

분말송급 및 와이어송급을 이용한 레이저 클래딩 특성

안 영 남* · 김 철 희*[†]

*한국생산기술연구원 용접·접합연구그룹

Comparison of Powder Feeding and Wire Feeding in Laser Cladding

Young-Nam Ahn* and Cheolhee Kim*[†]

*Welding & Joining Research Group, KITECH, Incheon 406-840, Korea

[†]Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received August 2, 2013 ; Revised August 21, 2013 ; Accepted August 26, 2013)

Abstract

In this research, laser cladding characteristics were investigated for various filler metal feeding methods such as powder, cold wire, and hot wire feeding. Appropriate parameter window, deposition rate, material efficiency and dilution for each filler feeding method were evaluated with same laser power and cladding speed range. Laser powder cladding has wider process parameter window but higher material efficiency and lower dilution were achieved by laser wire cladding. Among these feeding methods, laser hot-wire cladding showed best efficiency in material usage and deposition rate.

Key Words : Laser cladding, Wire feeding, Powder feeding, Deposition rate, Material efficiency, Dilution

1. 서 론

레이저 클래딩은 모재의 표면에 용가재를 용접하는 공정으로 레이저 합금화(laser alloying)와 달리 모재의 희석(dilution)을 최소화하는 방식으로 적용된다¹⁾. 용가재는 와이어, 스트립, 분말 형태로 공급되나 일반적으로 낮은 송급속도에서 제어가 용이한 분말송급이 선호된다. 그러나 분말송급에서 재료효율(material efficiency)이나 적층효율(deposition efficiency)이라고 불리는 송급량(delivery rate) 대비 적층량(deposition rate)이 적은 특성을 가지고 있으며, 와이어 송급방식에 비해 표면이 더 거칠게 형성된다²⁾. 최근의 쾌속 시삭(rapid prototyping)이나 3D 프린팅 기법에서 생산성을 높이기 위해 와이어공급 방식이 주목되고 있으며^{3,4)}, 보다 생산성을 높이기 위해 와이어 가열(hot wire), 2개의 레이저 적용, 플라즈마 가열, 레이저 인덕션 클래딩 등이 제안되었다^{4,5)}. 본 특집 논문에서는 분말송급, 일반와이어(cold wire)송급, 가열 와이어(hot wire)송급방식을 적용한 레이저 클래딩에

서 적층량, 재료효율 및 희석률, 공정속도와 같은 공정 특성을 평가한 결과를 소개하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 6 mm 두께의 연강판에 스테인리스 316L 용가재로 클래딩하였다. 용가재는 45~106 μm의 직경을 가지는 분말형태와 0.9 mm 직경의 와이어로 공급되었다. 분말은 Praxair사의 분말공급기를 이용하여 내경 5.0mm의 노즐을 통해 15 l/min 유량의 아르곤 가스와 함께 공급되었다. 이 때 송급 노즐의 끝과 레이저 조사점의 거리는 9 mm로 설정하였다. 와이어 공급 시에는 프로니우스사의 VR 4000 와이어 송급기와 용접용 토치를 이용하였으며 보호가스로 15 l/min 유량의 아르곤가스를 사용하였다. 사용된 레이저는 4 kW급 디스크 레이저로 실험시 출력은 1.8 kW로 고정하고 220 mm 광학계의 초점위치를 모재 위 20 mm에 위치시켰으며, 이 때 빔직경 3.2 mm이다. 와이어 가열 방식을 이용할 경우 프로니우스사의 용접전원인 TPS 5000의 CC/CV모드에서 전류와 전압을 각

