

분말공급장치를 이용한 VERSAlloy의 S20C강 CO₂ 레이저 클래딩

CO₂ Laser Cladding of VERSAlloy on the S20C with Powder Feeding

김재도* · 권진욱**

* 인하대학교 공과대학 기계공학과

** 인하대학교 공과대학 기계공학과 대학원

ABSTRACT Laser cladding processing allows rapid transfer of heat to the material being processed with minimum conduction into base metal, resulting in low total heat input. The effects of CO₂ laser cladding with powder feeding on mechanical properties of VERSAlloy were studied. Their low melting point (under 1093°C) enables overlays to be applied with minimum dilution and base metal distortion. Experiment results indicated that powder feeding speed and quantity were important for laser cladding with powder feeding. The powder feeding speed should be adapted according to cladding speed for good shaping of clad layer. The effect of heat on the HAZ size can be limited and the growth of grain size of HAZ size was not serious.

1. 서 론

레이저 가공 기술은 고밀도의 열원을 이용한 가공법으로 표면 가공 시 입열량이 적어 금속 가공시에 열영향부가 작고 열변형이 작다는 장점을 가지고 있다.^{1,3)}

고출력 레이저를 활용한 가공 기술은 크게 용접, 절단, 표면 처리 분야로 구별된다. 특히, 표면 처리 분야인 레이저 클래딩, 레이저 표면 경화는 표면에 우수한 기계적 특성을 부여하기 위한 가공법으로 연구·개발되어 왔다.^{4,5)} 레이저 클래딩은 국부적으로 금속 표면에 각종 재료를 합금화 또는 육성시켜 부품의 내식성, 내마모성, 내산화성을 향상시킨다. 레이저 클래딩 가공은 제품의 기능 및 수명을 연장시킬 수 있으며 열영향부가 작고 모재와 금속 표면의 결합력이 우수하다는 특성을 가지고 있다.^{6,7)}

본 연구에서는 S20C강 모재에 니켈계 합금인 VERSAlloy 분말을 분말 공급 장치를 이용하여 레이저 클래딩을 연구하는 데 목적이 있다. VERSAlloy는 니켈계 합금으로서 부식, 마모, 고온산화, 침식 등에 훌륭한 저항성을 지닌다. S20C강은 일반적으로 기계구조용으로 널리 사용되는 강으로 탄소(C) 함유량은 0.18%~0.23%이다. 기계 구조용 강은 장시간 사용 시 마모, 부식에 의한 수명 단축이 심하게 발생한다. 또한 이 범위의 탄소강은 열처리효과를 기대할 수 없으므로 비교적 강도를 필요로 하지 않는 것에 사용되어 지고 있다. 그러나 레이저 클래딩을 이용하여 니켈계 합금인 VERSAlloy 금속층을 입혀서 이러한 단점을 보완하여 사용할 수 있다.

분말 공급식 레이저 클래딩 기술은 금속 모재에 레이저 열원으로 금속 분말을 녹여 새로운 금속층을 입히는 기술이다. 모재는 가능한 적게 녹아야 하고, 모재의 열적 변형이 없어야 하며, 기공이 없는 금속 결합이 이루어져야 한다.⁸⁾

본 실험에서는 분말 공급식 클래딩 연구를 위하여 레이저 빔 전달 장치 제작, 분말 자동 공급 장치 제작, 레이저 클래딩 장치를 제작하였다. S20C강 모재에 VERSAlloy 50 금속분말을 분말 자동 공급 장치로 공급하면서 CO₂ 레이저 빔의 열원으로 클래딩 실험을 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2. 1 실험재료

클래딩 실험에 사용된 모재는 S20C 저탄소강으로 80×45×11mm 크기로 하였다. 분말은 VERSAlloy 50 분말로써 입자크기는 300mash이다. 이 합금은 부식, 마모, 고온산화, 침식 등에 훌륭한 저항성을 지닌다. 모재인 SM20C강과 VERSAlloy 50의 조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical compositions of S20C and VERSAlloy 50

	C	Si	Mn	P	S	Fe	B	Cr	Ni
S20C	0.16	0.25	0.76	0.02	0.006	Bal	-	-	-
VERSAloy 50	0.6	4.0	-	-	-	4.0	3.0	11.0	Bal

2. 2 분말 자동 공급장치

분말 자동 공급장치는 자체 설계·개발된 장치를 사용하였다. 공급장치 설계 시 주안점은 분말 형태의 금속을 일정한 공급속도로 지속적으로 노즐을 통하여 배출시키는 것에 중점을 두었다. 분말 공급 시 분말 배출량의 제어는 상부에 위치한 제어 모터의 속도에 따른 스크류의 회전비에 따라 정해진다. 제어 모터의 속도는 전원 조절기로 제어하였으며 공급장치는 간단한 부품으로 제작하여 실험 시 공급이 중단되거나 문제가 발생하더라도 즉시 복구할 수 있도록 하였다. 또한 분말이 스크류에 의해 아래로 밀려 내려가며 서로 정체가 되는 현상이 없도록 주위에 분말 교반 장치를 덧붙였다.

