

저탄소강에 대한 Ni기 초합금의 레이저 클래딩

Laser cladding of Ni-base superalloy on low carbon steel

한국기계연구원 서무훈, 이제훈, 한유희

I. 서론

레이저클래딩은 고밀도의 에너지를 가진 레이저 빔을 이용 기지금속 표면에 내부식성, 내마모성 및 내열성을 지닌 금속을 용융접합시키는 표면개질법 중의 한 방법이다. 이러한 금속의 표면구역만을 개선하는 방법은 다른 표면개질방법과 비교하여 재료의 기계적 성질을 저하시키는 열영향부가 좁게 나타나며, 요구조건에 적합한 재료를 선택하여 기지금속에 용융접합시키므로 금속의 선택 범위가 넓고, 경제적인 비용절감에도 우수한 효과가 있어 많은 연구가 진행되고 있다¹⁾. 이종 금속을 기지금속에 첨가시키는 방법으로는 금속표면에 금속페이스트나 판재 형태를 부착시킨후 레이저빔을 조사하는 방법과 이종금속을 분말²⁾ 혹은 wire 형태로 레이저빔 조사면에 동시에 공급하는 방법이 있다. 이 중 분말동시공급법은 이종 금속의 공급량 조절이 용이하고 고가의 금속분말과 에너지의 사용효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 내열 내마모성 재료인 Ni기 초합금 분말을 분말동시공급법을 이용하여 저탄소강에 레이저 클래딩하였을 경우 공정변수에 따른 경도 및 최종 미세구조의 변화를 연구하였다.

II. 실험방법

본 실험에서는 저탄소강(SS41)을 모재로 경화재료인 Ni기 초합금 분말을 클래딩 재료로 사용하였다. 화학 조성은 표1과 같다. Ar gas를 보호가스로, RS840 CO₂레이저를 사용하였다. 빔 직경은 2.6mm, 분말은 레이저 빔 2mm후방에 분사하는 방식으로 레이저 클래딩하였다. 분말공급은 회전 disk 방식으로 이 방법은 disk의 회전수를 조절하여 공급량을 조절하며, disk에 의하여 이송된 분말이 자유낙하와 송급 gas에 의하여 노즐로 이송되어 가공부위에 송급되어진다.

레이저 빔 조사속도 변화에 따른 특성을 알아보기 위하여 0.1~1.8m/min로 변화시켰으며, 분말공급 변화에 따른 영향을 알아보기 위하여 8.01~56.07g/min로 변화시켰다.

레이저 클래딩 실험후 재료의 단면을 절단하여 0.05 μ m까지 연마하였다. H₂NO₃ : HCl = 2 : 1 용액에서 에칭한 후 광학 현미경을 통해 미세조직을 관찰하였다. Micro-Vickers 경도기를 사용하여 실험변수에 따른 경도변화를 관찰하였고, CAMECA SX-50 EPMA 측정장비를 이용하여 회석율에 따른 성분 변화를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 공정변수가 clad 층에 미치는 영향

1.1 분말 공급량(powder feed rate)의 영향

분말 공급량이 증가할수록 clad 층의 높이가 증가하는 반면 모재의 용융부위는 점점 감소하는 것으로 나타났다(그림1). 이것은 분말 밀도가 높아짐에 따라 빔 에너지가 분말에 흡수되는 양이 증가하기 때문인 것으로 사료된다³⁾. 가공된 clad 층이 불연속적이고 구형상을 이루

는 것은 모재에 흡수된 빔 에너지 양이 불충분하고, 용융된 분말의 표면장력으로 구형을 이루려는 경향 때문이다. 이와 같이 분말 공급량이 증가함에 따라 회석율은 감소하는 것을 알 수 있다(그림2).

1.2 레이저 빔 조사속도(laser beam speed)의 영향

분말 공급량의 변화와 달리 레이저 스피드의 변화는 단위 길이당 빔 에너지의 변화와 분말 공급량의 변화가 동시에 일어나는 것을 의미한다. 레이저 빔 조사속도가 증가할수록 레이저빔과의 반응시간(interaction time)이 감소하므로 단위 면적당 재료에 입열되는 에너지는 감소하게 된다. 이에 따라 clad 층 높이는 레이저 스피드가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다(그림3). 또한 단위 길이당 입열되는 에너지밀도가 감소함과 동시에 공급되는 분말의 양도 감소하는데 상대적으로 분말 감소량이 회석율(dilution)에 미치는 영향이 증가하는 것으로 나타났다(그림4).

