

용제와 혼합한 금속분말의 CO₂ 레이저 클래딩 특성

김재도* · 전병철** · 이영곤** · 오동수**

*인하대학교 공과대학 기계공학과

**인하대학교 공과대학 기계공학과 대학원

Characteristics of CO₂ Laser Cladding with High Viscosity Mixed Powder

Jae-Do Kim*, Byung-Cheol Jeon**, Young-Gon Lee** and Dong-Soo Oh**

* Dept. of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

**Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract

Laser cladding processing allows rapid transfer of heat to the material being processed with minimum conduction into base metal. The effect of CO₂ laser cladding with high viscosity mixed powders was investigated. High viscosity mixed powder consists of bronze powder and flux that is used at a high temperature condition. The mixed powder has a high viscosity so that it can be easily pasted over a curved or slope substrate. The device for mixed powder was designed and manufactured. It consists of the high viscosity mixed powder feeding system, the preheating system and the shielding gas system which prevents the clad layer from being oxidized. The results of experiment indicated that the feed rate of high viscosity mixed powder was important for laser cladding with mixed powder feeding. The high viscosity mixed powder and substrate must be preheated to prevent porosity from breaking at the clad layer. The experimental result shows that the high viscosity mixed powder can be applied for laser cladding process.

(Received March 9, 2001)

Key Words : High viscosity mixed powder, Laser cladding, CO₂ laser

1. 서 론

레이저 가공 기술은 고밀도의 열원을 이용한 가공법으로 표면 가공시 입열량이 적어 금속 가공시에 열영향부와 열변형이 작다는 장점을 가지고 있다¹⁻³⁾.

레이저를 활용한 가공 기술은 크게 용접, 절단, 표면처리 분야로 구별된다. 특히, 표면 처리 분야인 레이저 클래딩과 레이저 표면 경화는 표면에 우수한 기계적 특성을 부여하기 위한 가공법으로 연구되어 왔다. 레이저 클래딩은 모재에 각종 재료를 국부적으로 합금화 또는 육성시켜 부품의 내식성, 내마모성, 내산화성을 향상시킨다. 레이저 클래딩 가공은 제품의 기능 및 수명을 연장시킬 수 있으며 열영향부가 작고 모재와 클래딩 재료사이에 결합력이 우수하다는 특성을 가지

고 있다^{5,6)}.

기존의 레이저 클래딩은 크게 와이어를 이용하는 방법과 분말공급장치를 이용하는 방법이 있다. 이 방법들은 모재가 수평을 유지한 상태에서 평면만을 클래딩할 때 유용하기 때문에 복잡한 곡면 등의 경사진 형태에 적용하기에는 어렵다. 본 연구에서는 고점성 액체인 용제를 이용하여 클래딩 분말과 용제를 혼합한 고점성 재료를 제조하여 사용하였다. 이 재료는 고점성을 가지고 있으므로 경사진 복합 곡면 등에서 클래딩 가공을 가능하게 해준다. 이 가공법은 기존 와이어로 제조가 힘든 높은 경도의 재료를 분말 형태로 혼합하여 사용함으로써 원하는 조성 및 경도의 클래딩 가공을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 용제를 혼합 사용함으로써 클래딩 재료의 산화를 방지할 수 있다는 장점이 있다⁷⁾.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

분말과 같이 혼합된 용제는 고점성의 액상 용제인 AMCO 446 WHITE 제품을 사용하였다. 이 제품은 일반적으로 구리, 니켈, 청동, 스테인레스강의 용접에 사용된다. 용제는 클래딩 재료와 모재의 산화를 방지하여 용착효과를 높여준다. 또한 편홀현상, 모재 및 용제의 과열을 방지하여 우수한 용접품질을 유지할 수 있게 한다^{6,8)}. 클래딩 재료는 청동분말을 사용하였고 모재로는 AC2B를 사용하였으며 그 조성은 Table 1에 나타내었다. 분말과 용제 혼합에 있어서는 혼합비율에 주의를 해야한다. 분말량이 많게 되면 분말과 용제가 혼합이 잘 일어나지 않게 되고 분말량이 적으면 클래딩 재료의 공급량이 줄어들게 되므로 적절한 클래딩층을 얻을 수 없다. 그러므로 클래딩 재료인 청동분말과 용제는 혼합기를 사용하여 1 : 1의 비율로 Fig. 1과 같은 방법으로 혼합하였다^{11~13)}.

