

**研究論文**

## 고출력 CO<sub>2</sub> 레이저빔에 의한 구리, 청동/알루미늄 합금 클래딩

강 영 주\* · 김 채 도\*\*

### Cladding of Cu and Bronze/Al Alloy by CO<sub>2</sub> Laser

Y. J. Kang\* and J. D. Kim\*\*

**Key Words** : Laser cladding(레이저 클래딩), Powder feeding system(금속분말 공급장치), SEM(주사전자현미경), Dilution(희석), Fracture(파손), Separation(이탈)

#### Abstract

Laser cladding is a technique for modification of metal surface. In this laser cladding experiment a metal powder feeding system was developed for more efficient laser cladding. This system can reduce processing time and be used simpler than the conventional method. The feeding of metal powder has given a rise to the process for sequential buildup of bulk rapidly solidified materials in the form of fine powder stream to the laser cladding process. The parameters of laser cladding have been investigated using this experimental equipment. Bronze on aluminum alloy and copper on aluminum alloy were experimented by using defocused beam, powder feeding system, and gas shielding. Good cladding was achieved in the range of beam travel speed of 2.25m/min. In the case of copper/aluminum and bronze/aluminum substrate, the absorption of laser beam was too high to produce low diluted clad. In the case of copper/1050aluminum, the optimal laser cladding condition was of laser power of 2.8kW, powder feed rate of 0.31g/s and beam travel speed of 2.25m/min. In the case of bronze/aluminum the optimal condition is of laser power of 2.5kW, powder feed rate of 0.31g/s, and beam travel speed of 2.36m/min.

※ 1997년 2월 6일 접수

\* 비회원, 인하대학교 기계공학과 대학원

\*\* 정회원, 인하대학교 기계공학과

## 1. 서 론

레이저 가공기술은 고출력 레이저를 이용한 재료 가공의 한 방법으로써 용접, 절단, 표면 처리로 나눌 수 있다. 생산 분야에서 널리 이용되고 있는 분야는 용접 및 절단이며 기타 천공, 마킹 등이 정밀부품 제작에 이용되고 있다. 또한 레이저 열처리 기술이 발달되어 내마모성을 요구하는 기계부품 제작에 활용되고 있다. 이러한 레이저 기술 중 레이저 클래딩은 금속 표면처리 기술으로써 내마모성 내열성 및 내식성 등이 요구되는 부품 생산에 이용되며, 국부적인 부위에 다른 특성을 갖는 표면층을 얻고자 하는데 응용하는 기술이다.

기계 부품에서 마모, 부식, 마찰 및 피로 파괴가 표면에서 발생한다.<sup>1)</sup> 표면에서 발생하는 문제점을 해결하는 방법은 탄화처리, 질화처리, 시안처리, 코팅, 클래딩 표면합금 등이 있다.<sup>2)</sup> 기존의 기술은 필요한 부위 뿐만 아니라 모재의 기계적 특성도 변화시키므로 많은 시간과 비용이 소모되며 열변형에 의하여 후가공이 필요하게 된다.

이러한 단점을 보완할 수 있는 가공 방법으로써 레이저 클래딩은 필요한 부위를 원하는 기계적 특성을 갖는 재료를 녹여 붙여 부품의 내부적 특성과 외부적 특성이 다른 부품을 만드는 방법으로 피로 파괴, 마모, 부식 등에 잘 견딜 수 있는 표면을 얻을 수 있다.<sup>2-4)</sup> 레이저 클래딩은 가공후 열변형이 매우 적다. 또한 기존의 가공방법들과는 달리 공해를 일으킬 요인이 없다는 장점을 가지고 있다.<sup>5)</sup>

금속을 레이저 클래딩 가공 하려면 이에 적합한 시스템의 개발과<sup>6-10)</sup> 사용모재와 표면에 클래딩하려는 재료에 적합한 최적의 가공변수에 관한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 레이저 클래딩 가공 시스템에 금속분말 공급장치를 응용하여 자동차 및 항공기에 자주 사용되는 알루미늄에 열전도도와 내식성이 우수한 구리분과 청동분을<sup>11)</sup> 클래딩 가공할 경우, 이 재료들의 최적 가공조건을 찾는 것과 가공변수들의 영향을 연구하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1 시험재료

시편 크기는 400×200×20mm로 하였으며 모재는 1050알루미늄을 사용하였고 레이저 빔의 흡수율을 높이기 위하여 300mesh의 사포를 이용하여 알루미늄 표면의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 제거하였다. Table 1은 사용된 구리분의 특성을 나타내었고 Table 2는 알루미늄 모재의 화학적 조성비를 나타내었다.