2. 3 레이저 클래딩 장치

레이저 클래딩 장치는 CW CO₂ 레이저와 분말 공급장치로 나눌 수 있다. CW CO₂ 레이저는 컴퓨터로 속도 및 출력의 제어가 가능하여 실험위치에서 조사할 수 있다.

실험시 시편과 렌즈와의 거리는 48mm였으며 빔 직경은 2.0~2.5mm이었다. 실험에 사용된 CO₂ 레이저는 빔모드 TEM₀₀, 최고출력 4kW로 1.8~2.2kW의 출력으로 실험하였다. 레이저장치는 컴퓨터로 이동이 가능하며 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하도록 세팅하였다. 분말공급장치의 분말노즐은 초점위치보다 약 5mm 높게 설치하여 분말이 나올 때 레이저빔에 의해 녹으며 시편에 녹아 붙을 수 있도록 하였다. 그리고 클래딩시 시편의 산화 방지 및 CO₂ 레이저의 렌즈 보호를 위하여 보호가스를 분사하도록 하였다. 보호가스 노즐은 시편 위의 초점위치에 가스가 분사되도록 장착하였다. 보호가스는 아르곤 가스를 이용하였으며 위치 제어가 쉽도록 구리관을 사용하였고, 유량은 평균 15 l/min으로 분사하였다.

2. 3 실험방법

예비실험은 S20C 모재에 VERSAlloy 50 분말(300mesh)을 사용하여 클래딩 하였다. 먼저 레이저 출력과 이송속도를 변환시키면서 양호한 출력 및 이송속도 범위를 찾았으며, 초점의 이동, 분말 공급량 등을 변환시키면서 적절한 범위를 찾아보았다. 본 실험에서는 일정한 레이저 출력(평균출력:2KW)을 사용하였고 가공변수로는 레이저 이송 속도, 분말 공급량, 분말 공급 속도 등이다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 레이저 이송 및 분말 공급량

빠른 분말 공급 속도로 인해서 완전히 녹지 않은 분말은 이미 녹아 있는 모재의 용융부 옆에 의해서 녹기 때문에 일정한 분말 공급 속도 내(48g/min 이하)에서는 클래드 층이 잘 형성되었다. 레이저 빔 이송 속도가 일정할 때 분말 공급 속도가 증가할수록 클래드층 높이는 증가하는 반면 폭은 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 클래드층 높이의 증가는 분말 공급량이 증가함에 따라 빔 에너지가 분말에 흡수되는 양이 증가하기 때문인 것으로 분석되었고, 폭이 변화하지 않는 것은 빔 이송속도가 일정하기 때문에 모재의 단위면적당 입열되는 에너지가 일정하기 때문이다. 분말 공급 속도가 일정할 때 레이저 이송속도가 느릴수록 클래드층의 높이는 증가하고 회석율은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 분말 공급량이 증가함에 따라 빔 에너지가 분말에 흡수되는 양이 증가하기 때문에 클래드층 높이는 증가하지만 모재의 용융 면적은 감소한 것으로 분석되었다.

3. 2 분말 공급 각도 및 클래딩 속도

모재로부터 분말 공급 노즐의 각도는 약 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 가 양호하였다. 60° 이하의 노즐 각도는 분말이 노즐 관을 통하여 나가면서 관내에 적체되어 잘 흐르지 않게 되어 불연속적인 클래드층이 형성되었으며, 너무 큰 노즐 각도는 분말 공급량을 모터를 이용한 스크류로 조절하더라도 한꺼번에 많은 양의 분말이 흘러내렸다. 이 경우 레이저 빔 초점에서 분말을 모두 녹이지 못하게 되어 기공 및 균열 등의 결함이 발생하였다.

레이저 출력과 분말 공급속도를 일정하게 유지시킬 때, 레이저빔 이송 속도가 증가할수록 클래드층의 폭과 높이는 감소하였다. 이는 단위 시간당 입열되는 레이저 빔 에너지와 분말의 양이 감소하기 때문이다. 클래딩 속도가 너무 빠르면 분말이 완전히 용융되지 않고, 너무 느리면 입열되는 에너지가 과도하여 분말이 증발되어 양호한 클래드층을 형성할 수 없었다.

3. 3 클래드층 표면

Fig. 3-1은 2.0kW, 700mm/s로 클래딩한 시편의 표면을 나타내고 있다. 모재에 대한 클래드층 표면은 모두 일정한 물결 모양이 나타났다. 상대적으로 레이저의 이송속도가 빠르거나 분말 공급속도가 불안정한 경우 클래딩 할 때 이송속도와 분말 공급속도가 적당할 때보다 나쁜 표면 거칠기가 형성되는데 이것은 레이저빔 에너지의 입열량에 기인한 것으로 보인다. Fig 3-2는 클래딩 시편의 단면 형상을 보여준다.

3. 4 미세 조직 및 열영향부

모재와 클래드층의 결합 조직에서 크랙은 발견되지 않았으며 매우 견고하게 결합된 것을 알 수 있었다. Fig. 3-3는 열영향부와 결합 구조를 나타내고 있는데 모재와 클래드층이 만나는 용융선 주위에 모재와 클래드 층이 회석되어 결합된 부분과 모재의 열영향부를 보여주고 있다.