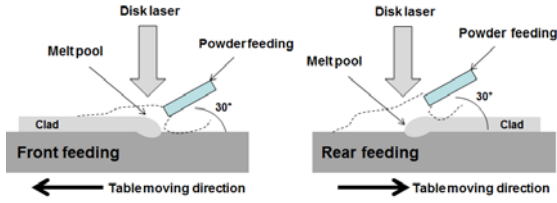


Fig. 1 Schematic diagram for laser powder cladding

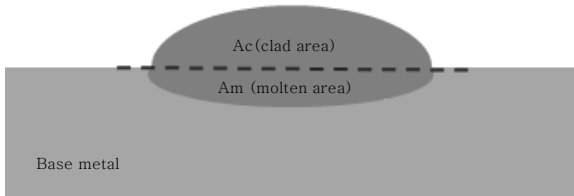


Fig. 2 Definition of characteristic area in cross-section

각 70 A, 5 V 로 설정하고 와이어를 모재에 단락시켜 저항가열하였으며, 송급팁과 모재간 거리는 15 mm로 설정하였다. 모재와 와이어 송급 노즐 및 분말송급 노즐의 각도는 30도이며, 와이어클래딩 시에는 레이저 조사에 와이어 송급이 선행하는 선행 송급방식을 선택하였고, Fig. 1과 같이 분말클래딩 시에는 선행송급(front feeding)과 후행송급(rear feeding)을 모두 이용하였다.

클래딩이송속도는 0.5~1.2 m/min으로 변화시켰으며, 와이어송급속도는 2~4 m/min, 분말송급속도는 20~40 g/min으로 조정하면서 평가를 진행하였다. 클래딩 후 용접단면에서 Fig. 2와 같이 특성 면적, A_c 와 A_m 을 정의하고 희석률(D), 적층량(V_{dep}) 및 재료효율(η_M)아래와 같이 계산하였다.

$$D = A_m / (A_m + A_c) \tag{1}$$

$$V_{dep} = \rho * A_c * V_f \tag{2}$$

$$\eta_M = V_{dep} / V_{del} \tag{3}$$

여기에서 ρ 는 용가재의 밀도, V_f 는 클래딩 이송속도이고, V_{del} 은 송급량으로 단위시간에 송급되는 용가재의 질량이다.

3. 실험결과

3.1 레이저 클래딩용접 단면

선행송급 및 후행송급조건에서의 분말 클래딩한 결과 단면을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었으며, 일반 와이어 송급 및 와이어 가열 송급방식 조건에서의 와이어 클래딩한 결과 단면을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 와

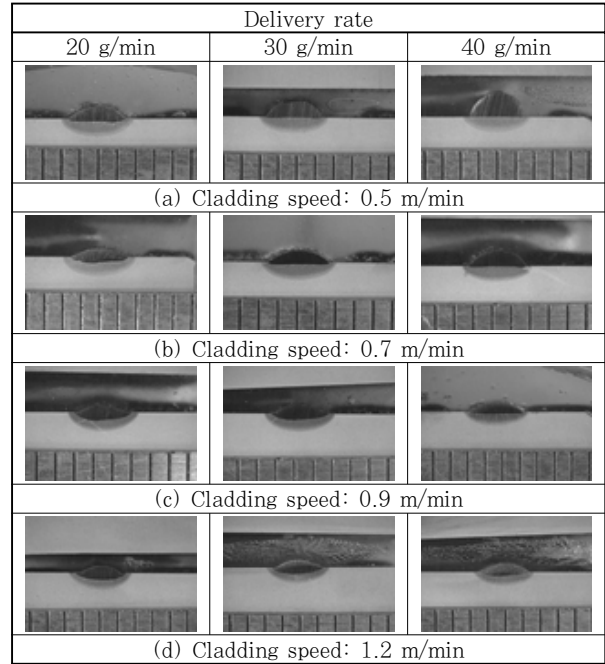


Fig. 3 Cross-sections for powder cladding (Front feeding)