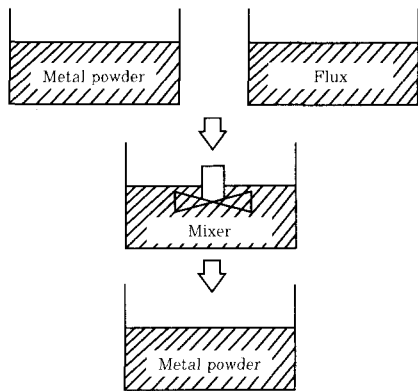


Fig. 1 Method of mixing bronze powder and flux

Table 1 Chemical compositions of AC2B and bronze(wt%)

	Cu	Sn	Si	Mn	Al	Ni
Bronze	91.2	8.7
AC2B	0.3	0.1	7.0	0.5	89.2	0.3

2.2 레이저 클래딩 장치

레이저 클래딩 장치는 CO₂ 레이저, 혼합분말 공급장치 그리고 예열장치로 크게 세가지로 나눌 수 있다. CO₂ 레이저는 최대출력 500W, 빔직경 5mm의 TEM01* 모드이다. 500W의 레이저 출력은 클래딩에 사용하기에는 저출력이므로 재료의 입열량을 증가시켜 가공성을 좋게 하기 위하여 예열 장치를 사용하였다. 예열장치를 사용하여 모재를 사전에 300℃로

예열하여 사용하였다. 혼합분말 공급장치는 고점성의 혼합분말을 클래딩 부위에 정확하게 공급하기 위하여 레이저 빔 이송 가이드에 장착하여 사전에 레이저 빔 조사위치에 혼합분말이 공급되도록 조정하였다.

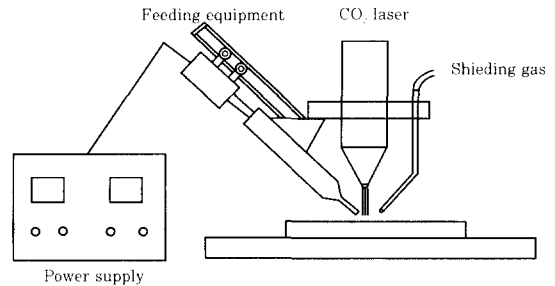


Fig. 2 Diagram of cladding system

2.3 혼합분말 공급장치

고점성 혼합분말 자동 공급장치는 자체 개발하여 설계·제작하였다. Fig. 3은 실험에 사용한 혼합분말 자동 공급장치를 나타낸 것이다. 공급장치 설계시 주안점은 혼합분말을 일정한 공급속도로 지속적으로 이송시키는 것과 혼합분말 공급위치 제어의 용이성에 두었다. 혼합분말 공급위치 제어를 위해서 혼합분말 공급장치를 레이저 빔 이송가이드에 고정하였다. 혼합분말 공급속도는 전원 조절기로 제어하였으며 공급장치는 간단한 부품으로 제작하여 실험시 공급이 중단되거나 문제가 발생하더라도 쉽게 해결할 수 있도록 하였다. 혼합분말의 공급량은 혼합분말의 공급장치를 제작한 후 전압에 따른 혼합분말의 공급량을 측정하였다. 혼합분말의 공급량을 정확하게 측정하기 위하여 3번 측정하여 평균값을 산출하였다. 전압에 따른 혼합분말의 공급량은 Fig. 4에 나타내었다.