모재에서 클래드층이 가까운 위치일수록 열영향에 의해서 조직이 커진 것을 알 수 있었다.

3. 5 경도 측정

Fig. 3-4는 SM20C모재에 VERSAlloy 50을 출력 및 레이저빔 이송속도에 따른 클래드층 경도 측정의 결과를 나타낸 것이다. 경도는 클래드층 최상부 아래 0.05mm 부분부터 모재의 3mm 까지 차례대로 측정하였다. 측정에 사용된 경도계는 Mitutoyo 마이크로 경도 테스트기를 사용하였으며, 200g의 하중으로 1.5초간 진행하였다. 경도테스트 결과 클래딩 표면에서 모재로 내려갈수록 경도가 증가함을 볼 수 있었다. 또한 클래딩 속도가 증가할수록 모든 범위의 경도가 높게 측정되었다. 이는 모재보다 클래드층의 냉각속도가 더 크기 때문이다. 열영향을 많이 받을수록 조직이 커지며 경도가 낮아지는데 열영향부에서 클래드층의 용융선에 가까운 곳이 열영향을 더 많이 받으므로 조직이 가장 크고 경도가 가장 낮다. 결국 냉각속도가 경도와 열영향부 조직 크기에 큰 영향을 끼치는데 클래딩 속도가 증가할수록 냉각속도는 커진다는 것을 알 수 있다.



Fig. 3-1 Top view of clad layer



Fig. 3-2 Cross section of clad layer
(2kW 700mm/s)

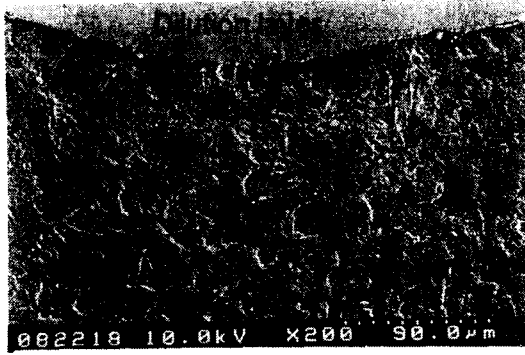


Fig. 3-3 The Clad layer and HAZ

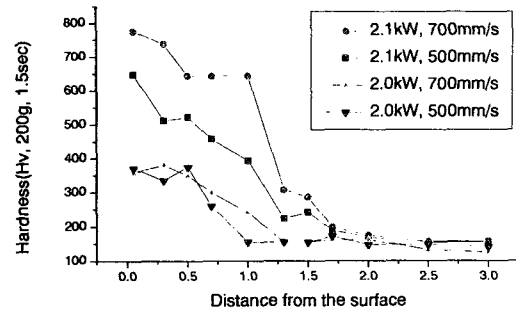


Fig. 3-4 Hardness distribution of the clad layer

4. 결 론

분말 공급식 레이저 클래딩 실험을 통해서 여러 가공변수에 따른 다양한 클래딩의 형상을 비교, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 레이저빔의 이송속도가 증가할수록 적은 열영향 때문에 열영향부의 조직 크기는 감소하였으며 경도는 증가하였다. 결국 시편의 이송 속도 증가는 냉각속도의 증가를 가져온다.
- (3) 클래드층의 경도보다 열영향부의 경도가 낮았으며 이는 냉각속도의 차이에서 기인한다. 또한 열영향부에서 클래드층에 가까울수록 열영향에 의해서 경도는 낮아지고 조직은 조대화 된다.
- (4) 적절한 가공 변수들의 조건하에서 클래딩이 이루어진 경우 금속의 클래드층이나 열영향부에서 크랙은 발생되지 않았으며, 모재와 클래드층은 견고하게 결합되었다.

참고문헌

- (1) P. J. Oakley : Laser Heat Treatment and Surfacing Techniques, The Welding Institute Research Bulletin, (1981), pp.1~11
- (2) S. Kimura, N. Sano, and S. Sugiyama : Laser Heat Treatment with Beam Focussing Optical Systems, Toshiba Co.
- (3) Mikio Takemoto, Masanobu Shinya : Coating of Aluminide Intermetallic Compounds by Laser Fusion Reaction, Proc. of LAMP'92, pp. 773~778
- (4) R. Olen Lund, David E. Stoltzman : Optimization of Focussed Spot Characteristics for Laser Beam Material Processing, Proc. of ICALEO'92, pp. 1~9
- (5) Eung San Cho, Young Ju Kang, Jae Do Kim : CO₂ Laser Cladding of Engine Valve Seat, Proc of APLS'98.
- (6) W. F. Smith : Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-hill, U.S.A., pp. 446
- (7) R. Walker : Applying Multikilowatt CO₂ Laser in Industry, Laser and Application, Apr. (1984), pp. 62~69
- (8) J. Suh et al : CW CO₂ Laser Beam Welding and Formability of Zn-coated Steel Plates, J. of KWS, Vol. 14, No. 3, (1996), pp. 140~146