Table 1. Size and purity of the Cu Powder

입도 (mesh)	밀도 (g/cc)	용점 (°C)	순도 (%)
325 (45 $\mu$ m)	8.99	1356	99.7

Table 2. Chemical compositions of 1050Al

Cu	Si	Zn	Mn	Fe	Ti	Al
0.05	0.05	0.05	0.05	0.40	0.03	99.5

청동분은 주석청동으로서 황동보다도 내식성이 좋고 내마모성도 좋으므로 10% Sn 이내의 것은 각종 기계주물용 등에 사용하고 있다. 주석청동의 물리적 성질에서 비중은 순동에서 8.89, 20% Sn에서 8.85로 거의 변하지 않으며 선팡창율도 순동이 16.8×10<sup>-6</sup>, 20% 청동이 18.7×10<sup>-6</sup>이다.<sup>11)</sup>

### 2.2 실험장치

레이저 클래딩 실험장치는 Fig. 1과 같다. 기존의 레이저 클래딩가공 방법으로써 평판모재에 금속분말을 일정한 높이로 적체한 후 레이저빔을 조사하여 가공하였으나 본 연구에서는 금속분말 공급장치를 사용하여 금속분말을 작업과 동시에 공급하여 가공공정을 단순화하였으며 시간을 단축하도록 설계하였다. 또한 금속분말 공급장치를 사용하면 금속분말량을 조절함으로써 클래딩의 두께 및 폭을 조절할 수 있게 하였다. 분말 공급장치는 작은 호퍼와 내경 3mm 금속관으로 구성되어 있다.

금속분말을 일정량으로 공급할 수 있는 금속분말 공급장치를 레이저 헤드에 설치하였고 클래드

높이를 조절할 수 있도록 소형모터를 이용하여 전압공급량만큼 금속분말이 분사하여 금속분말 공급량을 제어할 수 있도록 설계하였다. 금속분말 공급관은 레이저빔의 직경과 같은 크기의 금속분말 공급관으로 설치하였다. 관의 내경이 3mm이므로 금속분말이 적체되는 것을 방지하기 위하여 아르곤 가스 주입구를 설치하여 긴 관과 작은 직경을 가진 공급관에서도 금속분말이 공급되게 하였다.

전원공급 장치에서 전압을 조절하여 공급량을 조절하게 되는데 선형성을 갖도록 제작하였다. 선형성에 의하여 금속분말 공급을 용이하게 조절할 수 있었다. 금속분말 공급방식은 코일 스크류를 이용하여 금속분말을 강제 이송시키는 방법을 사용하였고 소형 DC모터를 이용하여 스크류와 롤러를 회전시켰으며 모터의 회전수는 변압기를 이용하여 조절하였다.

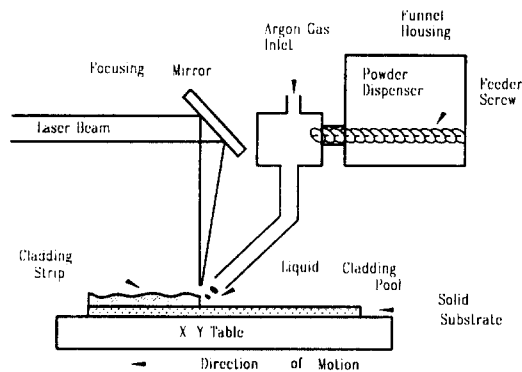


Fig. 1 Schematic diagram of laser cladding

### 2.3 실험방법

레이저출력, 모재 이송속도, 보호가스 유무 등의 변수를 조절하며 실험하였다. 레이저빔은 직경 3mm의 가우시안 모드를 이용하였고, 모재의 이송속도는 0.1m/min에서 3.5m/min까지, 0.3m/min 단위로 변화를 주면서 실험하였다. 실험 결과를 바탕으로 2.1m/min에서 3.5m/min에서는 보다 세밀한 단위로 실험하였다. 보호가스는 순도 99.99%인 아르곤가스를 사용하였다. 금속분말량도 모터 회전수를 조절하여 0.3g/s에서 2.1g/s까지 변화하며 레이저 클래딩 실험 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 경도측정