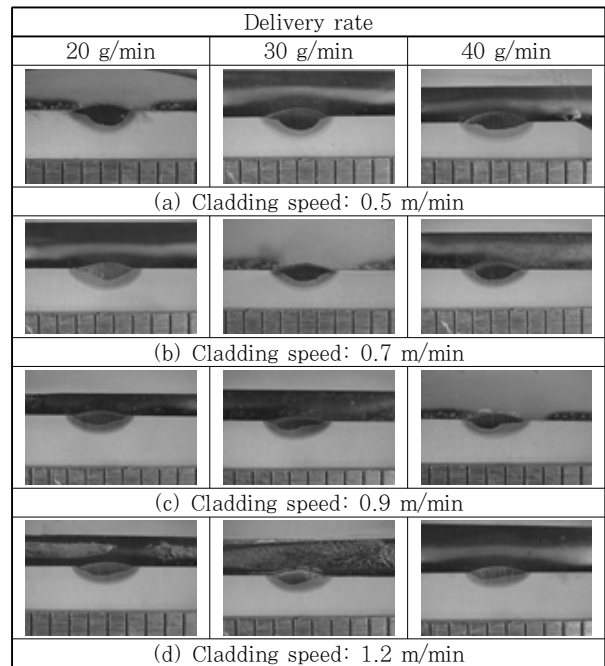


Fig. 4 Cross-sections for powder cladding (Rear feeding)

이어 클래딩 시 안정적인 클래드를 형성하지 못한 경우 표면사진을 대신 나타내었다.

분말송급의 경우 선행송급 및 후행송급방식 모두에서 전체 용접변수 영역에서 안정적인 클래드 단면을 형성하였다.

