

CO₂레이저 클래딩

A Study on Cladding using the CO₂ Laser

윤상원* · 강영주* · 김재도**

인하대학교 대학원 기계공학과 · 인하대학교 대학원 기계공학과 · 인하대학교 기계공학과

Abstract : Laser cladding is a technique for modification on surface in materials. This study describes a laser cladding equipment design and the results of laser cladding nickel on rolled steel for general structure. The laser cladding equipment designed to consider continuous supply, a fixed quantity. The material used MC plastic.

Laser cladding condition is found out by processing parameters. The experiment advanced to supply substrate with powder. The substrate is rolled steel for general structure(KS D 3503) and powder is using the nickel powder for the corrosion resistance, wear resistance and surface hardness of materials. When the substrate travel on X-Y table, laser beam irradiates to prevent from oxidize with shielding gas on it.

The obtained specimens measure the vickers hardness test. For the research laser cladding results make a comparative study the microstructure.

1. 서론

기계를 이용한 생산 분야에서 만들어지는 부품은 오늘날 더 나은 기계적 특성을 요구하게 되었다. 기계 부품의 반복되는 하중, 환경 오염에 따른 산성비, 소음에 따른 진동 등은 기계 표면의 피로, 부식, 마모 등을 가속화 시키기 때문이다. 대부분의 기계 부품은 표면으로부터 마모, 부식, 피로 파괴가 발생하므로, 경도, 내마모성, 내식성, 부식성 등의 향상을 요구하게 되었다⁽¹⁾. 레이저를 이용한 클래딩 기술은 몇몇 기업에서는 이미 실용화 단계까지 와 있으며 이는 우수한 가공면을 얻을 수 있고, 열에 의한 변형이 적은 제품을 얻을 수 있기 때문이다. 아직은 연구 단계에 머물러 있는 클래딩 기술은 금속 재료의 중요한 표면 처리 가공 분야다.

클래딩은 금속 분말을 공급하면서 레이저로 용융시킨 기저 금속(Substrate)에 이종(異種) 금속을 코팅하는 기술로서 새로운 금속층을 얻는 기술이다. 클래딩 기술은 단일 금속재료의 기판에서, 요구되는 기능이 부족할 경우 기판의 장점을 살리면서 표면에 완전히 다른 재료를 배치하여, 재료를 복합화시키는 것으로 소정의 기능을 부가시키는 장점이 있다. 이밖에도 비접촉 가공이며, 접근하기 힘든 지역에도 가공이 가능하다. 가공 변수를 쉽게 조절할 수 있고, 첨가되는 원소의 밀도

를 조절할 수도 있다. 열에 의한 영향으로 인한 변형이 적고 가공면이 우수하며, 선가공이 필요 없다. 냉각 속도의 조절로 양호한 금속 조직을 얻으며, 표면이 균일한 일정한 두께의 층을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 레이저 클래딩 기술은 현재 고부가가치 부품 생산에 이용되고 있으며, 대량 부품 생산보다는 소량 부품 생산에 이용하고 있다.

본 연구의 목적은 일정량의 분말을 공급해주는 장치의 개발 및 제작과 일반 구조용 압연 강재에 니켈 분말을 클래딩하여 최적의 가공 변수를 찾아보는 것이다. 실험을 통해 얻은 시편에 대해 표면 경도, 마모성, 부식성의 향상도를 확인해 본다. 이는 다른 금속들에 대해서도 기저 금속과 분말을 바꾸어 가며 클래딩 기술을 적절히 응용할 수 있다.

2. 시편 및 실험방법

2.1 시편 및 분말

사용한 클래딩 시편의 재료는 일반 구조용 압연 강재(KS D 3503)로써 건축, 다리, 선박, 차량 그 밖의 구조물에 사용하는 일반 구조용의 열간압연 강판이다⁽²⁾. 항복점은 235N/mm²(24kgf/mm²), 연신율은 21% 이상이다. 시편에 대한 화학 조성⁽³⁾은 Table. 1에 나타내었다. 클래딩 실험에 사용한 분말은 순도 99.9%이상을 지닌 니켈

Table. 1 Chemical composition of substrate

C _{max}	Mn	Cu	P	S
0.29	0.80-1.20	0.20	0.05	0.05

Table. 2 Chemical compositions of Ni powder

Ni	Co	Cu	Fe
99.9	0.30	0.005	0.02

Pb	Mn	C	S	Si
0.001	0.002	0.02	0.001	0.005

로써 화학조성은 Table. 2과 같다.

