하지 않더라도 충분한 기계적 강성을 가질 수 있다.

[0045] 이러한 본 발명의 제조 방법을 통해서 금속 모재의 표면부 정도 향상을 통한 내마모성 기계부품의 제작이 가능하며, 세라믹-금속 혼합 합금층으로 인해서 치수변화가 거의 없어 기계적 형상가공(머시닝)이 용이한 효과를 얻을 수 있고, 국방산업, 항공우주산업 등의 고강도 기계부품 제작에 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 종래의 레이저 클래딩(LC) 공정에 의해 제작된 금속 모재의 표면에 대한 SEM 사진이다.

도 2는 본 발명에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법을 실행하기 위한 레이저 클래딩 장치의 일 실시예를 나타낸 도면이다.

도 3은 도 2에 도시한 레이저 클래딩 장치의 작동례를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 세라믹 분말 레이저 클래딩(LC) 공정에 의해 제작된 금속 모재의 표면에 대한 SEM 사진이다.

도 5는 세라믹 분말에 대한 레이저 클래딩 시험 결과, 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대한 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)에 따른 균열 발생 결과를 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법 중 초음파 진동 표면 개질 처리를 실행하기 위한 초음파 진동 표면 처리장치의 일 실시예를 나타낸 도면이다.

도 7은 도 6에 도시한 초음파 진동 표면 처리장치의 작동례를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 부여하였다.

[0048] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결(접속, 접촉, 결합)"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.

[0049] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0050] 도 2 및 도 3은 본 발명에 따른 단일 세라믹-금속 합금층의 제조 방법을 실행하기 위한 레이저 클래딩 장치의 일 실시예를 나타낸다.

[0051] 도 2 및 도 3을 참조하면, 레이저 클래딩 장치(100)는, 금속 모재(M)가 안착되는 작업베드(110)와, 상기 작업베드(110)를 상하 방향(Z축 방향)으로 이동시키는 Z축 스테이지(115), 상기 작업베드(110)의 상측에 선형운동장치에 의해 X-Y 방향으로 수평 이동 가능하게 설치된 선형이동프레임(120), 상기 선형이동프레임(120)에 설치되어 세라믹 분말(P)을 공급하는 호퍼(131) 및 상기 호퍼(131)에서 공급되는 세라믹 분말(P)을 금속 모재(M)를 향해 분사하는 노즐(132)을 포함하는 분말공급모듈(130), 레이저 빔을 방출하는 레이저 발진기(140), 상기 노즐(132)의 중심부에 배치되어 레이저 발진기(140)에서 방출된 레이저 빔을 집속하는 대물렌즈(142), 분말 공급을 위해 노즐(132)로 가스를 공급하는 가스 공급기(150) 등을 포함할 수 있다.

