

레이저 클래딩 공정 변수에 따른 Al 모재와 Fe계 합금분말의 금속간 화합물(IMC)과 균열 거동

Effects of Process Parameters on Intermetallic Compounds and Crack Behavior during Laser Cladding of Fe-based Alloy powder on Aluminum

유 연곤*, 강 남현*, 이 중현*, 김 정한*, 김 목순**

* 한국생산기술연구원 정밀접합팀

** 인하대학교 금속공학과

1. 서 론

경량화 자동차를 위한 연구로 차체나 엔진 부분에서 알루미늄의 적용이 증가하고 있다. 차체 부분에서는 알루미늄과 스틸의 접합에 관한 연구가 계속 되고 있고^{1,2)}, 엔진 부분에서도 내열성을 가진 고강도 내마모 알루미늄 소재 기술에 대해서 관심이 증가하고 있다. 알루미늄은 높은 열전도율과 가벼운 장점이 있지만 마모 특성의 개선이 필요하다. 알루미늄에 내마모성을 부여하기 위한 방법 중에 엔진 밸브시트 제작을 위해서는 레이저 클래딩 기술이 적합하다.³⁾ 일반적으로 레이저 클래딩 공정은 내마모성, 내식성, 내열성 등의 특성을 모재 표면에 부여하는 기술로 낮은 입열로 인한 모재의 변형을 최소화 하고, 희석을 줄이고 또한 HAZ를 줄일 수 있다.

하드페이싱용 내마모 재료로는 Fe계(Fe-Cr-C)합금 분말을 선정⁴⁾ 하여 알루미늄 모재에 레이저 클래딩 공정을 수행하였다. Al-Fe 이종재료의 접합으로 클래드층과 모재 사이의 Interface 영역에서 금속간 화합물(Intermetallic Compounds)이 형성되고 균열이 발생하였다.

본 연구에서는 속도와 분말공급량의 변화에 따라 발생하는 균열에 대한 정량적 평가(ICR)와 Interface 영역에서의 금속간 화합물(IMC)규명에 대하여 수행하였다.

2. 실험 방법

이번 실험에 사용된 장비는 12kW CO₂ 레이저와 powder feeding 장치를 사용하여 레이저 클래딩 실험을 실시하였다. 모재와 분말에 대한 조성은 Table. 1에 나타내었다. Fe계 클래딩 분말은 대기 상에 존재하는 수분 제거를 위하여 40~45°C로 가열하면서 실험하였다.

Table. 1 Composition of the powder and the substrate (Wt%)

	Al	Fe	Cr	Cu	C	Si
AC2B	Bal.	-	-	3	-	6
Powder	-	Bal.	20	-	1.7	1.1

2.1 공정 개요와 변수

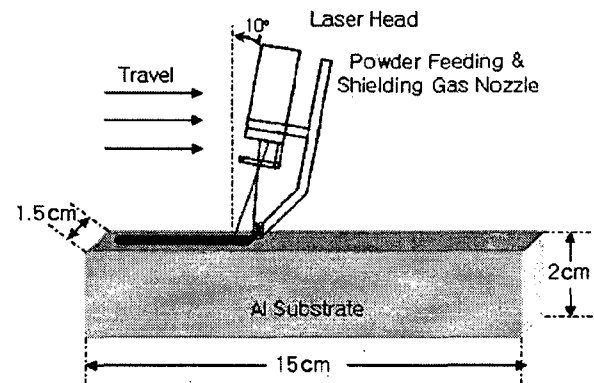


Fig. 1 Diagram of the laser cladding process

Table. 2 Parameter of Laser Cladding Process

Parameter	Values
Power(kW)	2
Travel Speed(mm/min)	180, 150, 120, 90
Powder Feeding(g/min)	3.6, 4.2, 4.8, 5.4
Spot Size(mm)	3.5
Shielding Gas(ℓ / min)	4(Ar100%)

레이저 클래딩 공정은 Fig. 1과 같이 모재를 고정하고 레이저 헤드가 이동하면서 분말을 공급해주었으며, 레이저가 분말공급 노즐을 후행하는 방식으로 실시하였다. 레이저 클래딩의 주요 공정 변수로는 Table. 2에서 보듯이 5가지가 있다.

