

Al-Fe 이종재료 접합 계면에서의 크랙 거동

Behaviors of the interface cracks during an Al-Fe dissimilar joining

강남현*, 김철희*, 김준기*, 이창우*

* 한국생산기술연구원 정밀접합팀

ABSTRACT The CO₂ laser cladding was conducted on an AC2B alloy with feeding Fe-based powders. A powder feeding rate (PFR) and a travel velocity were related with the cracks adjacent to the Fe/Al interface. Preheating temperature was varied to study the interface crack. Preheating to 250°C during the laser cladding suppressed the interface crack ratio (ICR). The ICR was limited for the single pass clad and the reciprocating test for the slide wear was conducted on an overlay cladding experiment. Comparing with no overlap overlay, the overlay clad with 50% overlap showed better wear resistance.

1. 서 론

에너지 및 환경문제에 대한 대안으로 차세대 자동차 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 하이브리드 또는 연료전지로 구동되는 청정 엔진 개발 이외에도 자동차 경량화를 통한 배기가스 절감을 위하여 연구개발이 진행 중이다. 경량화의 대표 주자는 알루미늄 재료를 엔진 및 차체에 적용하는 것이다. 그러나 알루미늄 재료의 광범위한 적용은 비교적 열악한 내열성 및 내마모성으로 인하여 제한되고 있는 실정이다.

레이저클래딩 공정은 알루미늄합금의 경도 및 내마모성을 높이는데 효과적으로 활용되고 있다. 레이저를 열원으로 활용함으로써 열영향부(HAZ)를 최소화 할 수 있고, 제한된 영역에 오버레이 용접이 가능하게 되었다. 알루미늄합금의 내마모성 향상을 위한 재료로는 동합금이 적절한 것으로 알려져 있으며, 이 재료는 토요다 자동차에서 엔진벨브 시트의 대량생산 라인에 적용하고 있다¹⁾. 동합금과 알루미늄합금의 조합을 통하여 레이저클래딩 층과 모재와의 계면 조적을 성공적으로 컨트롤 하였다.

하드페이싱용 내마모 재료로는 텅스텐탄화물(WC)²⁾과 Co계 Stellite합금 분말이 주로 사용되고 있으나, 텅스텐탄화물(WC)은 고가이고 Co계 Stellite합금은 환경문제로 인하여 사용을 꺼려하고 있기 때문에, Fe계(Fe-Cr-C) 하드페이싱 분말을 선정하였다. Fe계 분말은 기계적 성질이 우수하고 가격이 저렴하다는 장점이 있다³⁾. 본 연구는 알루미늄합금 AC2B 모재의 내마모성을 향상

시키기 위하여 Fe합금 분말을 레이저클래딩 공정으로 육성용접 하였다. 분말공급량(PFR) 및 용접 속도에 따른 클래드 층의 형상 및 크랙의 영향을 조사하였다. 특히 예열온도가 크랙에 미치는 영향을 계면크랙발생율(ICR)이라는 지표로 정량적인 연구를 수행하였다. 최적의 클래딩 조건을 one-pass 용접에서 얻은 후 오버레이 육성용접층을 형성하고 반복슬라이딩 마모실험이 진행 되었다.

2. 실험방법

레이저클래딩에 사용된 재료는 지난 연구⁴⁾에서와 동일한 재료를 사용하였다. 레이저헤드는 10° 용접방향으로 기울였으며 분말공급 노즐은 레이저 헤드를 선행하였다. 레이저클래딩의 주요 공정변수는 Table. 1에서 볼 수 있다. 레이저 스폿 크기, 보호가스의 종류 및 유량, 레이저 출력 등 미리 선정된 공정조건들은 안정된 레이저 클래드층을 얻기 위하여 최적화 된 조건을 사용하였다⁴⁾. 마모 특성을 측정하기 위하여 오버레이 육성용접을 2kW CO₂ 레이저, 90mm/min 속도, 3g/min PFR에서 수행하였다. 오버레이 클래드층은 내마모 특성을 시험하기 위하여 Figure. 1과 같은 방법으로 패스간의 겹침률이 0%, 50% 두 종류로 시편을 준비하였다. 내마모 시험은 왕복슬라이딩 마모시험으로 시행되었다. 시험조건은 접촉하중 15ksi, 마찰속도 3mm/sec, 마찰스트로크 9mm, 왕복횟수 100회, 온도 25°C 및 100°C에서 수행하였다.