- [0052] 상기 노즐(132)은 세라믹 분말(P)이 분사되는 노즐홀(133)이 원주방향을 따라 복수개가 일정 간격으로 배열되고, 각각의 노즐홀(133)은 방사상으로 하향 경사지게 형성되어 금속 모재(M)의 상부면을 향해 수렴하는 방향으로 세라믹 분말(P)을 분사한다.
- [0053] 상기 가스 공급기(150)는 산화 방지를 위해 아르곤(Ar) 가스를 공급할 수 있다.
- [0054] 이러한 레이저 클래딩 장치(100)를 이용하여 금속 모재(M)에 클래드층(C)을 형성하는 방법은 다음과 같다.
- [0055] 먼저, 레이저 클래딩을 하기 전에 금속 모재(M)의 표면을 에탄올로 초음파 세척하여 불순물을 제거한다.
- [0056] 호퍼(131)에 단일 소재의 세라믹 분말(P)을 저장하여 하측의 노즐(132)로 공급한다. 상기 세라믹 분말(P)은 임의의 다양한 종류의 세라믹 분말을 사용할 수 있다.
- [0057] 이어서 가스 공급기(150)에서 아르곤(Ar) 가스를 노즐(132)로 공급하여 세라믹 분말(P)을 금속 모재(M)의 상부면의 일 지점으로 수렴하도록 분사한다.
- [0058] 이와 동시에 레이저 발전기(140)에서 레이저 빔을 방출하면, 레이저 빔이 대물렌즈(142)를 통해 집속되면서 상기 수렴된 지점의 세라믹 분말(P)로 집중 조사되고, 금속 모재(M)와 세라믹 분말(P)이 용융된 후 상온에서 급속 냉각되어 금속 모재(M) 표면에 세라믹-금속 합금층의 클래드층(C)이 소정의 두께로(예를 들어 0.1~0.3 mm의 두께로) 형성된다(도 4의 SEM 사진 참조).
- [0059] 이 때, 금속 모재(M)와 클래드층(C)의 계면에서 균열이 발생하지 않도록 하기 위하여, 레이저 발전기(140)의 컨트롤러(141)는 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어하여 레이저 빔을 방출한다.
- [0060] 즉, P는 레이저 빔 파워(W), V는 레이저 빔 스캔 속도(mm/min), F는 단위시간당 분말공급량(g/min), d는 레이저 빔 직경(mm)이고,
- [0061] 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 $Especific = P/(V \times d)$ [J/mm²]로 정의하고,
- [0062] 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)을 $Gspecific = F/(V \times d)$ [g/mm²]로 정의할 때,
- [0063] 아래의 수학적
- [0064] $y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7$, 및 $y > 50$ (여기서 y는 Especific, x는 Gspecific 임)
- [0065] 을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)를 제어한다.
- [0066] 도 5의 그래프는 세라믹 분말에 대한 레이저 클래딩 결과, 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대한 단위 면적당 공급되는 레이저 빔의 에너지(Especific)에 따른 균열 발생 결과를 실험을 통해 확인한 것이다. 세라믹 분말로서 알루미나 세라믹 분말을 사용하였고, 금속 모재(M)는 SUS 316 으로 된 100 × 50 × 10 mm 크기의 직사각형 평판을 사용하였다.
- [0067] 도 5의 그래프에서 초록색으로 표시된 것은 균열이 발생하지 않은 것(Crack-free)이고, 붉은색으로 표시된 것은 균열이 발생한 것, 파란색으로 표시된 것은 용융 부족(Lack-of-fusion)으로 인해 클래드층이 형성되지 않은 것을 각각 나타낸다.
- [0068] 이 그래프에서 곡선은 균열이 발생하지 않은 것(Crack-free)과 균열이 발생한 것 사이에 포물선을 그릴 수 있으며, 상기 포물선의 식은
- [0069] $y = -9.3x^2 + 159.3x - 290.7$ 이다. 여기서 y는 Especific, x는 Gspecific 을 각각 나타낸다.
- [0070] 그리고 y가 50 J/mm² 보다 작은 경우에는 충분한 에너지가 제공되지 못하여 용융 부족(Lack-of-fusion)으로 인해 클래드층이 형성되지 않는다.
- [0071] 따라서, 레이저 클래딩을 수행할 때, 아래의 수학적
- [0072] $y > -9.3x^2 + 159.3x - 290.7$, 및 $y > 50$ (여기서 y는 Especific, x는 Gspecific 임)
- [0073] 을 만족하도록 단위 면적당 공급되는 세라믹 분말의 공급량(Gspecific)에 대해 단위 면적당 공급되는 레이저 빔

의 에너지(Especific)를 제어함으로써 금속 모재(M)와 클래드층(C)의 계면에서 균열이 발생하지 않게 한다.