알루미늄 합금모재에 구리분과 청동분을 각각 공급하여 레이저 클래딩한 재료의 경도를 측정하고 Fig. 2와 같다. 레이저빔 출력 2.8kW, 금속분말 공급량 0.31g/s, 시편 이송속도 2.36m/min인 경우의 결과이다. 알루미늄에 클래딩을 구리분과 청동분을 클래딩한 경우 모재에 비해 높은 경도를 얻을 수 있었다. 청동을 클래딩한 경우 표면에서는 400Hv에서 600Hv의 경도를 나타내었다.

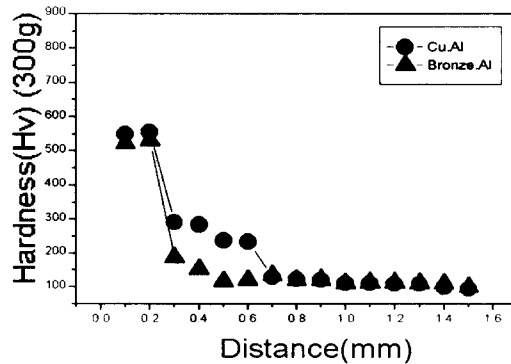
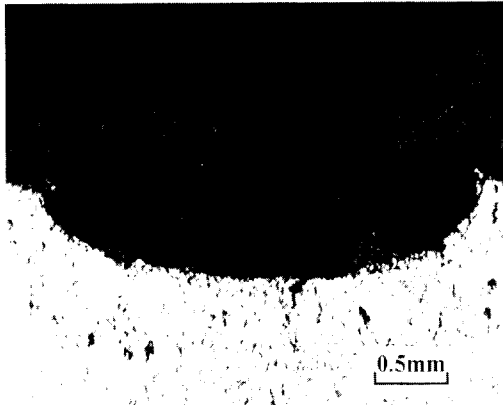


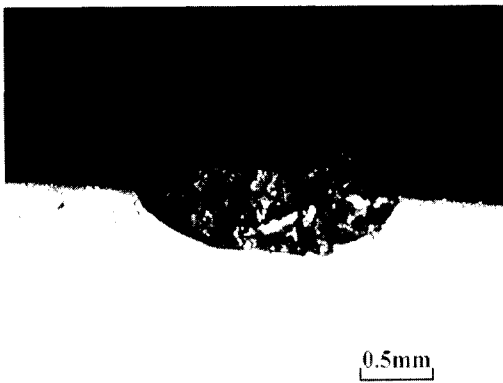
Fig. 2 Vickers micro hardness of clad in cross section

### 3.2 레이저 클래딩의 공정변수에 따른 클래딩의 영향 및 형상

각각의 공정변수에 따른 클래딩의 형상을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 청동분은 구리분보다 고른 클래딩면이 형성되었다. 알루미늄 모재를 사용한 경우 레이저빔의 흡수율이 낮아 반사되어 용입 깊이가 낮았으며 작업시 주의를 요하였다. 모재의 레이저빔 흡수율은 모재와 희석(dilution)의 정도에 영향을 준다.<sup>12)</sup> 레이저를 이용한 클래딩에서는 여러 가지 공정 변수들이 복합적으로 작용하여 클래딩을 형성한다. 레이저 출력, 모재 이송속도, 금속분말 공급량, 아르곤 가스 영향, 레이저 빔 흡수율 등의 변수들이 클래딩에 미치는 실험적인 영향은 다음과 같다.



**Fig. 3** Photograph of cross section in Cu/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feed rate: 0.31g/s, Beam travel speed : 2.25m/min.



**Fig. 4** Photograph of interface structure in Cu/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feed rate: 0.65g/s, Beam travel speed : 0.56m/min.

