

레이저 클래딩 중첩도가 표면특성 및 HAZ에 미치는 영향

The effects of overlapping ratio on surface properties and HAZ in laser cladding

한국기계연구원 레이저기술연구그룹 서무홍, 이재훈, 김정오, 한유희

I 서론

레이저를 이용한 클래딩시 넓은 면적을 도포 하여야 하므로 여러 번 중첩하여 클래딩하여야 한다. 또한 후가공을 줄이기 위해서는 중첩된 표면의 표면거칠기가 작아야 하며, 최적의 표면특성을 얻기 위해서는 모재의 회석율이 최소가 되도록 해야한다. 중첩각의 감소는 interrun porosity가 발생할 확율을 증가시키며, 중첩도의 증가는 입열량을 증가시켜 비틀림 및 열영향부의 기계적 성질 저하를 초래하게 된다. Yanxiang의 연구결과¹⁾에 의하면 중첩도의 증가는 진동하는 방식으로 표면거칠기가 감소한다고 한다.

따라서 중첩도에 따라 표면거칠기, 회석율뿐 아니라 표면특성이 달라지게 된다. 따라서 레이저 클래딩시 중첩도에 따른 표면특성 변화에 대한 연구는 필수적이라 하겠다.

II 클래딩 재료 및 실험

본 실험에서는 50mm (W) x 200mm (L) x 8mm (T) 치수의 저탄소강(SS41)을 모재로 경화재료인 Ni기 초합금 분말(FONTARGEN MP1)을 클래딩 재료로 사용하였다. 분말의 화학 조성은 표 1과 같으며 용융 접합성을 향상시키기 위하여 B, Si이 첨가되어 있고, 입도크기 분포는 표 2와 같다. 레이저 클래딩 실험을 위하여 4kW RS840 CO₂레이저를 사용하였고, 산화방지와 플라즈마 제거를 목적으로 Ar 가스를 1.5 l/min로 공급하였다. 빔직경은 2.6mm이며, 분말은 레이저 빔 2mm 후방에 분사되도록 하였다.

중첩도에 대한 영향을 알아보기 위하여 중첩도를 0.15~0.75로 변화시켰으며, 표면특성에 대한 영향을 분석하기 위하여 ASTM G 65-85와 같은 방법으로 rubber wheel abrasion test를 행하였다. 실험후 미소경도계, 광학현미경, SEM, XRD, EPMA등을 통하여 상분석 및 회석율, 미세조직 등을 분석하였다.

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	-

Table 2 Size distribution of powder.

Size (μm)	<125	<106	<76	<63	<53	<45	<36	<20
%	1.3	20.4	6.6	16.0	12.1	12.3	26.9	4.4

III 실험결과 및 고찰

3-1 중첩실험결과

중첩도는 생산속도와 직접적으로 관련이 있다. 생산속도를 증가시키기 위해서는 중첩도를 최소화하는 방향으로 진행되어야 한다. Fig. 1의 결과에서 보는 바와 같이 중첩도가 증가할수록 표면거칠기는 진동하는 방식으로 감소하는 것을 알 수 있다. 중첩도가 약 0.62일 때 가장 낮은 값의 표면 거칠기를 보이고 있다. 또한 중첩도 0.62이상에서는 표면거칠기가 오히려

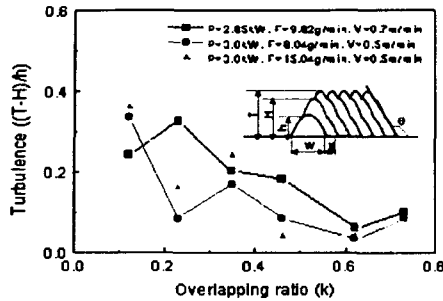


Fig. 1 Variables turbulence as a function of overlapping ratio in laser cladding of Ni-base superalloy on low carbon steel.

감소하여 클래드 층 내에 모재의 Fe 농도 증가가 억제되고 상대적으로 고용강화 효과가 큰 Cr 농도와 강화기체인 γ Ni이 증가한 결과로 해석된다(Fig. 4, 5)2)3). 중첩도가 증가할수록 경계면 바로 이하 HAZ부분에서의 낮은 경도값은 계속된 레이저빔 조사로 annealing 효과에 의한 것으로 생각되어진다.

분말공급량 15.06g/min에서 8.04g/min에서 보다 높은 경도값을 나타내고 있는데 이러한 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 회석을 감소에 따른 것으로 분석된다4).

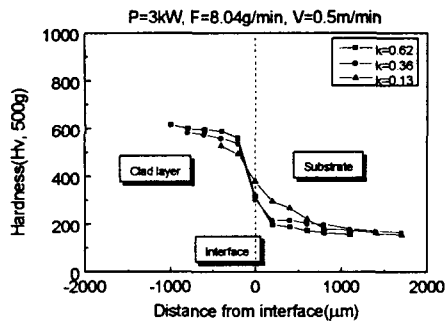


Fig. 2 Variables of microhardness as a function of overlapping ratio(F=8.04g/min).