Table. 1 Parameter of Laser Cladding Process

Parameter	Values
Laser power (kW)	2
Laser spot diameter (mm)	3.5
Ar shielding gas (l/min)	4
Powder feeding rate (g/min)	3.0 - 5.4
Travel velocity (mm/min)	90 - 180
Preheating temperature (°C)	25, 250, 300

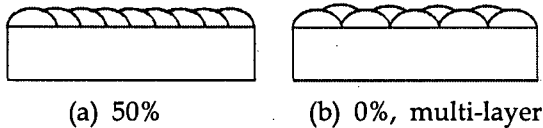


Figure. 1 Schematic diagram of overlay cladding

3. 결과 및 고찰

공정변수에 따른 클래드층 단면형상에 대한 체계적인 연구를 위하여 Figure. 2와 같이 구분하였다. Clad area는 용접풀에서 모재와 희석되지 않은 부분을 가리킨다. Transitional region은 클래딩 분말과 모재와 합금화가 진행된 구간으로 일반적으로 clad area와 postmolten area 사이의 경계에 존재하는 지역이다. Postmolten area는 모재와 같은 조성을 가지지만 더욱 미세한 조직을 가지는 응고부이다. 응고부의 덴드라이트 조직의 성장 방향이 clad area에서 모재의 방향으로 자라는 것으로 관찰되었다. 이는 고용점 클래드층에서 모재로의 열전달을 통하여 모재를 용융시킨 후 응고된 조직을 나타내었다.

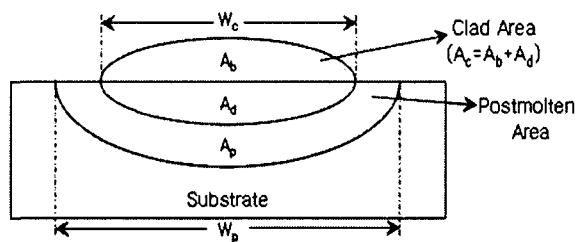


Figure. 2 Classification of the laser clad cross-section

3.1 클래드층 형상

Figure. 3에서는 PFR 및 travel velocity에 따른 A_c 및 W_p 의 거동에 나타나있다. Travel velocity가 90mm/min에서 180mm/min으로 증가하면서 A_c 및 W_p 는 동시에 감소하였다. 넓은 A_c 를 얻기 위해서는 W_p 가 동시에 넓어지는 것을 피할 수 없었다. 그러나 PFR의 경우 3.0g/min에

서 5.4g/min으로 증가할 때 A_c 는 증가하였지만 W_p 는 감소하였다. 즉 넓은 클래드층을 가지면서도 좁은 열영향부를 가진 클래드 형상을 위해서는 같은 속도에서 높은 PFR의 공정조건이 유리함이 판명되었다.

3.2 예열온도에 따른 크랙 거동

Figure. 4(a)는 travel velocity 및 PFR에 따른 ICR의 거동을 나타내고 있다. 체계적인 경향성은 보이지 않았으나 PFR 3.6g/min의 경우 클래드층과 postmolten 지역사이의 최적 접합 상태를 확인할 수 있었다. Figure. 4(b)에서 볼 수 있듯이 250°C의 예열을 통하여 ICR이 최소화 되었으며, 이는 클래드층과 postmolten 구간 사이의 thermal mismatch를 예열효과를 통하여 부분적으로 해결 하였으므로 판단된다. 그러나 300°C 예열온도에서는 심각한 dilution 효과로 인하여 Al-rich 금속간화합물 형성을 촉진하여 ICR이 오히려 증가하는 것으로 판단된다.

3.3 예열온도에 따른 마모거동

오버레이 육성용접 샘플에서의 왕복슬라이딩 마모실험을 수행한 결과, 50% 오버랩 오버레이 샘플이 0% 오버랩 오버레이 샘플에 비하여 우수한 마모 특성을 나타내었다. 100°C에서의 고온 마모 특성이 실온 마모 특성보다 우수한 것으로 판명되었으며, 예열온도에 따라서는 250°C 예열을 한 경우가 가장 우수한 마모특성을 나타내었다.