- [0075] 상술한 것과 같은 레이저 클래딩 공정을 통해 금속 모재(M)의 표면에 클래드층(C)이 형성된 후, 클래드층(C)에 초음파 진동에 의한 타격을 가하는 초음파 나노 결정 표면 개질법(Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification, UNSM)을 시행함으로써 세라믹-금속 합금층인 클래드층(C)의 결정조직을 미세화 하고 압축 잔류응력을 증대시켜 기계적 강성과 경도를 급격하게 향상시켜서 고가의 고강도 세라믹 분말을 사용하지 않더라도 충분한 기계적 강성을 가지게 할 수 있다.
- [0076] 예를 들어, 도 6 및 도 7에 도시한 초음파 진동 표면 처리장치(200)를 사용하여 클래드층(C)에 초음파 진동에 의한 타격을 가함으로써 결정립 미세화 표면 처리를 할 수 있다.
- [0077] 초음파 진동 표면 처리장치(200)는 초음파 발진기(221)에 의해 초음파 진동을 발생시키는 진동자(222)와, 진동자(222)에서 발생한 진동을 증감시키는 부스터(Booster)(223)와, 부스터(223)와 연결되어 클래드층(C)과 직접 접촉하여 진동을 전달하게 되는 초음파 혼(horn)(224)과, 초음파 혼(224)의 상측에서 연직방향으로 정하중을 가하는 무게추(240)와, 클래드층(C)이 형성된 금속 모재(M)가 재치되는 히팅베드(heating bed)(210), 상기 초음파 혼(224)과 히팅베드(210)를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동시키는 3축 CNC 모듈(230)을 포함할 수 있다.
- [0078] 초음파 혼(224)의 선단부에는 클래드층(C)과 접촉하는 볼(225)이 구비되어 초음파 혼(224)의 진동이 볼(225)을 통해 클래드층(C)으로 전달되어 클래드층(C)을 타격한다.
- [0079] 히팅베드(210)는 금속 모재(M)를 지지함과 더불어 금속 모재(M)를 일정 온도로 가열하도록 된 것으로, 내부에 전열히터 및 온도센서가 내장될 수 있다.
- [0080] 3축 CNC 모듈(230)은 초음파 혼(224)과 히팅베드(210)를 X-Y-Z 방향으로 상대 이동시키도록 공지의 CNC 시스템에 구성되는 선형운동장치를 적용하여 구성할 수 있다. 예를 들어, 히팅베드(210)를 Z축 방향으로 이동시키는 Z축 스테이지(231)와, 초음파 혼(224)을 X축 및 Y축을 이동시키는 X축 선형운동부(231) 및 Y축 선형운동부(232)를 포함할 수 있다.
- [0081] 상기한 초음파 진동 표면 처리장치(200)를 이용하여 금속 모재(M)의 표면에 형성된 클래드층(C)의 표면 개질 처리를 진행하는 방법을 설명하면 다음과 같다.
- [0082] 레이저 클래딩 장치(100)에 의해 표면에 클래드층(C)이 형성된 금속 모재(M)를 히팅베드(210) 상에 안착시킨다. 초음파 혼(224)의 선단부에 구비된 볼(225)이 클래드층(C)의 표면 처리 개시 지점에 접촉하도록 배치한 후, 초음파 발진기(221)를 작동시키면 진동자(222)가 진동하게 되고, 부스터(223)를 통해 진동이 증폭되어 초음파 혼(224)으로 전달되어 초음파 혼(224)이 진동한다. 이에 따라 초음파 혼(224) 선단부의 볼(225)이 클래드층(C)을 타격하게 된다.
- [0083] 이와 동시에 3축 CNC 모듈(230)이 초음파 혼(224)과 히팅베드(210)를 X-Y 방향으로 상대 이동시켜 초음파 혼(224)의 볼(225)이 클래드층(C)의 표면을 따라 이동하면서 진동하여 클래드층(C) 전면(全面)을 1,000~10,000회/mm²로 타격하게 된다.
- [0084] 이와 같이 초음파 혼(224)이 초음파 진동하면서 클래드층(C)을 타격하여 결정립을 미세화하게 된다. 또한 결정립 미세화 과정에서 상당한 잔류 압축 응력이 발생하며, 표면의 강도와 경도가 크게 증가한다.
- [0085] 이러한 초음파 진동 표면 개질 처리를 진행할 때, 히팅베드(210)를 발열시켜 금속 모재(M)를 일정 온도로(예를 들어 300~600℃)로 가열하면서 초음파 진동을 가할 수 있다. 이 경우, 클래드층(C)의 경도를 더욱 증대시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 이는 금속이 열을 받으면 부드러워지는 성질에 기인하는 것으로 판단된다.
- [0086] 앞서 설명한 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자 또는 해당 기술 분야에 통상의 지식을 갖는 자라면 후술될 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 기술 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