### 3.2.1 레이저 출력이 클래드에 미치는 영향

J. Singh와 J. Mazumder교수가 연강에 Fe-Cr-Mn-C을 레이저 클래딩한 실험결과와<sup>12,13)</sup> 비교하여 볼 때, 알루미늄의 경우는 빔 흡수율이 낮아 레이저 출력 2.0kW 이상에서 클래드가 형성되었으며 레이저 출력은 모재가 회석되는 부분의 크기에 많은 영향을 주는 것으로 생각된다. 실험 결과, 모재가 레이저빔 에너지를 흡수하는 에너지 양에 비례하여 용입깊이가 증가하는 것을 볼 수 있었다.

레이저 클래딩 가공은 1.5kW에서 10kW의 고출력 레이저가 요구되며 레이저 출력이 1.5kW 미만에서는 클래딩 가공이 거의 불가능하다. 금속분말을 클래드 재료로 사용하는 경우, 레이저 빔이 금속분말 입자에 충돌하여 흡수 및 반사되어 빔 흡수율을 증가시킨다.

### 3.2.2 금속분말 공급량이 클래드에 미치는 영향

금속분말 공급량은 레이저 클래딩에 있어서 클래드 두께에 영향을 주었는데 레이저 출력이 높지 않은 상태에서 과도한 금속분말량이 공급될 경우 클래드면이 고르지 못하였다. 구리분말이나 청동분말을 클래딩하는 경우 레이저 출력 2.8kW, 빔 직경 3mm에서 금속분말량이 0.25g/s~ 0.45g/s의 범위에서 중첩(overlapping)할 수 있는 클래드가 형성되었다. 레이저 출력 2.8kW에서 금속분말량이 0.65g/s이상인 경우 클래드를 중첩(overlapping)할 수 없을 정도로 금속분말이 응집되었다. 따라서 레이저 출력에 비해 과도한 금속분말 공급은 레이저 빔 에너지가 모재까지 직접 전달되지 않아 모재가 용융되지 않는 원인이 되었다.

### 3.2.3 모재 이송속도가 클래드에 미치는 영향

레이저 클래딩에 있어서 모재 이송속도도 클래드 형상에 큰 영향을 미쳤다. 구리분말을 클래딩한 경우 레이저 출력 2.8kW에서 모재 이송속도가 0.5m/min 미만에서는 클래드가 균일하게 형성되지 않았다. 실험결과 모재의 이송속도가 2.25m/min에서 3.5m/min사이에서 클래드면이 고르게 나타났으며 중첩(overlapping)할 수 있는 클래드가 형성되었다. 청동분말 비슷한 경향을 보였다. 느린 이송속도로 레이저 조사하는 경우 단위 면적당 받는 에너지는 증가하게 된다. 이러한 경우 금속분말이 응집되어 중첩(overlapping)이 불가능할 정도의 불규칙한 클래드면이 생성되었으나 2.25m/min이상의 빠른 이송속도에서는 직선에 가까운 클래드면을 형성하였다.

### 3.2.4 아르곤 가스가 클래드에 미치는 영향

헬륨가스는 24.6eV의 이온화 에너지를 가지고 있으며 아르곤가스는 14.6eV의 이온화 에너지를 지니고 있으나 헬륨가스는 고가인 단점이 있으므로

로 아르곤가스를 사용하였다.<sup>14</sup> 그러나 레이저 클래딩 가공시 헬륨을 사용한다면 아르곤가스보다 낮은 전자밀도를 지닌 플라즈마를 생성할 것이다. 본 실험에서는 아르곤 가스가 클래드에 주는 효과는 외부로부터 공기를 차단하는 역할을 하였다. 아르곤 가스를 공급하지 않았을 경우 구리분말이 공기 중의 산소와 반응하여 검게 됐으나 아르곤 가스를 공급하는 경우 구리분말 고유의 색을 유지하였다.