4. 결 론

이번 연구를 통하여 Al substrate 위에 Fe계 합금 분말을 사용한 레이저 클래딩에서 제한된 크랙을 가진 적합한 클래드 조인트를 확보할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) PFR이 증가하고 속도가 감소하면 A_c 는 증가하였다.
- 2) 넓은 A_c 와 좁은 W_p 를 갖는 클래드층을 획득하기 위해서는 속도를 줄이기보다 PFR을 증가시키는 것이 유리하였다.
- 3) 250°C 예열을 한 경우 ICR은 감소하고 우수한 마모 특성을 가졌다.

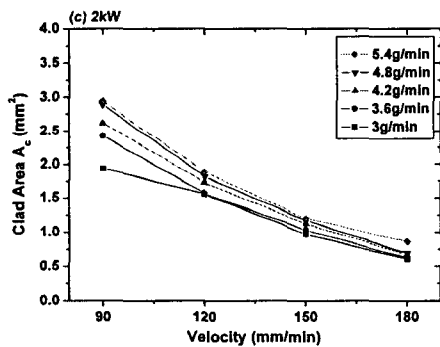
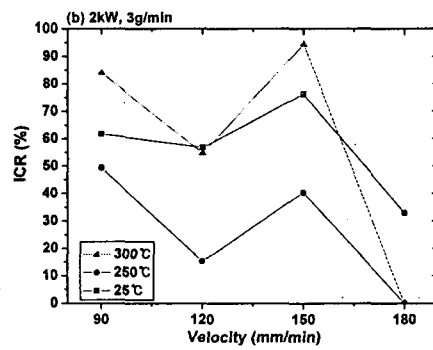
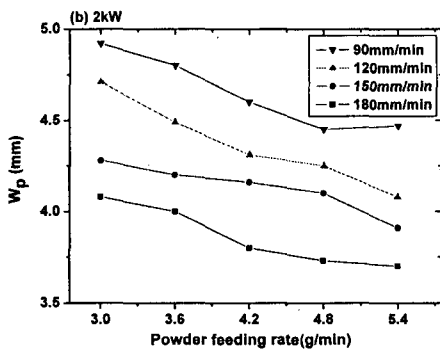
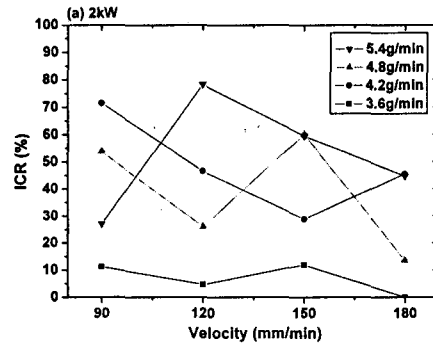
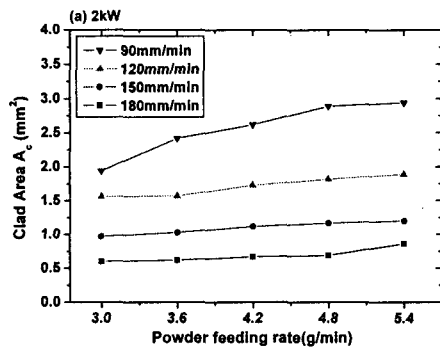


Figure. 4 Interface crack ratio as a function of powder feeding rate and preheating temperature

참고 문헌

1. 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
2. 강남현, 채현병, 김준기, 최종하, 김정한. : 재생 초경합금 분말을 활용한 금속기지 복합재료의 Abrasion 마모거동, 한국재료학회지 Vol. 13 No. 12(2003)
3. Kown-yeong Lee, Sung-hoon Lee, Yangdo Kim, Hyun Seon Hong, Young-min Oh and Seon-jin Kim : The effects of additive elements on the sliding wear behavior of Fe-base hardfacing alloy, Wear. 255 (2003), 481-488
4. 레이저클래딩 공정변수에 따른 Al 모재와 Fe계 합금분말 클래드층의 거동, 대한용접학회 (2005 추계), 237-239

Figure. 3 Variation of laser clad shape with respect to powder feeding rate and travel velocity