2.4 보호가스

보호가스는 기본적으로 용융 금속의 산화를 방지하

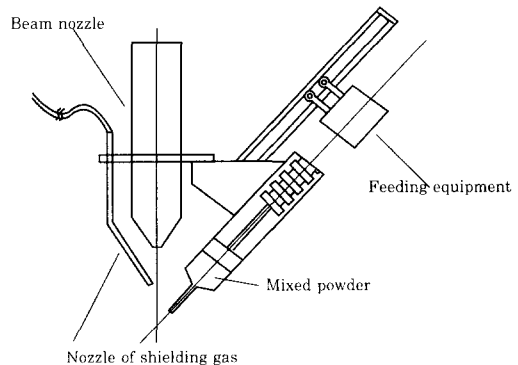


Fig. 3 Device for high viscosity mixed powder feeding

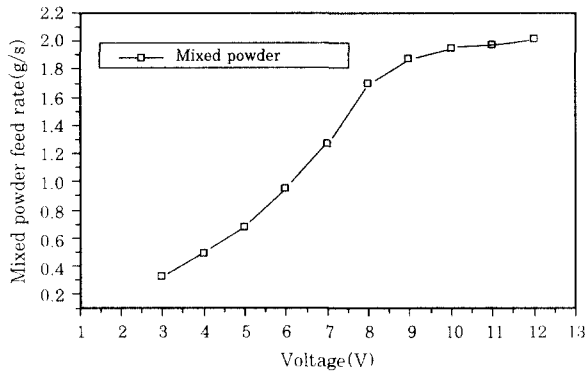


Fig. 4 Mixed powder feed rate

고, 주위의 기체와 증발된 입자에 의한 레이저빔의 산란을 방지하고 집속렌즈에서의 빔흡수율 증대를 방지함으로써 광학기구가 손상되는 것을 방지할 목적으로 사용된다. 아르곤가스는 공기보다 무겁고, 가격이 저렴해서 산화방지용 보호가스로 사용된다¹⁴⁻¹⁶⁾.

본 실험에서는 순도 99.99%의 아르곤 가스를 보호가스로 선정하였고 유량은평균 15 l/min으로 분사하였다.

2.5 실험방법

용제와 고루 혼합된 청동분말을 고집성분말 공급장치를 이용하여 모재 위에 일정하게 한줄로 도포 하였다. 레이저는 CO₂ 레이저를 사용하였다. 본 실험에서는 일정한 레이저 출력 500W(±5W)을 사용하였다. 레이저빔 이송속도는 1mm/s로 하였다. 레이저 출력과 이송속도를 고정하였다.

혼합분말의 공급량을 0.35g/s에서 0.65g/s까지 변화시키면서 혼합분말의 공급범위를 레이저빔 조사 영역인 5mm보다 작은 영역과 넓은 영역에 도포한 경우에 대해서 실험을 진행하였다. 클래딩 공정은 Fig. 5에 나타내었다.