2.2 Interface Crack Ratio(ICR)

클래드층과 모재사이의 Interface 영역에서 발생하는 균열의 정량적 평가를 위해 Fig. 2에서 그림으로 나타내었고, 이를 Eq. 1과 같이 수식으로 나타내었다.⁵⁾ ICR계산을 위해서 SEM으로 관찰하였을 때 (X1,000)의 배율에서 확인된 균열에 대해서만 적용 하였다.

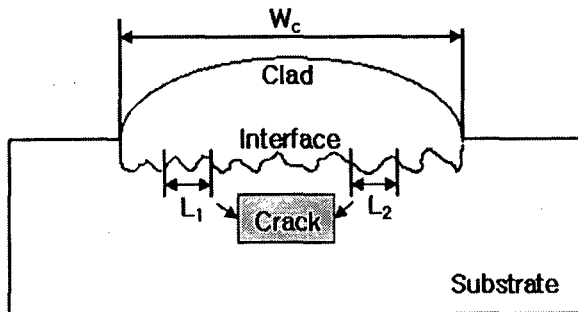


Fig. 2 ICR 계산을 위한 단면

$$ICR = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{W_c} \times 100 \quad (1)$$

2.3 XRD 분석

XRD 분석은 50% overlap 시편과 0% No overlap multy-layer 시편으로 Interface 영역의 금속간 화합물(IMC)에 대한 상 분석을 수행하였다. 클래드층의 표면을 Sandpaper-Polishing 후 200 μ m 간격으로 시편을 준비 하였다. (Fig. 3)

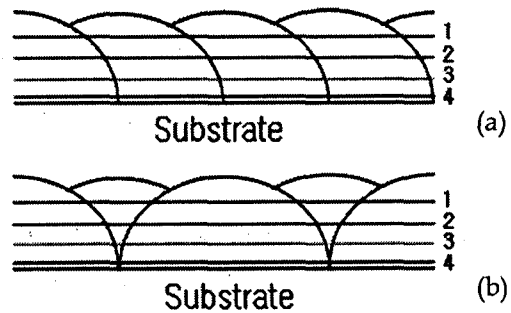


Fig. 3 Schematic cross-section of XRD Specimen number. (a) 50% overlap, (b) 0% No overlap multy-layer.

3. 결과

3.1 ICR 결과

Fig. 4에서 나타나듯이 분말공급량이 증가함에 따라 ICR은 증가하였다. 분말공급량이 가장 적은 3.6g/min일 때 ICR이 가장 적게 나타났으며, 2kW, 3.6g/min, 180mm/min일 때 ICR 0%인 건전한 클래드층을 형성하였다.

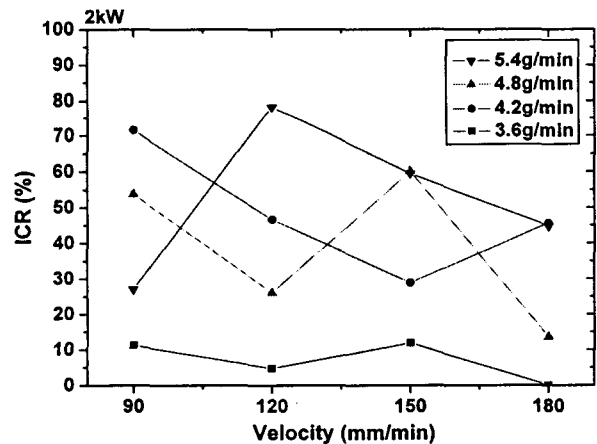


Fig. 4 분말공급량과 속도에 따른 ICR

3.2 SEM, EDS 결과

Fig. 5 (a)는 Interface 영역의 하단부에 균열이 관찰된 SEM 이미지이다. (b)는 (a)이미지의 고배율로 검은 부분(㉠)와, 하얀 부분(㉡)를 EDS 분석 하였다. (Table. 3)