증가하는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 공급되는 분말이 인접한 클래드 층의 상단 측면에 낙하되어 용융접합되므로 클래드 층이 사선방향으로 증축된 결과이다.

3-2 경도변화

아래의 Fig. 2와 3은 각각 P=3kW(P=power), F=8.04g/min(F=powder feed rate), V=0.5m/min(V=traverse speed)(Fig. 2), P=3kW, F=15.04g/min, V=0.5m/min(Fig. 3)에서 중첩도를 증가시켰을 때의 경도값 측정 결과이다. 중첩도가 증가할수록 경도값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 중첩도가 증가함에 따라 회석이

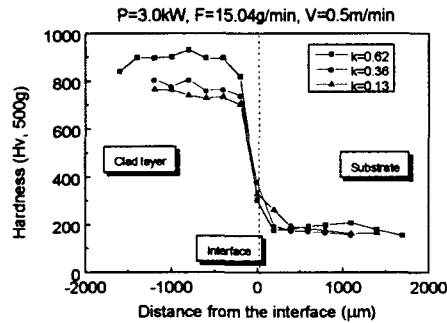


Fig. 3 Variables of microhardness as a function of overlapping ratio(F=15.04g/min).

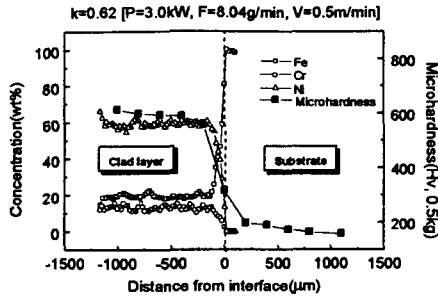


Fig. 4 Microhardness and element concentration variables.

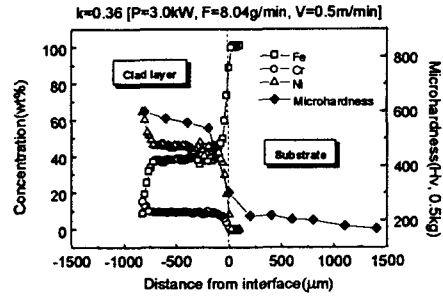


Fig. 5 Microhardness and element concentration variables.

3-3 미세조직변화

3-3-1 모재와 클래드 층의 경계면

Fig. 6, 7은 $P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$ 의 조건에서 중첩도가 각각 0.62, 0.36일 때의 결과를 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 클래드 재료인 Ni-base superalloy는 fcc 구조이며, 모재인 저탄소강은 bcc 구조로 완전 상이한 재료임에도 불구하고 원만한 경계면을 나타내는 것은 Ni-base superalloy에 대한 Fe 고용도가 큰 결과로 분석된다. HAZ 부분에서는 ferrite, pearlite, martensite가 동시에 관찰되었다.

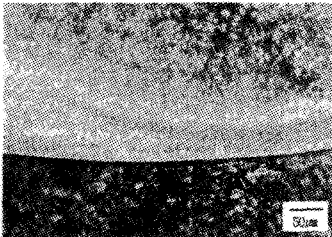


Fig. 6 Microstructure of interface of overlapping ratio $k=0.62$ ($P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$).

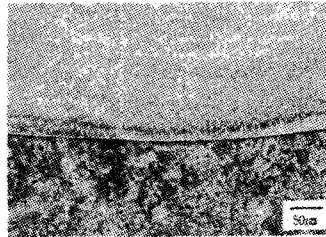


Fig. 7 Microstructure of interface of overlapping ratio $k=0.62$ ($P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$).

3-3-2 중첩부

Fig 8, 9는 $P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$ 에서 중첩도가 0.73, 0.23에서 중첩된 부분의 조직사진이다. 중첩도가 0.73, 0.23인 경우 모두 중첩된 부분을 확연히 구분할 수 있을 정도로 중첩된 부분에서 grain size가 중앙부분보다 큰 것을 알 수 있다. 또한 전체적인 grain size는 중첩도 0.73이 0.23에 비해 큰 것을 알 수 있다. 이는 중첩도가 클수록 레이저빔 조사빈도가 증가하고 이에 따른 열영향으로 grain이 성장한 결과로 해석된다.

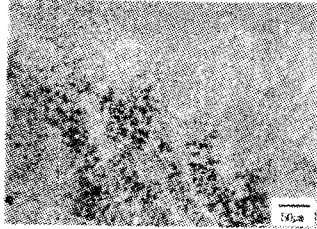


Fig. 8 Microstructure of overlapping ratio $k=0.73$ ($P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$).

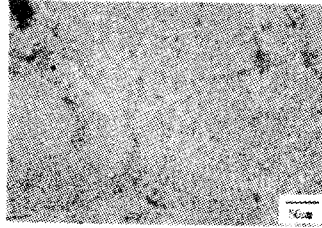


Fig. 9 Microstructure of overlapping ratio $k=0.23$ ($P=2.85\text{kW}$, $F=9.62\text{g/min}$, $V=0.7\text{m/min}$).