2.2 실험방법

2.8kW 고출력 CO₂ 레이저를 이용해 기지금속 (KS D 3503) 위에 이중금속분말(Ni분말)을 공급해 주며 레이저 빔을 조사시킨다. 이때 클래딩된 시편을 얻게되는데 이를 위해선 일정한 속도로 분말을 공급해 주는 장치의 개발이 필요하다. 공급장치는 공급량의 조절이 용이해야 하고 정량적으로 맥동이 지지 않도록 설계되어야 한다. 실험용 공급장치는 MC 플라스틱을 사용하여 제작이 용이하다는 장점을 살렸다. 금속 분말은 미세한 입자(30~40 μ m)이므로 공급 장치의 부속에 끼지 않도록 실링 문제도 고려한다. 모터는 소형 프라모벡용 모터를 사용하는데 회전수가 높음을 감안하여 감속기(1/16)의 사용여 요구된다. 전원 공급은 파워 서플라이(3V~9V)를 이용해 2차적으로 회전수를 조절한다. 보조가스(Shielding gas : Ar gas)의 공급은 클래딩면으로 부터 공기를 차단하며, 산화방지를 위해서 공급되는 분말과 일정한 각도에서 불어준다. 보조가스는 분말 저장용기인 호퍼 부분과 분말 취출 부분인 공급관에 각각 하나씩 둔다. 보조가스의 공급관은 레이저빔의 반사에 의해 녹지 않게 동관으로 제작한다. 실험 장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 기지금속의 이송은 X-Y테이블 (1500 X 1500 X 500)을 이용한다. 이송속도를 제어할 수 있어야 하고 정방향, 역방향 제어가 가능하도록 제작한다. 레이저는 (주)한광의 Bystronic BLT 2800을 사용하며 최대 출력은 2800W(cw)이다. 레이저 출력을 1.5kW~2.8kW로 변화시켜 가며 일반 구조용 압연강에 니켈분말을 클래딩 실험하여 최적 공

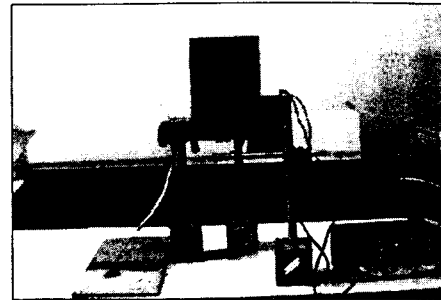


Fig. 1 Equipment for experiment

정 변수를 찾는다. 금속 분말은 수분 친화력과 입자 크기, 기지금속과의 점착성을 고려하여 선정한다. 본 연구에서는 공업용으로 가치가 높으며 많이 사용되고 있는 일반 구조용 압연강(KS D 3503)에 부식성을 부여하기 위해 니켈분말을 클래딩하여, 레이저 가공을 통해 얻어진 표면층에 대해 연구한다. 기지금속의 이송속도에 따른 클래딩 실험, 분말 공급량에 따른 클래딩 실험, 공급된 분말층의 두께에 따른 클래딩 실험을 시도하며 최적의 가공변수를 찾는다. 일반 구조용 압연강에 니켈분말을 클래딩 실험하여 얻은 시편에 대해 미세 조직사진을 관찰하고, 클래딩면과 다이루션(dilution) 부분, 열영향 부위에 대해 경도를 측정하여 관찰을 통해 연구한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 조건에 따른 조직사진

본 실험은 레이저 출력의 변화, 분말 공급량의 변화, X-Y테이블의 이송속도의 변화, 분말층의 두께 변화를 통해 다양한 결과를 얻을 수 있었다.

3.1.1 레이저 출력의 변화

레이저 출력의 변화를 통해 얻은 금속현미경 사진은 Fig. 2와 같다. 각각에 대한 공정 변수는 다음과 같다. 분말 공급량 : 0.44(g/sec), X-Y테이블의 이송속도 : 0.78(m/min), 분말층 두께 : 1.5(mm). 레이저 출력의 변화에 따른 클래딩 실험을 통해 본 실험을 고찰해보면 (A)는 레이저 출력이 작아서 클래딩이 면이 불균등하고 용입깊이가 얇음을 볼 수 있다. (B)는 비교적 양호한 클래드면을 얻을 수 있었다. 분말과 클래드면의 경계인 다이루션 부분에 대한