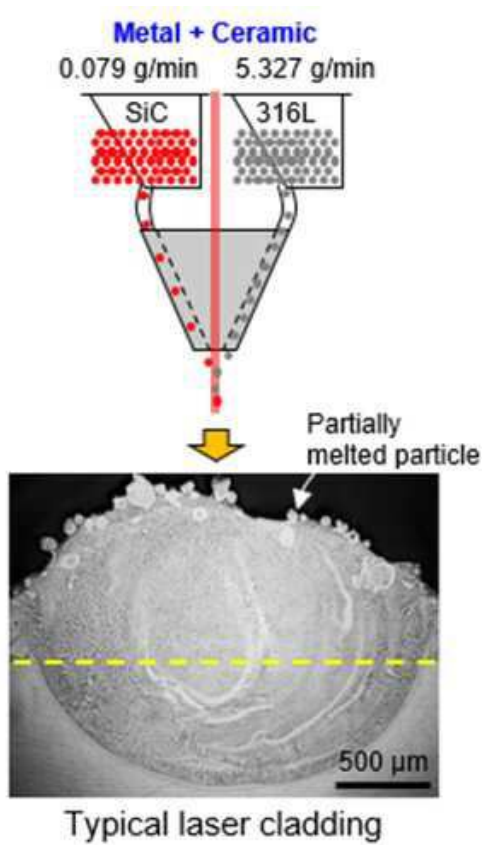
부호의 설명

- [0087] C : 클래드층 M : 금속 모재

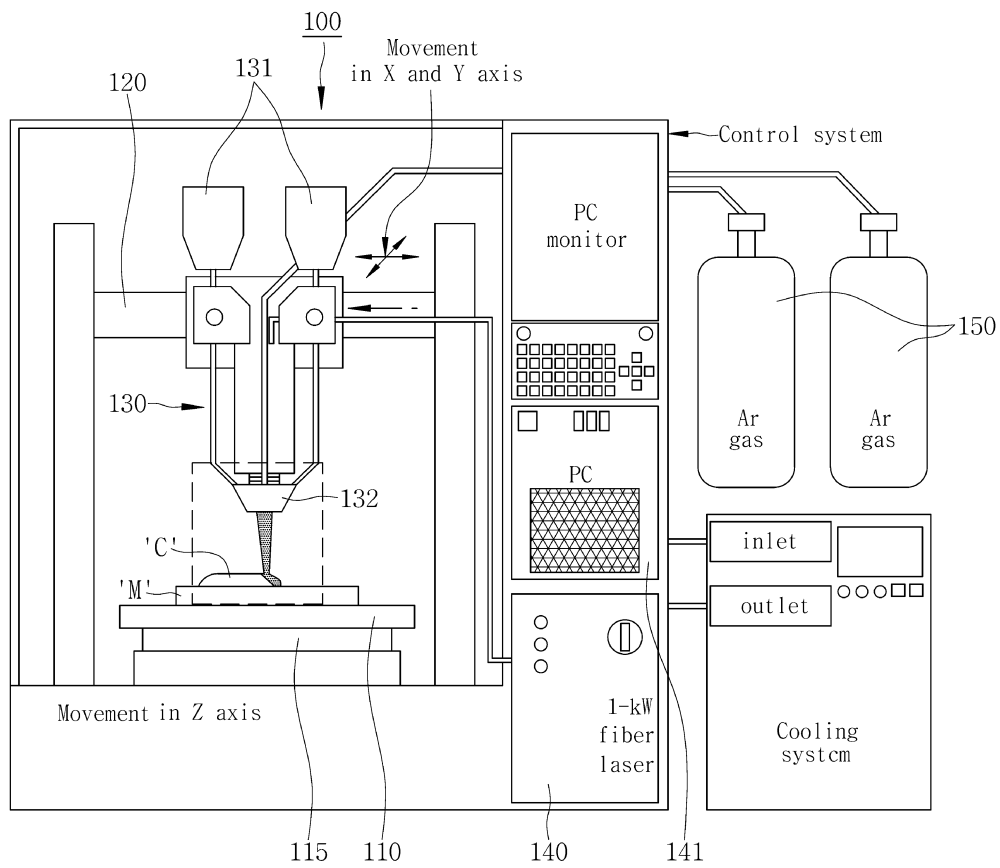
P : 세라믹 분말 100 : 레이저 클래딩 장치
 110 : 작업베드 120 : 선형이동프레임
 130 : 분말공급모듈 131 : 호퍼
 132 : 노즐 133 : 노즐홀
 140 : 레이저 발진기 142 : 대물렌즈
 150 : 가스 공급기 200 : 초음파 진동 표면 처리장치
 210 : 히팅베드 221 : 초음파 발진기
 222 : 진동자 223 : 부스터
 224 : 초음파 혼 225 : 볼
 230 : 3축 CNC 모듈 240 : 무게추