### 3.3 클래드 계면의 미세 결정구조

레이저 클래딩 공정 변수에 따른 클래드 접합구조는 기계적 성질에 영향을 미친다.<sup>15-20</sup> 접합 구조에서 균열(crack)이 발생되지 않을수록 좋은 클래드라고 할 수 있다. 미세한 크랙이 발생하면 후에 균열이 진전되어 클래드면이 파손(fracture)이나

이탈(separation)하기 때문이다. 또한 모재 회석된 부분의 면적이 증가하면 금속분말의 소모가 증가하고 모재의 형상이 변형될 수 있다. 미세 결정구조를 보기 위해 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 고찰하였다. Fig. 5를 보면 클래드 집합구조에서 경계면이 뚜렷하였고 알루미늄 모재에 근접할수록 구리금속 조직 크기가 작아지는 것을 볼 수 있는데 이는 냉각비율이 모재에 근접한 부분과 클래드 부분이 다르기 때문이다. 모재와 접촉부분은 열이 알루미늄에 전달되어 빠른 속도로 냉각이 되었지만 클래드 중심부는 냉각이 느리므로 보다 큰 금속조직이 생성되었다.

경계면을 보다 자세히 보기 위해 고배율로 확대하였을 때 경계면에 클래드면과 모재사이에 미세한 경계(boundary)가 발생한 것이 보였다. 또한 구리분과 알루미늄 모재사이에서 두 금속간 화합



**Fig. 5** SEM micrograph of clad in Cu/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feel rate : 0.31g/s, Beam travel speed : 2.37m/min



**Fig. 6** SEM micrograph of clad in Bronze/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feel rate : 0.31g/s, Beam travel speed : 2.17m/min

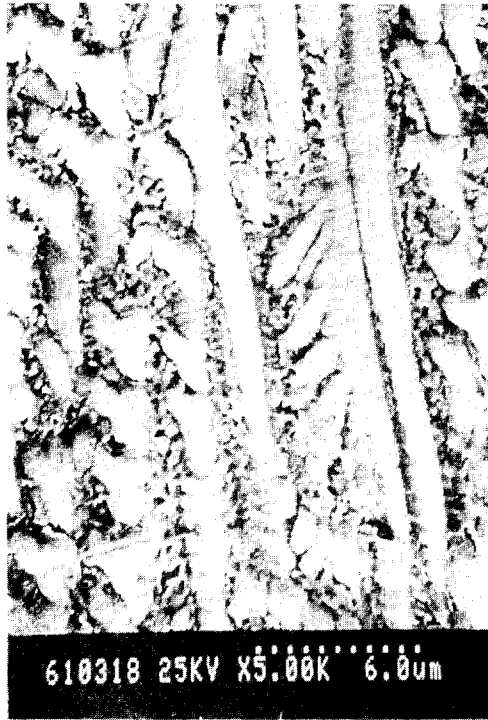


Fig. 7 SEM micrograph of interface structure in Cu/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feel rate : 0.31g/s, Beam travel speed : 2.37m/min

물이 보이지 않았는데 이러한 클래딩에서는 표면에 전단력이 작용할 경우 표면이 이탈(separation)될 수도 있을 것이다.

Fig. 6를 보면 청동은 고른 클래드면을 보였는데 모재와 청동의 희석된 부분이 주사현미경사진에 나타났다.  $1\mu\text{m}$ 크기의 미세한 경계면이 있는 것도 나타났다. 청동은 두 금속 화합물을 생성하였는데 Fig. 7에서는 구리 클래드면은 dendrite 같은 조직이 생성되었으나 Fig. 8의 청동에서는 이러한 조직은 관찰되지 않았다. 실험 결과 복합적인 금속분말의 조합 방법으로<sup>21</sup> 금속간 친화력 증대와 온도 차이를 줄여 균열을 방지할 수 있는 것으로 보인다.



Fig. 8 SEM micrograph of clad in Bronze/1050Al, Laser power : 2.8kW, Powder feel rate : 0.31g/s, Beam travel speed : 2.17m/min

#### 4. 결 론

레이저 클래딩 공정변수가 클래드 형상과 접합 구조에 미치는 영향을 고찰하였다. 금속분말 공급 장치,  $0.1\text{kgf/cm}^2$  압력의 아르곤가스, 이송속도 변화를 구리분/알루미늄모재, 청동분/알루미늄모재에 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 금속분말 공급장치를 사용한 레이저 클래딩은 금속분말 공급량과 이송가스압을 조절함으로써 클래드 폭과 높이를 조절할 수 있었으며 가공시간을 단축하였다.