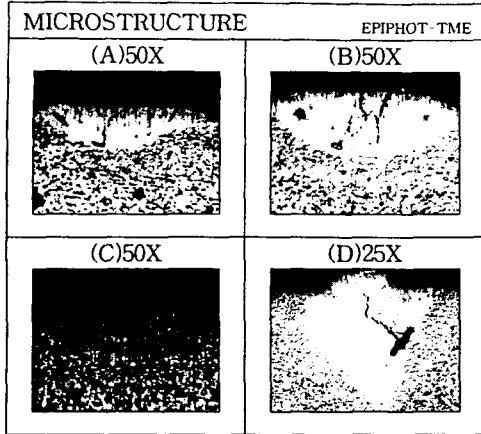


Fig. 2 Microstructure of laser cladding

- (A) laser power : 1.0 (kW)
- (B) laser power : 1.5 (kW)
- (C) laser power : 2.0 (kW)
- (D) laser power : 2.55 (kW)

구별도 확실하고 용입깊이도 적절한 것으로 사료된다. (C)는 양호한 클래드면을 얻을 수 있었지만 클래드면에 크랙이 있음을 볼 수 있다. 레이저 출력에 따른 이송속도가 적절하지 못했으므로 사료된다. (D)는 레이저 출력이 너무 커서 금속분말이 완전용융되고 용입부분이 깊게 나타났다. 레이저 출력이 커질수록 용입 깊이가 깊어지고, 기지금속과 분말이 완전 용융됨을 알 수 있다. 본 실험을 통해서 분말 공급량을 0.44 (g/sec), X-Y테이블의 이송속도를 0.78(m/min)로 주었을때 레이저 출력은 1.5 kW 근처에서 클래딩 실험이 잘 되었음을 알 수 있다.

3.1.2 X-Y테이블의 이송속도 변화

X-Y테이블의 이송속도 변화를 통해 얻은 금속현미경 사진은 Fig. 3와 같다. 각각의 공정 변수는 다음과 같다. 레이저 출력 : 2.55 (kW), 분말 공급량 : 0.44(g/sec), 분말층 두께 : 1.5(mm). X-Y테이블의 이송속도에 따라 클래딩 된 시편의 조직사진에서 (A)와 (B)는 클래드면의 용입이 깊고 용융이 일어났으며, 크랙이 있음을 볼 수 있다. (C)는 분말이 공급된 기지금속 표면 주위에 용융으로 인한 함몰이 나타남을 볼 수 있다. (D)는 분말이 용융되어 기지금속 표면상으로 심하게 부풀어 올랐다.

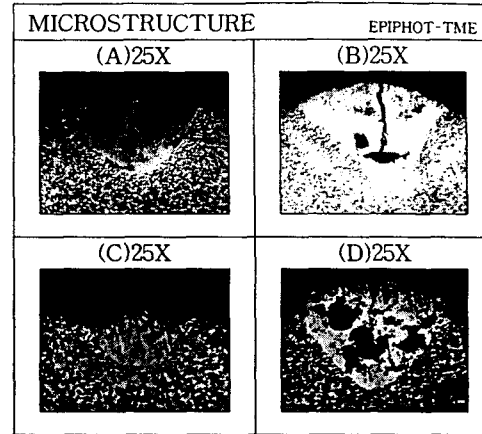


Fig. 3 Microstructure of laser cladding

- (A) travel speed : 2.05 (m/min)
- (B) travel speed : 2.25 (m/min)
- (C) travel speed : 2.37 (m/min)
- (D) travel speed : 2.50 (m/min)

(C)와 (D)에서 알 수 있는 바와같이 레이저 출력이 커지면 양호한 클래드면을 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 X-Y테이블의 이송속도에 따른 적절한 변수를 찾으려 했지만 레이저 출력이 너무 커서 좋은 클래드면이 형성되지 못했다.

3.1.3 분말 공급량의 변화

분말 공급량의 변화를 통해 얻은 금속현미경 사진은 Fig. 4와 같다. 각각의 공정 변수는 다음과 같다. 레이저 출력 : 2.658 (kW), X-Y테이블의 이송속도 : 0.78(m/min), 분말층 두께 : (A) 1.0(mm), (B) 1.5(mm), (C) 2.0(mm). 분말 공급량에 따른 클래딩 실험을 통해 공급량이 많으면 기지금속 표면에 방울모양의 표면층을 형성함을 알 수 있다. 본 실험에서는 레이저 출력을 최고 출력으로 설정했는데 외국의 논문을 보면 CO₂ 레이저의 출력을 대략 10kW정도로 설정한데서 시도해 본 실험이었다. 실험결과는 조직사진에서 보는바와 같이 (A)는 레이저 출력이 너무 커서 용접시 발생하는 현상과 같은 용입깊이가 깊어 졌음을 볼 수 있다. (B)는 클래드면이 형성된 기지금속 하부에 깊은 용입을 형성했음을 볼 수 있다. 분말 공급량이 많아서 기지 하단부까지 용입이 일어났음을 알 수 있다. (C)는 분말 공급량이 너무 많아 분말의