도면

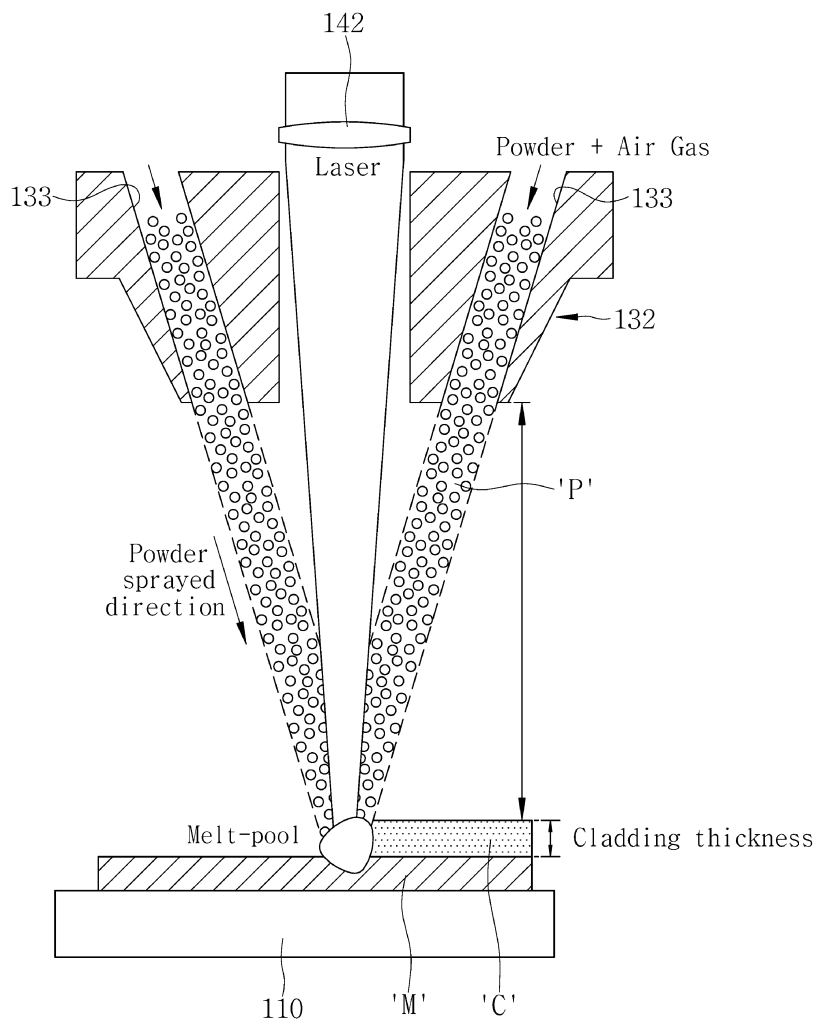
도면1



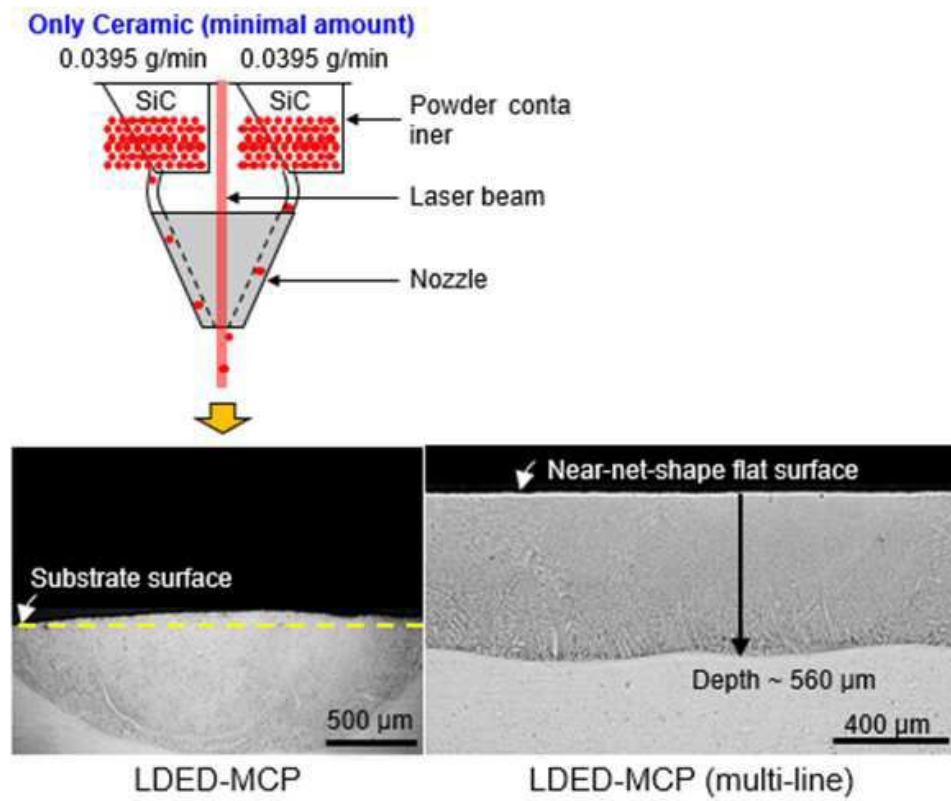
도면2