2. 1050알루미늄 모재에 구리분과 청동분을 클래딩한 경우 0.5mm 나일부산(dilution)으로 접합된 클래드를 얻을 수 있었다.

3. 구리분을 1050알루미늄에 클래딩하는 경우, 레이저 출력 2.8kW에서는 금속분말 공급량 0.

31g/s, 이송속도 2.25 m/min의 클래딩 공정변수가 최적의 레이저 클래딩 가공 조건이며 청동분의 경우 레이저 출력 2.8kW, 금속분말 공급량 0.31g/s, 이송속도 2.36m/min가 최적조건이다.

### 5. 참고 문헌

1. T. L. Anderson : Fracture Mechanics, Texas A&M Univ. , pp.10-21
2. 김홍준 : 레이저를 이용한 표면 열처리와 표면 클래딩에 관한 연구, 포항공과대학 석사학위 논문, (1993)
3. 김도훈 : 레이저 가공학, 경문사, (1992), pp. 248-253
4. Eboo, G. M. and Lindemanis, A. E. : Advances in Laser Cladding Technology, LIA conf. , Mar. (1985), pp. 12-20
5. Gnanamuthu, D. S. : Application of Lasers in Materials Processing, American Society for Metals, (1979), p.177.
6. Weerasinghe, V. M., and Steen, W. M., : Laser cladding with Pneumatic Powder Delivery, proc. of Lasers in Material Processing, (1983), pp. 44-73
7. Yang Xi-Chen and Yan Yu-He : Wide -band laser cladding with rotative polygon mirror, Chin. J. Met. Sci. Technol. , vol.6, No.1, (1990), pp.50-56
8. J. H. Choi : Synthesis of Fe-Cr-C-W by Laser Cladding Tcchnique, Univ. of Illinois Press, (1990)
9. V. M. Weerasinghe and W. M. Steen : Laser cladding with blown powder, J. of Metal Construction, (1987), pp. 581-585
10. Takeda, T., Steen, W. M., West, D. R. F. : Laser Cladding with Mixed Powder Feeder, Proceedings Conference of ICALEO 84 , Nov. (1984), pp.120-124
11. 이지환, 이정중, 김병일, 배차현 : 비철금속 재료, 원창출판사, (1995), pp.69-92
12. J. Singh and J. Mazumder : Microstructure and wear properties of laser clad Fe-Cr-Mn-C alloys, J. of Metal. Transactions, Vol. 18A, 1987, pp. 313-322.
13. J. Singh, K. Nagarathnam and J. Mazumder : Laser cladding of Ni-Cr-Al-Hf on Inconel 718 for improved high temperature oxidation resistance, J. of High Temperature Technology, Vol 5, 1987, pp.131-137.
14. J. D. Ayers, T. R. Tucker, and R. J. Schaefer : Wear resision surfaces by carbide particle injection, Proc. Rapid Solidification Processing, (1980), pp. 301-309.
15. J. N. Kamalu, D. S. McDarmaid, and W. M. Steen : The laser cladding of an Al-Li (8090) alloy with silicon, Proc. 1992 ICALEO, (1992), pp. 219-287.
16. A. F. A. Hoadley and M. Rappaz : A Thermal Model of Laser Cladding by Powder Injection, Metallurgical Trans. B, Vol. 23B, Oct. , (1992), pp. 631-642.
17. Chan, C., Mazumder, J., and Chen, M. M. : Metlallurgical Trans. A, Vol.15, (1984), pp. 2175
18. Weerasinghe, V. M., Steen, W. M. and West, D. R. F. : Computer Simulation Model for Laser Cladding, Transport Phenomena in Materials Processing, (1983), pp15-23
19. Yang Xi-Chen, Zheng Tian-Xi, and Zhag Nai-Kun : Research on convection and mass transport in laser cladding, Proc. 1991 ICALEO, (1991), pp. 445-452.
20. Michael Bass : Laser Materials Processing, North-Holland Pub., (1983), pp.1-14
21. Randall M. German : Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, (1984)