3-4 마모실험결과

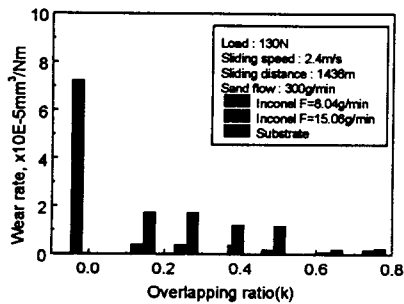


Fig. 10 Results of rubber wheel abrasion test. 것으로 분석된다⁵⁾⁶⁾⁷⁾. Fig. 13, 14는 $P=0.3\text{kW}$, $F=15.04\text{g/min}$, $V=0.5\text{m/min}$, overlapping angle $k=0.62$ 인 시편에 대한 마모실험 후 SEM 사진이다. 모재에 비하여 긁힌 부분이 매우 적은 것을 알 수 있는데 이는 희석율이 매우 낮아 클래드 층 내의 Fe에 의한 산화, 굽힘 현상이 적은 결과로 분석된다.

Fig. 10은 중첩도에 따른 마모실험결과를 나타내고 있다. 중첩도가 증가할수록 내마모성이 증가하며 중첩도 0.62에서 가장 좋은 내마모성을 나타내고 있다, 중첩도가 0.6이상 0.4~0.5와 0.3이하의 단계별로 비슷한 마모성을 나타내고 있다.

Fig. 11, 12는 모재의 마모실험 시편의 SEM 사진이다. 클래딩된 재료에 비하여 열악한 내마모성을 나타내고 있다. 이는 모재의 주성분인 Fe가 주위의 산소와 결합하여 다량의 Fe_2O_3 산화물을 형성한 다음 abrasive sand에 의해 굽혀지고 찢겨져 마모된



Fig. 11 SEM microstructure of substrate after rubber wheel abrasion test.

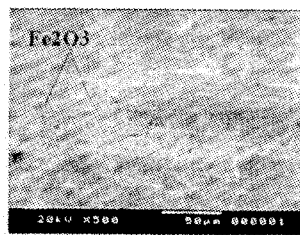


Fig. 12 SEM microstructure of substrate after rubber wheel abrasion test.

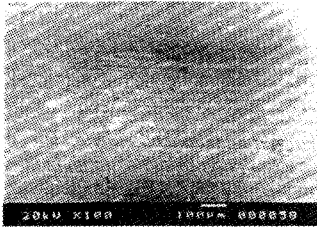


Fig 13 SEM microstructure of overlapping ratio $k=0.621$ after rubber wheel abrasion test.

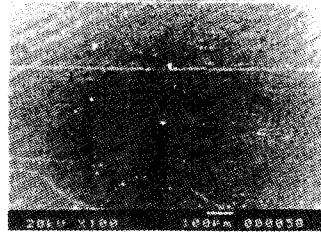


Fig. 14 SEM microstructure of overlapping ratio $k=0.621$ after rubber wheel abrasion test.

IV 결론

저탄소강에 Ni-base 초합금을 레이저 클래딩하여 중첩도 0.75에서 0.15까지 변화시켜 표면특성과 HAZ에서의 영향을 분석하였다.

1. 중첩도를 증가할수록 표면거칠기는 진동하는 방식으로 감소하였으며 중첩도 $k=0.62$ 에서 가장 낮은 표면거칠기를 보이며, 마모시험결과에서도 가장 우수한 내마모성을 나타내었다.

2. 중첩도가 증가함에 따라 클래드층의 경도값이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 중첩도의 증가에 따른 희석율 감소로 클래드층 내에 i) Ni-base 초합금의 강화기지인 γ Ni과 ii) Fe보다 고용강화 효과가 큰 Cr의 농도가 증가였기 때문인 것으로 분석된다. 또한 HAZ 부분에서는 중첩도의 증가에 따라 경도값이 감소하는 현상을 보였다. 이는 레이저빔의 중첩에 의한 HAZ부분이 annealing 된 것으로 분석된다.

V 참고문헌

- 1) Y. Li, J. Ma, Surf. Coat. Technol. 90 (1997) 1-5
- 2) Sims, Stoloff and Hagel, Superalloy II, A wiley-inter science Publ., (1987) p102-104
- 3) 牧野吉延 : レーザクラッド法の實際, 日本溶接學會紙, p14-20, (1995)
- 4) 서무홍, 이제훈, 김정오, 한유희, 레이저 가공학회지, 2권 8월호 (1999).
- 5) H. So, Wear, 184 (1995) p161-167.
- 6) S. Atamert, Metall. Trans. A, 20 (1989) p1037-1054
- 7) H. So, Wear, 192 (1996) p74-84.