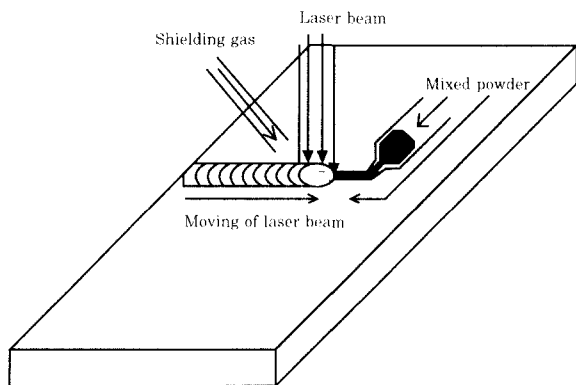


Fig. 5 Diagram of cladding process

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼합분말의 공급범위

레이저빔 조사 직경보다 넓은 영역에 혼합분말이 공급되는 경우에 있어서는 클래딩층이 제대로 형성되지 않았다. 혼합분말이 조사되는 레이저빔 조사 직경보다 작은 영역에 도포되는 경우에 있어서는 Fig. 6과 같이 클래딩층이 잘 형성되었다. 레이저빔 조사 직경보다 넓은 부위에 혼합 분말을 공급하여 클래딩하는 경우에는 혼합분말이 액상의 용제를 포함하고 있기 때문에 용융된 클래딩 재료가 모재와 결합하는 대신에 레이저빔 외부에 있는 혼합분말과 결합하는 현상이 발생하게 된다. 그러므로 클래딩층이 조사되는 레이저 빔 중앙에서 생성되기보다는 레이저빔 가장자리에 클래딩층이 형성되게 된다. 반면에 레이저빔 조사 영역에만 혼합분말이 공급되는 경우에 있어서는 용융된 혼합분말이 용융된 모재와 금속간 결합을 하게 되어 Fig. 6과 같은 클래딩층이 조사되는 레이저빔 중앙에 형성되었다.

3.2 혼합분말 공급량 및 클래딩 속도

혼합분말의 공급량에 따른 클래딩 성능은 Table 2에 나타내었다. 본 실험에서는 저출력의 레이저빔이 사용되었기 때문에 혼합분말의 공급량이 많은 경우에 있어서는 레이저 열원이 혼합분말을 용융하기 위해 모두 소모되어서 모재를 용융시키기 위해서 흡수되는 에너지 양이 줄어들게 된다. 모재에 대한 입열량의 감소는 모재의 용융량이 줄어들게 되고 따라서 혼합분말과 모재 사이에서 금속간 결합이 발생하지 못하게 되기 때문에 적절한 클래딩층을 형성하지 못하고 단순히 혼합분말만이 용융 되었다가 응고하는 현상이 발생하게 된다. 0.35g/s와 0.50g/s의 혼합분말을 공급할 경우에는 적절한 클래딩층을 형성할 수 있지만 0.65g/s에서는 청동분말만이 용융 되었다가 응고되는 현상이 발생하였다. 레이저빔 이송속도는 1mm/s 고정하였다. 이송속도를 증가시키게 되면 입열량이 줄어들기 때문에 모재뿐만 아니라 혼합분말도 제대로 용융이 되지 않기 때문에 적절한 클래딩층을 형성할 수 없었다.

Table 2 Results of laser cladding in bronze/AC2B

Laser power	Feed rate	Scan speed	Result
500W	0.35g/s	1mm/s	○
500W	0.50g/s	1mm/s	○
500W	0.65g/s	1mm/s	△

3.3 클래딩 형상 및 표면 특성

Fig. 6은 클래딩의 단면 형상이다. 레이저 클래딩 특성에 적절하게 적은 범위의 다일루션층이 형성된 것을 볼 수 있으며 청동분말과 AC2B사이엔 견고한 결합이 형성된 것을 볼 수 있다. 클래딩 표면은 Fig. 7에 나타내었다. 레이저 진행 방향으로 물결 형상이 나타나는 것을 볼 수 있으며 기존의 와이어나 분말클래딩과 동일한 표면을 얻을 수 있다.

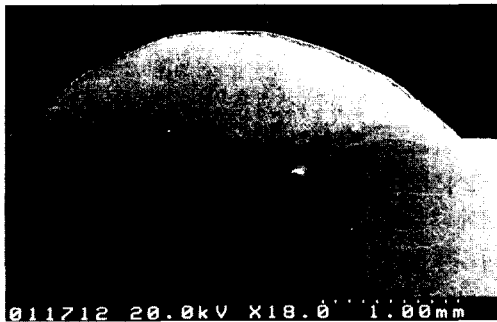


Fig. 6 Cross section of clad layer mixed powder feed rate : 0.35g/s



Fig. 7 Surface of clad layer mixed powder feed rate : 0.35g/s

3.4 미세 조직 및 다일루션 분석

모재와 클래드 층의 결합 조직에서 균열은 발견되지 않았으며 견고하게 결합된 것을 알 수 있었다. Fig. 8은 모재와 용융결합된 고점성 혼합분말의 결합층을 나타낸다. AC2B와 청동분말을 사용하여 클래딩을 실행하였기 때문에 SEM사진을 통해 관찰을 하면 명확하게 구분이 가능한 다일루션층이 형성되었다.