1.3 결합과 가공공정범위

Clad 층의 접촉각이 135° 이상, w/h ratio가 5이하일 때 불건전한 clad층이 형성되어지는 것으로 나타났다(그림5). 레이저 클래딩시 어느 정도 이상의 에너지 밀도와 분말 밀도에서는 기공(porosity)과 균열(crack)등의 결함이 발생하였다. 기공은 기포가 용융부 밖으로 빠져나가기 전에 급속한 응고속도에 의하여 응고된 결과이며, 균열은 모재와 클래딩 재료와의 열팽창계수차로 인한 급격한 열응력변화에 기인하는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 또한 그 이상의 공정 범위를 지나면 불연속적인 clad 층이 형성되어지는 것으로 관찰되었다(그림6).

2. 공정변수와 경도변화

회석율이 증가할수록 경도는 감소하는 것으로 나타났다(그림7). 회석율 증가에 따라 모재의 성분함량이 clad 층에 희석되므로 clad 층의 Fe 농도가 증가하고 Ni 및 Cr 농도는 감소하였다⁵⁾. 고용강화 원소인 Ni 함량의 변화가 경도값의 변화의 주 원인인 것으로 사료된다.

3. 회석율(dilution)이 미세조직에 미치는 영향

모든 공정 변수에서 미세조직 관찰 결과 수지상이 발달한 것으로 분석되어졌다(그림8). 열방출 방향과 반평행으로 수지상이 형성되었으며, 내부 중앙부위에는 수지상의 일부분이 떨어져 나가 fragment를 이루고 이를 핵으로 하여 불균질하게 성장한 것으로 나타났다(그림9). 또한 일부 clad 층에서 cellular 조직도 관찰되었다. 회석율이 증가할수록 cellular 및 등축정 조직이 조대한 것으로 판명되었다⁶⁾.

IV. 결론

1. 분말 공급량이 증가함에 따라 회석율은 감소하였다. 이는 분말의 밀도가 높아짐에 따라 빔 에너지가 분말에 흡수되는 양이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

2. 레이저 빔 조사속도가 증가함에 따라 회석율도 증가하였다. 이는 단위 길이당 입열되는 에너지 밀도와 분말 밀도가 동시에 감소하나 상대적으로 모재에 흡수되는 에너지 양이 증가하여 회석율이 증가하고 동시에 clad 층의 높이가 감소하는 결과를 나타내었다.

3. Clad층의 접촉각이 135° 이상, w/h ratio가 5이하일 때 불건전한 clad층이 형성되어지는

것으로 나타났다.

4. 희석율이 증가할수록 경도는 감소하였다. 이는 모재의 성분 함량이 증가할수록 상대적으로 고용강화 원소인 Ni함량이 감소한 것이 원인인 것으로 사료된다.

V. 참고문헌

1. J. R. Davis : Applications of high powder laser, SPIE, 527, (1985)
2. J. M. Yellup : Surface and coating technology, 71, p121-128, (1995)
3. Xinwei Wu, et al : Surface and coating technology, 79, p200-204,(1996)
4. A. B. Vannes : Laser surface treatment of metals, Martinus Nijhoff Pulb., p435-450, (1986)
5. Tohoon Kim, Jaehoon Chung : J. of the korean inst. of met & mater., 35(4), p509-514, (1997)
6. M. Qian, et al : Journal of material processing technology, 63, p590-593, (1997)

Table.1 Chemical composition(wt%) of Ni-base superalloy and substrate(SS41)

Elements	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	S	P	B
Superalloy	3.5	15	Bal	-	-	4.3	0.075	-	-	3.1
SS41	Bal	0.075	<0.032	0.665	0.055	0.045	0.055	<0.011	<0.006	-

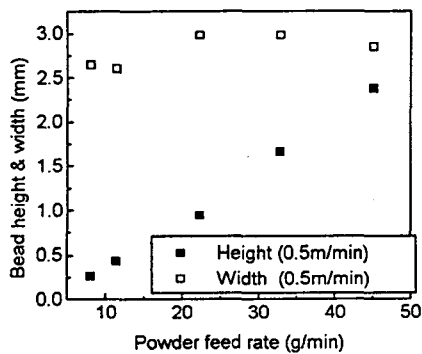


Fig.1 Variables of bead height and width as a function of powder feed rate.