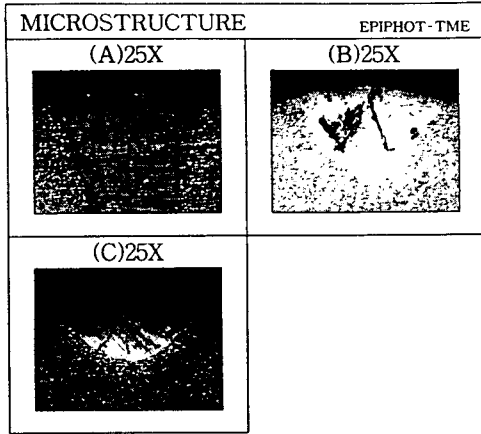


Fig. 4 Microstructure of laser cladding
 (A) powder feed rate : 0.16 (g/sec)
 (B) powder feed rate : 0.44 (g/sec)
 (C) powder feed rate : 0.71 (g/sec)

두께가 기지금속상에 두껍게 자리하고 있어서 기지금속 하단부까지의 용입은 일어나지 않았지만 두꺼운 분말층이 기지금속 상부로 방출되는 현상을 보여준다.⁽⁴⁾ 본 실험에서는 레이저 출력이 너무 커서 클래드면이 형성되지 않았다.

3.1.4 얇은 분말층의 두께에 따른 X-Y테이블의 이송속도 변화

분말층의 두께변화를 임의로 얇게 만들어 레이저 출력을 변화시키고, 그에 따라 X-Y테이블의 이송속도를 변화시켜 실험한 금속현미경 사진은 Fig. 5와 Fig. 6와 같다. 각각의 공정변수는 다음과 같다. 레이저 출력 : 1.75 (kW), 분말층 두께 : 0.5(mm). 본 실험에서는 일반 구조용 압연강에 적절한 레이저 출력은 1.75kW라고 판단되었기에 레이저 출력을 고정시키고, 분말층의 두께는 임의로 얇게 만들어 이송속도의 변화로 적절한 가공변수를 찾는 데 목적을 두었다. (A)는 이송속도가 느려서 좋은 클래드면을 형성하지 못했다. 균등하지 않은 대류현상을 보여주고 있다.⁽⁵⁾ (B)는 비교적 양호한 클래드면을 얻을 수 있었다. (C)는 양호한 클래드면을 얻을 수 있었다. (D)는 양호한 클래드면을 얻을 수 있었으나 크랙이 발생했음을 볼 수 있다. (E)는 용입깊이가 깊고 클래드 표면이 고르게 형성되지 않았다. 분말층의 두께가 얇고 레이저 출력이 커서 나타난 현상으로 사료된다.

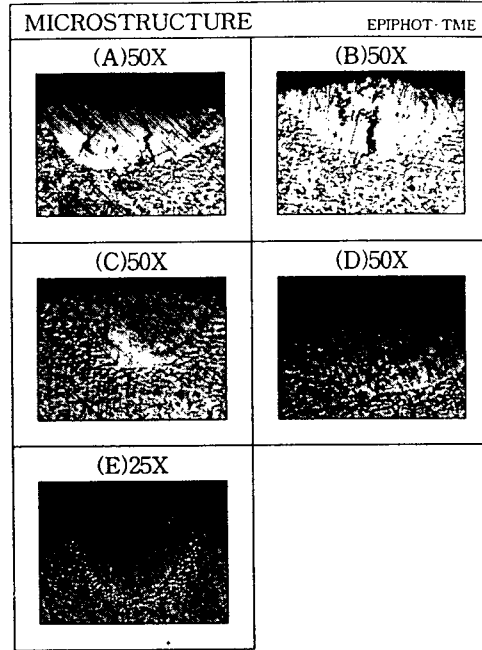


Fig. 5 Microstructure of laser cladding
 (A) travel speed : 1.61 (m/min)
 (B) travel speed : 2.05 (m/min)
 (C) travel speed : 2.25 (m/min)
 (D) travel speed : 2.37 (m/min)
 (E) travel speed : 2.50 (m/min)

각각의 공정변수는 다음과 같다. 레이저 출력 : 2.0 (kW), 분말층 두께 : 0.5(mm). (A)는 용입깊이가 너무 깊고 분말과 기지금속과의 구별이 확실하게 나타나지 않았다. 전체적으로 용융이 나타났음을 알 수 있었다. (B)는 양호한 클래드면을 얻을 수 있었지만 클래드 부분에 크랙이 있음을 볼 수 있다. 클래딩은 양호하게 나타났지만 이송속도가 빨랐던데 원인이 있었다고 사료된다. (C)는 클래드면도 잘 형성되었고 다일루션(dilution)부분도 구별이 뚜렷하게 형성되었다. (D)는 양호한 클래드면을 형성했지만 역시 크래드면에 크랙이 발생했음을 볼 수 있다.