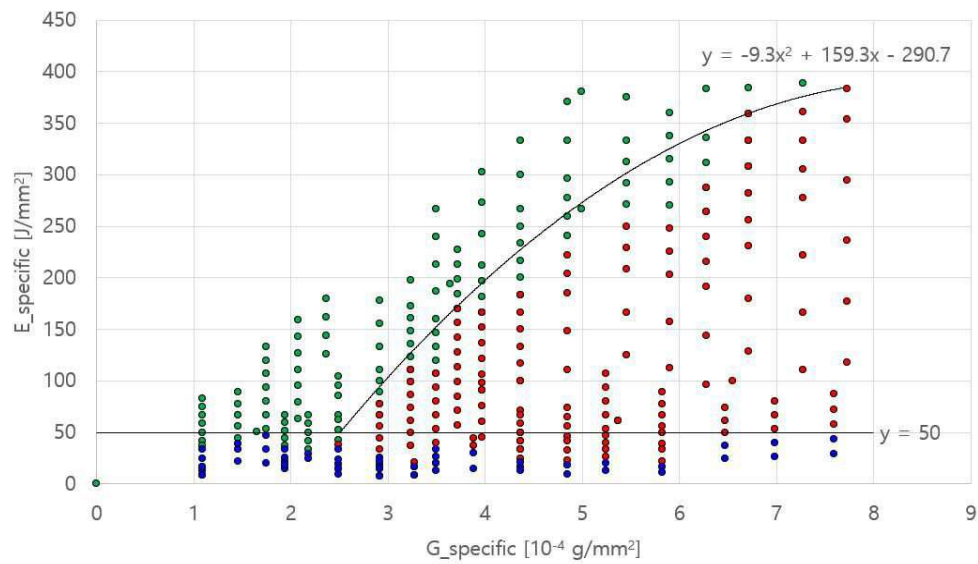
도면3



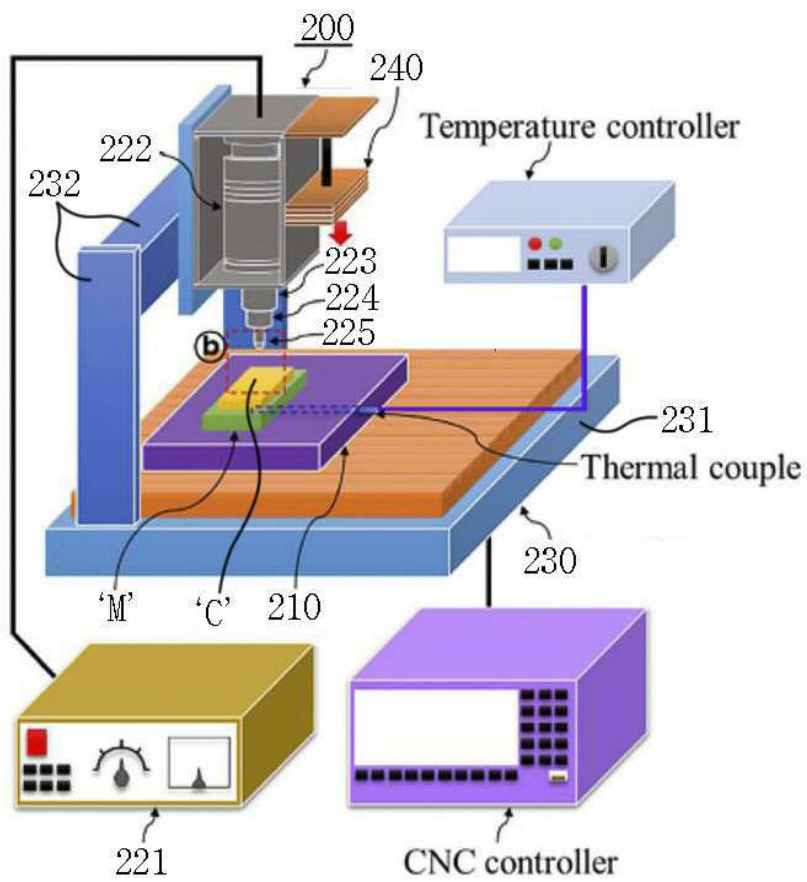
도면4



도면5



도면6



도면7