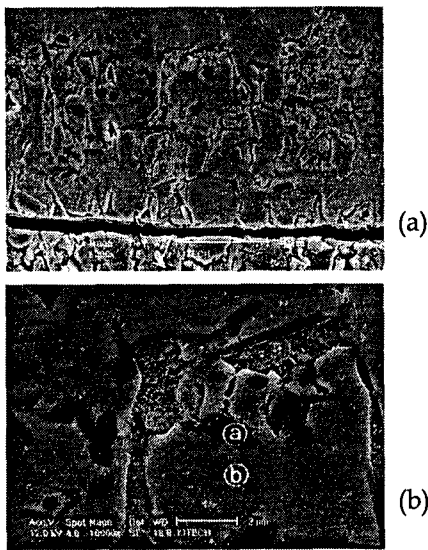


Fig. 5 Interface 영역에서의 균열

Table. 3 IMC formation at the Al-Fe Interface

①	C	Al	Si	Cr	Fe
Wt. %	16.8	61.2	2.4	5.2	14.4
Atom %	34	55.2	2.1	2.4	6.3

②	C	Al	Si	Cr	Fe
Wt. %	2.3	30.7	4.9	10.3	51.8
Atom %	7.2	43.3	6.7	7.5	35.3

3.3 XRD 결과

XRD 분석을 통하여 Interface 영역에서 Fe₃Al, FeAl₃, Al₂Fe와 같은 취약한 Al-Fe 금속간 화합물(IMC)층이 형성되었다. (Fig. 6, 7) 취약한 Al-Fe 금속간 화합물(IMC) 인하여 균열이 발생하는 것으로 보인다.

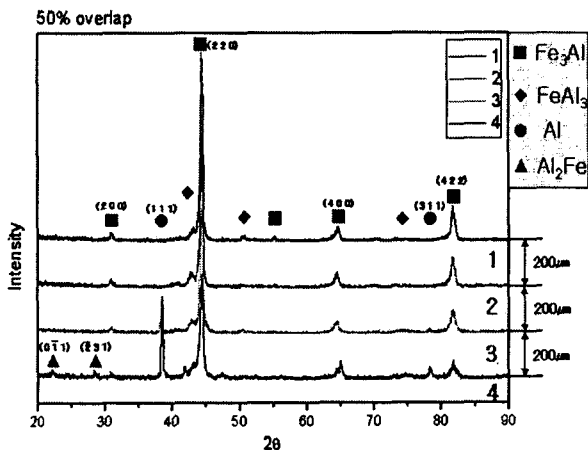


Fig. 6 50% Overlap 시편의 두께에 따른 상분석

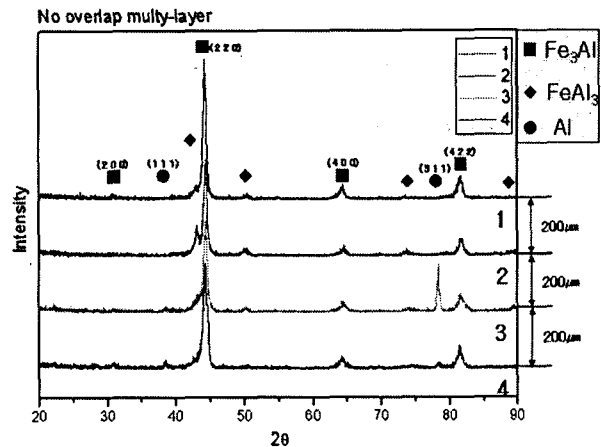


Fig. 7 0% No verlap multi-layer 시편의 두께에 따른 상분석

4. 결 론

균열이 없는 건전한 클래드층을 위하여 수행된 이번 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 분말공급량이 적을 때 ICR은 감소하였다.
- 2) 2kW, 3.6g/min, 180mm/min일 때 ICR 0%인 건전한 클래드층을 형성하였다.
- 3) Interface 영역에서의 Fe₃Al, FeAl₃, Al₂Fe와 같은 취약한 Al-Fe 금속간 화합물(IMC)층은 균열 발생의 원인으로 보인다.

참 고 문 헌

1. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P. De Smet, A. Haszler, A. Viergege. : Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, Materials Science and Engineering A280 (2000) 37-49
2. 박태완, 조정호, 나석주 : 강과 알루미늄의 레이저 접합에 관한 연구, Journal of KWS. vol. 23. NO. 5, October, 2005
3. Kawasaki, M. ; Takase, K. ; Kato, S. ; Nakagawa, M. : Development of Engine Valve Seats Directly Deposited Onto Aluminum Cylinder Head by Laser Cladding Process, SAE transactions v.101 no.3
4. Y. Yoo, N. Kang, C. Kim, J. Kim, J. Kim, M. Kim, Effects of process parameters on a laser cladding deposit of Al substrate and Fe-alloyed powder, Proc. 2005 Autumn Ann. Mt. KWS, Sanchung, Korea, 2005
5. A. Wang, C. Fan, C. Xie, W. Huang, and K. Cui. : Laser Cladding of Iron-Base Alloy on Al-Si Alloy and Its Relation to Cracking at the Interface, JMEPEG(1996) vol.5:775-783