4. 결론

실험에서 사용된 레이저 클래딩 가공변수는 Table. 3와 같다. Fig. 7에는 각각의 가공변수에

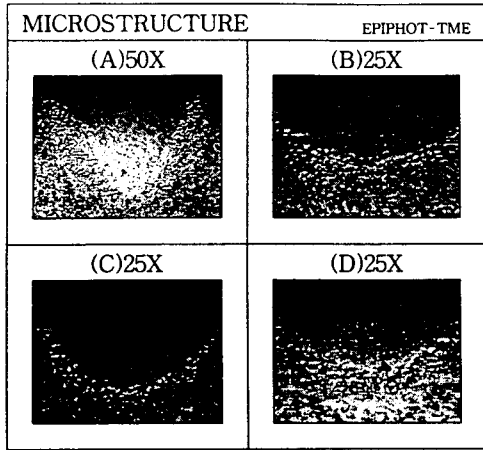


Fig. 6 Microstructure of laser cladding
 (A) travel speed : 2.05 (m/min)
 (B) travel speed : 2.25 (m/min)
 (C) travel speed : 2.37 (m/min)
 (D) travel speed : 2.50 (m/min)

Table. 3 parameters of experiment

Laser power : 1~2.55 kW
Beam diameter : 3 mm
Substrate travel speed : 2.05~2.5 m/min
Powder feed rate : 0.16~0.71 g/sec
Powder size : 40 μ m(325mesh)
Shielding gas : Ar 0.1 bar

의해 얻어진 시편들중에 클래딩이 양호하게 나타난 시편들에 대한 비커스 경도 측정결과를 한 값을 보여주고 있다. (A), (B), (C), (D)는 분포면에서 서로 비슷한 위치에 있다. (E)는 레이저 출력이크고 분말층의 두께가 얇기 때문에 클래딩이 잘 형성되지 않았다. 니켈 분말도 부족하고 레이저 출력이 커서 전체적인 용융이 나타났음을 볼 수 있다. 각각의 시편에 대한 공정변수는 Table. 4와 같다.

참고문헌

- 1) 김 홍준, 최 우천, 김 숙환, 권 영각 : 레이저 및 전자빔을 이용한 클래딩 연구, 대한기계학회지, 제22권, 제3호, (1992), pp.81~98
- 2) 공업진흥청장 : 한국 산업 규격, (1993), pp.1~7
- 3) ASM : Irons and Steels, Metals

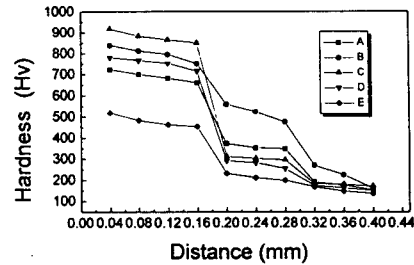


Fig. 7 Vickers hardness

Table. 4 Parameters

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
레이저 출력 (kW)	1.5	1.75	1.75	2.0	2.0
분말 공급량 (g/sec)	0.44	0.44	0.22	0.5	0.6
이송속도 (m/min)	0.78	2.05	0.78	2.25	2.5
분말층 두께 (mm)	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Handbook Ninth Edition, Vol.1, (1978), pp.136

- 4) Yu Jiaqing, Wang Maocai and Wu Weitao : Laser Clad glass coating on carbon steel, Surface and Coatings Technology, Vol.64, (1994), pp.35~40
- 5) Yang Xi-Chen, Zheng Tian-Xi and Zhang Nai-Kun : Research on Convection and Mass Transport in Laser Cladding, ICALCO, Vol.74, No.2, (1991), pp.445~452
- 6) A. A. Wang : Laser Cladding of Mg-Al Alloys, ICALCO, Vol.71, No.2, (1990), pp.502~512
- 7) N. Mckeown, W. M. Steen and D. G. McCartney : Laser Transformation Hardening of Engine Valve Steels, ICALCO, Vol.71, No.2, (1990), pp.469~479