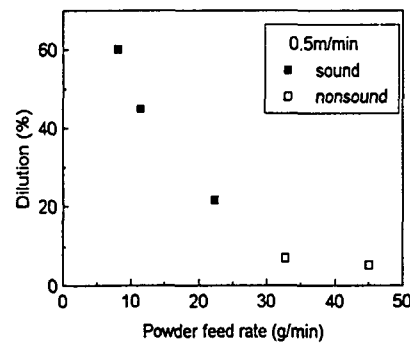


Fig.2 Variables of dilution as a function of powder feed rate.

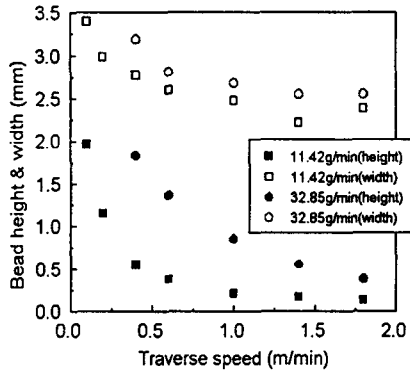


Fig.3 Variables of bead height and width as a function of laser scan speed.

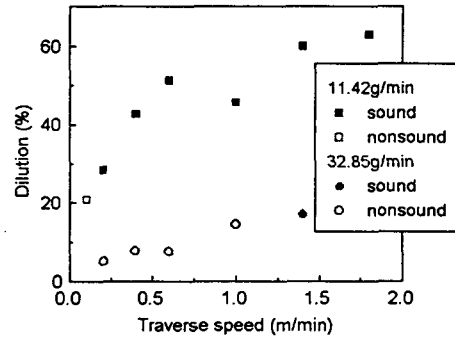


Fig.4 Variables of dilution as a function of laser scan speed.

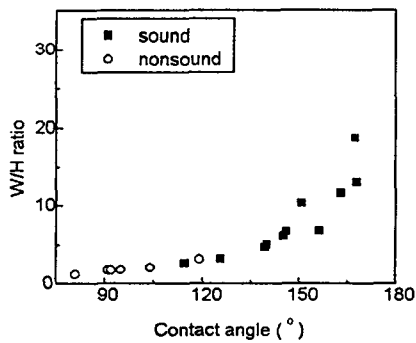


Fig.5 Relationship between w/h ratio and contact angle.

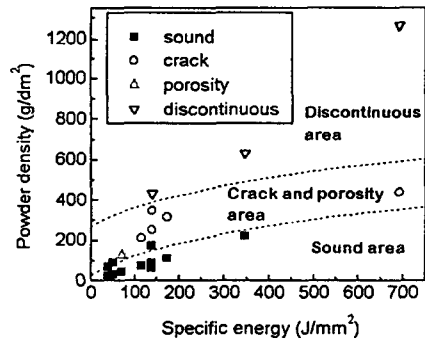


Fig.6 The operating window of laser cladding of Ni-base superalloy on low carbon steel.

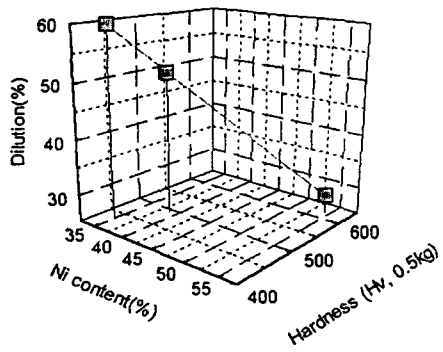


Fig.7 The effect of dilution on hardness and Ni content.



Fig.8 Morphology of dendrite at the interface.

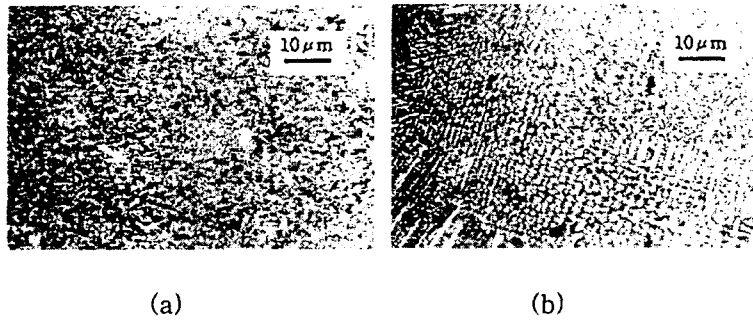


Fig.9 Microstructure of clad layer 28.45% diluted (a) and 59.85% diluted (b).