일반 와이어 송급의 경우 와이어 송급속도가 느리고,

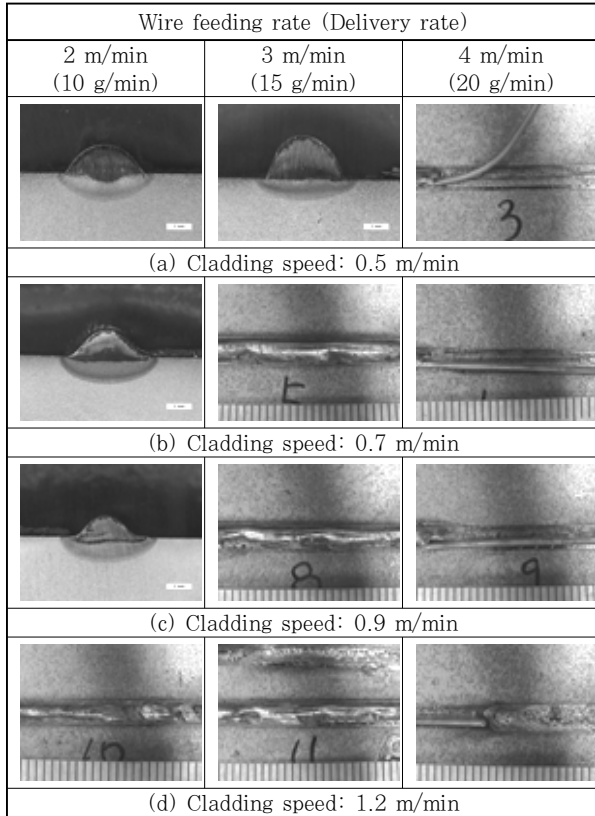


Fig. 5 Cross-sections and appearances for cold wire cladding

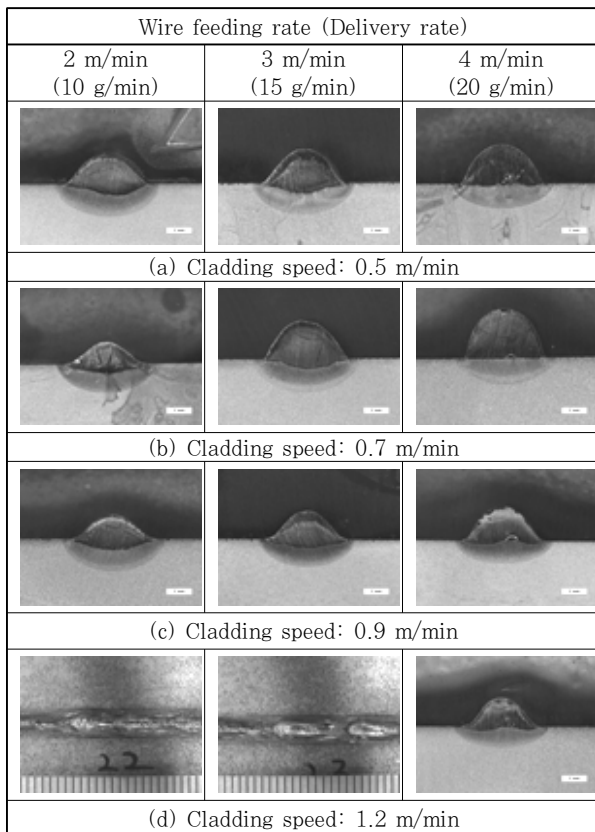


Fig. 6 Cross-sections and appearances for hot wire cladding

클래딩 이송속도가 느린 영역에서만 클래드가 형성되고 와이어 송급속도가 빠르고 클래딩 이송속도가 빠른 경우 충분한 입열이 가해지지 못하여 클래드 박리나 젖음성 부족현상이 발생하였다. 와이어 가열 송급방식에서는 일반 와이어 송급에 비하여 더 넓은 변수범위에서 클래딩이 가능하였다. 클래딩이 안된 영역은 와이어 송급속도가 느리고 클래딩이송속도가 빠른 경우로 용융부위를 와이어가 충분히 채워주지 못하였다.

3.2 적층량 및 재료 효율

Fig. 7은 각 클래딩이송속도에서 송급량과 적층량의 관계를 보여주고 있다. 와이어가열방식을 적용한 경우 저항열로 인한 입열이 더해져 충분한 입열이 가능하므로 송급량이 증가할 때 적층량이 함께 증가하는 경향으로 보여준다. 그러나 분말 클래딩에서 파우더 송급량이 증가하는 경우에도 적층량이 크게 증가하지 않는 경향을 보여주고 있으며, 오히려 파우더 송급이 많을 경우 파우더가 모재로의 레이저 조사를 방해할 수 있어 적층량을 감소시키는 원인이 되기도 한다.

Fig. 8은 클래딩이송속도와 각 이송속도에서의 평균 재료효율의 관계를 보여준다. 클래딩 이송속도가 증가할 때 평균 재료효율이 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 분말 클래딩에 비해 일반 와이어클래딩은 2배 정도, 가열와이어 클래딩의 경우 3배 정도의 효율을 보여주고 있으나 본 실험에서 1 패스 클래딩을 실시한 결과 모재 수축으로 인해 재료효율이 100%가 넘는 결과도 있으므로 실제 다층 클래딩을 할 경우에는 가열 와이어를 이용할 경우 2배 정도의 효율 향상이 예상된다.