Fig. 9는 다일루션층과 혼합분말층이 경계선을 나타낸 것으로 다일루션층과 혼합분말층과의 경계가 명확하게 구분되었다. 혼합분말과 모재의 결합면에서는 균열의 발생 없이 촘촘히 결합되어졌다. 모재 가까이 갈수록 조직이 치밀한 것을 확인할 수 있는데 이는 열전도도가 좋은 AC2B가 모재로 사용되었기 때문에 클래

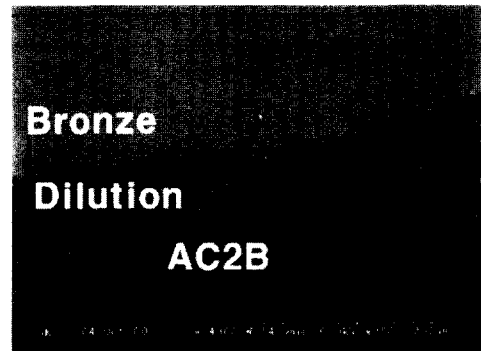


Fig. 8 Dilution layer in clad mixed powder feed rate : 0.35g/s

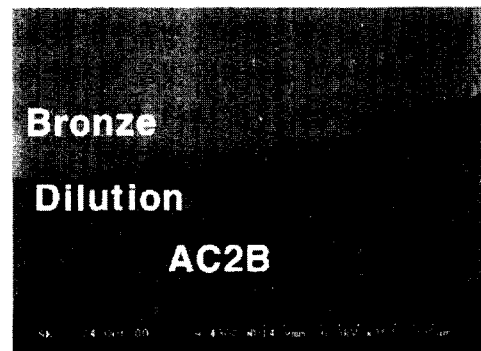


Fig. 9 Clad layer and dilution layer mixed powder feed rate : 0.35g/s

딩층에서 모재쪽으로 빠른 열전달이 이루어지게 되므로 급냉이 발생하여 조직이 치밀하게 되었기 때문이다.

Fig. 9를 관찰하면 클래드내에서 움푹 패인 부분을 관찰할 수 있는데 이는 클래딩시 기화된 용제가 클래딩층이 응고전에 외부로 배출되지 못하고 안에 갇히게 되어서 생성된 것으로 생각된다. 혼합분말을 사용하여 클래딩을 실시하는 경우에는 기화된 용제가 클래딩 재료가 용융후 응고되기 전에 완전히 외부로 완전히 배출 되도록 주의하여야 하며 모재와 클래딩재료에 있어서 적절한 예열이 이루어져야 한다.

3.5 경도 측정 및 해석

Fig. 10은 클래딩 시편 단면의 경도 분포를 나타낸 것이다. 경도값은 일반적으로 냉각속도와 관련이 있다. 클래드 표면에서 보다 다일루션층으로 갈수록 경도값이 높게 나타나게 되는데 이는 열전도도가 높은 AC2B를 통하여 빠른 열전달이 발생하여 급냉이 이루어지기 때문이다. 다일루션층은 모재와 청동분말이 결합되어 있는 상태로 청동분말과 모재보다는 상대적으로 높은 경도값을 보여주고 있다. 이는 청동과 AC2B가 완전용융에 의해서 금속간 결합을 하게 되므로 상

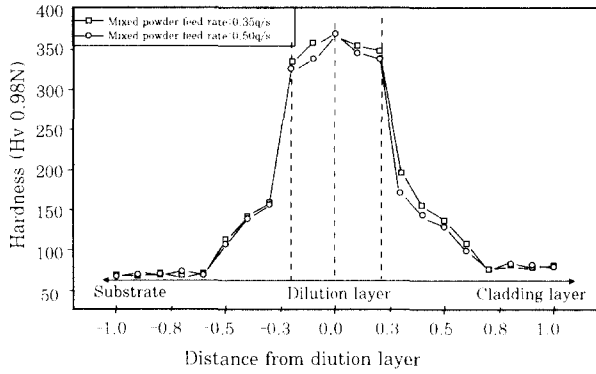


Fig. 10 Hardness distribution of clad layer and HAZ

대적으로 높은 경도값을 가지는 합금층을 형성하였기 때문이다.