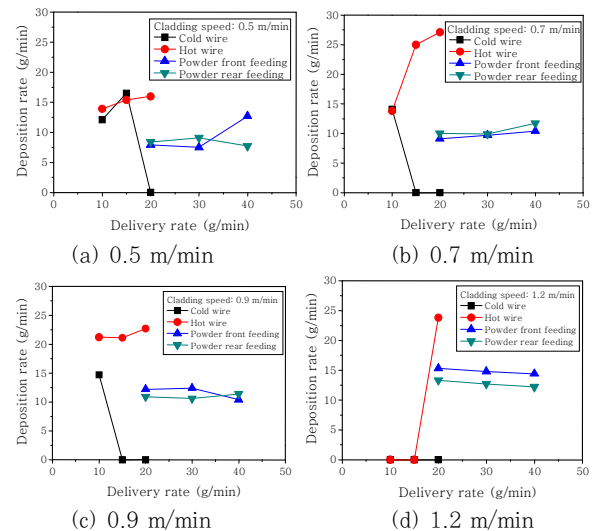


Fig. 7 Deposition rates for various cladding speeds

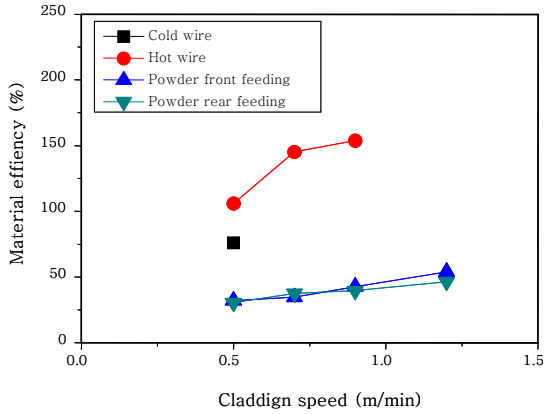


Fig. 8 Average material efficiency for various cladding speeds

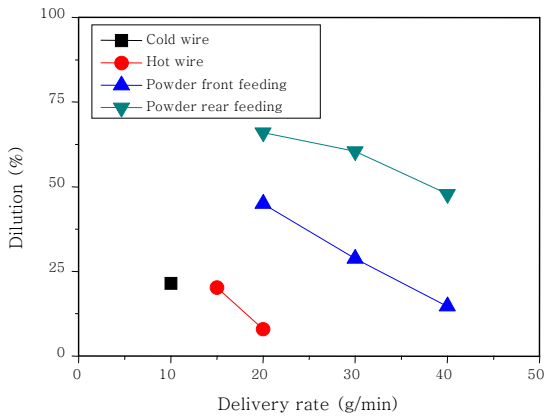


Fig. 9 Average materials efficiency for various delivery rates

3.3 희석률

Fig. 9은 용가재 공급량과 각 공급량에서의 평균 희석률의 관계를 보여준다. 공급량이 늘어날수록 희석률이 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며 본 실험조건에서는 분말클래딩에 비해 와이어클래딩을 하는 경우 희석률이 더 낮게 나타났다. 본 실험에서 와이어 클래딩과 동일한 클래딩이송속도와 레이저 출력을 이용하여 분말클래딩에서 희석률이 상대적으로 높게 나타났으나

클래딩 이송속도를 낮출 경우 더 낮은 희석률의 달성이 가능하다.

4. 결 론

본 특집논문에서는 레이저 클래딩에서 분말송급, 일반 와이어송급, 가열 와이어송급 방식으로 용가재를 송급하면서 공정의 특성을 평가한 결과를 소개하였다. 와이어 송급방식에 비해 분말송급방식이 더 넓은 변수 범위에서 클래딩이 가능하였으며, 가열 와이어송급을 선택할 경우 비교적 넓은 범위에서 클래딩 변수영역이 존재한다. 와이어송급방식에서 재료효율이 거의 100%에 해당하여 분말송급방식에 비해 2배정도 재료효율이 예상된다. 와이어송급 클래딩에서 매우 낮은 희석률 달성도 가능하므로 적절한 공정변수를 선택할 경우 분말송급방식에 비해 우수한 공정능력의 달성이 가능하다.

Reference

1. Laser Institute of America: LIA Handbook of Laser Materials Processing, Laser Institute of America, Magnolia Publishing., 2001, 284-286
2. W. U. H. Syed and A. J. Pinkerton and L. Li: A Comparative Study of Wire Feeding and Powder Feeding in Direct Laser Deposition for Rapid Prototyping, Applied Surface Science, **247-1** (2005), 268-276
3. E. Beyer, P. Herwig, S. Hunze, A-F. Lasagni, M. Lutke, A. Mahrle, S. Nowotny, J. Standfuß and S. Thieme: High Power Laser Materials Processing, Proceedings of the 31th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), 2012, Paper No. OP2
4. S. Kaierle, A. Barroi, C. Noelke, J. Hermsdorf, L. Overmeyer, and H. Haferkamp: Review on Laser Deposition Welding: From Micro to Macro. Physics Procedia, **39** (2012), 336-345
5. A. Hinse-Stern, D. Burchards, and B. L. Mordike: Laser Cladding with Preheated Wires, Proceedings of European Conference on Laser Treatment of Materials (ECLAT'92), 1992, 223-228



- 안영남
- 1982년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구그룹
- 용접시공 및 공정최적화
- e-mail: welding@kitech.re.kr



- 김철희
- 1973년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구그룹
- 용접공정해석 및 자동화
- e-mail: chkim@kitech.re.kr