4. 결 론

(1) 레이저 클래딩 가공에서 용제와 분말이 혼합된 고점성 혼합분말의 적용가능성을 확인하였다.

(2) 분말과 혼합된 용제로 인하여 모재와 분말간의 용융 그리고 분말간의 용융 결합성이 증가하여 접합 효과를 높여 주었다.

(3) 레이저빔 범위를 넘는 혼합분말의 도포는 용융된 혼합분말이 용융된 모재와 결합하기 전에 레이저빔 외부에 존재하는 혼합분말과 결합하는 현상이 발생하여 클래딩층이 레이저빔 가장자리에 형성되는 현상이 발생하였다.

(4) 혼합분말을 사용하여 클래딩을 실시할 경우에 있어서는 클래딩 재료가 용융후 응고되기 전에 기화된 용제가 완전히 배출될 수 있도록 주의하여야 하며 클래딩을 실시하기 전에 적절한 예열이 이루어져야 한다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 중점 연구과제 (과제번호 99-005-E00007) 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김병갑, 김정오, 박정호, 이제훈, 한윤희: 레이저 클래딩(1)급속 분말 장치 개발, 레이저 가공기술(1997) 1-4
2. Young-Ju Kang, Eung-San Cho and Jae-Do Kim: CO₂ Laser Cladding of Engine Valve Seat, Proc. of 128APLS '98(1998) 27-29
3. Jae-Do Kim, Il Na and Chan-Cheol Park: CO₂ Laser Welding of Zn-coated Steel for Automotive Industry, Proc. of 9th Int'l Pacific Conference on Automotive Engineering, 2(1997) 289-294
4. 장용, 전병철, 김재도, 정진만, 김철중: 펄스형 Nd:YAG 레이저에 의한 Inconel 용접의 기계적 특성 연구, 대한용접학회 춘계학술대회 (1997) 99-101
5. 김재도, 배민중, 팽윤: 와이어 공급에 의한 Inconel의 d:YAG 레이저 클래딩, 대한용접학회지, 18-3(2000) 83-88
6. F. Smith: Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill, U.S.A.(1981) 446
7. Jae-Do Kim, Peng Yun and Byung-Cheol Jeon: The Application of Nd:YAG Laser to the on Site Repair of Damaged Components of Nuclear Power Plant, Congress Proc. of 12th IFHTSE, 3(2000) 105-110
8. Young Tae Lee and Young Taek Hyun: Application and Prospect of Titanium Alloy, for Automobile Parts, Korea Institute of Metals and Materials, 8-3(1995) 286-296
9. Jae-Do Kim and Yun Peng: Plunging method for Nd:YAG laser cladding with wire feeding, Optics and Lasers in Engineering, 33-4(2000) 299-309
10. J. M. Darchuk and L. R. Migliore: The Basic of Laser Welding, Laser and Application(1995) 59-66
11. Jae-Do Kim and Woong Jang: Tensile Shear of Inconel 600 and 690 Welded with Pulsed Nd:YAG Laser, Proc. of APCFS'99(1999) CD-Rom
12. M. Takemoto, Masanobu Shinya: Coating Aluminide Intermetallic Compounds by Laser Fusion Reaction, Proc. of LAMP'92 (1992) 773-778
13. Jae-Do Kim and Yun Peng: Temperature Field and Cooling Rate of Laser Cladding with Wire Feeding, KSME Int'l J., 14-8(2000) 851-860
14. P. J. Oakley: Laser Heat Treatment and Surfacing Techniques, The welding Institute Research Bulletin, (1981) 1-11
15. R. Walker: Applying Multikilowatt CO₂ Laser in Industry, Laser and Application, (1984) 62-69
16. 류병길, 주정권, 오용원: 니켈 및 니켈 합금의 용접에 대하여, 기술현대, 10-1(1990) 8-15