연구논문

복합 크롬 분말에 의한 철계 용접 오버레이의 내마모 특성

김 종 철* · 박 경 채** · 최 창 옥***

*동명대학 기계재료학과
**경북대학교 공과대학 금속공학과
***동아대학교 공과대학 금속공학과

Wear Resistance Characteristics of Iron Weld Overlays by Composite Chromium Powders

Jong-Chul Kim*, Kyeung-Chae Park** and Chang-Ock Choi***

*Dept. of Mechanical Material. Tongmyong College, Pusan 608-740, Korea
**Dept. of Metallugical Engineering, Kyungpook National University, Taegu 700-702, Korea
***Dept. of Metallugical Engineering, DongA University, Pusan 604-701, Korea

Abstract

Weld overlay has been developed to improve the property of material surface which is used in the severe environment. Weld overlay is the process which uses an arc heat and welds different composition of alloy on the substrate for the improvements of heat resistance and wear resistance. Weld overlay has a lot of advantages which are high hardness, good processing efficiency, easy controlling of layer thickness, good quality and low cost.

In this study, weld overlay was performed by MAG welding on the base metal(SS400) with filler metal which contain composite powders(Cr+C+Mn+Mo+NbC) and solid wire(JIS-YGW11). Characterization of hardness and wear resistance were analyzed by EDS, EPMA, XRD and observations of microstructure were performed to investigate characteristics of overlays.

The experimental results of overlaid specimens manufactured with Cr+C+Mn+Mo+NbC powders were obtained as follows. α-phase, M(Fe, Cr)3C and NbC of overlays were increased with decreasing the wire feed rates and increasing powder feed rates. Also the hardness of overlays were increased and the specific wear were decreased.

(Received March 30, 2001)

Key Words : MAG welding, Overlay, JIS-YGW11 wire, Hardness, Wear resistance

1. 서 론

산업의 고도화로 인하여 보다 극심한 환경에서도 더욱 우수하고 다양한 물성을 가진 소재들이 요구되고 있다. 극심한 사용 환경은 기존 소재의 물성향상 뿐만 아니라 이들 환경에 1차적으로 노출되어 있는 표면성질의 우선적인 제어와 개선이 절실히 요구되고 있기 때문에 최근 다양한 표면처리 기술들이 개발되어 이용되고 있다[1,5].

표면처리 기술로서는 용접, 용사, 도금, 퀀칭, 침탄, 질화 등의 방법이 실용화되고 있다[2,5,8]. 그 중에서 내열성, 내마모성, 내식성 등의 향상을 목적으로 아크열을 열원으로 하여 모재 표면에 다른 조성의 합금을 용착시키는 오버레이용접은 가장 두꺼운 피막을 얻을 수 있는 방법으로 비교적 간단한 설비와 장비를 이용하기 때문에 작업 능률과 경제성이 뛰어날 뿐만 아니라, 경계면의 용융, 응고로 인하여 모재와 피복층 사이의 결합력이 우수하여 두꺼운 피막의 형성이 가능하다[5,7,9].

현재 실용화 되고 있는 오버레이용접에는 에너지원에 따라 가스 염, 전기 아크, 플라즈마 아크, 광, 그리고 전자 빔으로 분류할 수 있으며 이 중에서 전기 아

크와 플라즈마 아크를 이용하는 기술이 가장 폭넓게 사용되고 있다[2,5,6]. 전기 아크를 이용한 용접 방법 중에서도 MAG 용접은 사용할 수 있는 전류 범위가 넓기 때문에 다른 용접법에 비해 적용할 수 있는 대상물의 범위가 넓다. MAG(Metal Active Gas Shield Arc Welding)용접은 탄산 가스 또는 혼합 가스(Ar-CO_2, Ar-CO-O_2등)를 보호가스로 이용하는 소모전극 아크 용접 방법으로 Ar에 탄산가스를 혼합하는 이유는 아크의 안정성, 양호한 비드 형상, 적은 스패터량 등의 작업성 향상과 용접금속의 품질향상을 위함이다[3,4].

분체 플라즈마 오버레이 용접의 경우 일반적으로 오버레이층의 성분을 분말 형태로 공급하지만 MAG 용접의 경우에는 와이어 형태로 공급하게 된다. 현재 사용되는 오버레이 용접용 와이어는 솔리드 와이어와 플럭스 코어드 와이어가 있다. 그러나, 합금원소의 양이 많은 경우에는 와이어 제작이 어렵다는 문제점이 있다[3].

따라서, 본 연구에서는 일반적으로 MAG 용접에서 많이 사용되는 YGW11 와이어를 용가재로 사용하고, 직접 제작한 복합분말(Cr-C-Mo-Mn-NbC)을 외부 노즐을 통하여 공급하여 오버레이층을 제작하였다. 이때, 와이어 공급 속도와 분말 공급량을 변화시킴으로써 오버레이층의 합금원소량을 변화시켰다. 이렇게 제작된 오버레이층들의 기계적 특성(경도, 비마모량) 및 미세 조직을 관찰하여 미세 조직이 오버레이층의 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 보호가스로써 Ar과 CO_2 혼합가스를 사용하는 MAG용접법을 이용하였으며, YGW11 와이어를 용가재로 하고 외부 노즐을 통해 분말을 공급하여 오버레이층을 제작하였다. 오버레이 용접후 미세조직 관찰, 상 및 성분 분석, 그리고 기계적 특성(경도 및 마모시험)을 조사하였다.

2.1 모재 및 용가재

본 연구에서 사용된 모재와 용가재(용접 와이어와 복합 분말)의 화학 조성은 Table 1에 나타내었다. 모재는 일반구조용 압연강재로 사용되는 SS400강을 (20)T×(50)W×(150)L(mm) 크기로 절단하여 용접하였다.

용접전 모재 표면을 연마하여 산화층을 제거한 후 1패스의 오버레이층을 형성시켰다. 본 연구에서 복합분말과 함께 오버레이층 성분으로 사용된 용접 와이어는 직경 1.6mm의 JIS-YGW11을 사용하였으며, 복합분말은 혼합한 후 볼밀을 행하여 제작하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metal, solid wire and composite powders

SS 400	C		Mn		P		S		Fe	
	0.30		1.60		0.05		0.05		Bal	
JIS-YGW11	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ti	Zr	Fe
	0.12	0.61	1.50	0.03	0.03	0.21	0.05	0.11	0.12	bal.
Composite powders	C		Cr		Mn		Mo		NbC	
	8		68		6		4		14	

2.2 오버레이층의 제작

서론에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 오버레이층의 성분으로 YGW11와이어를 사용하였으며 외부 노즐을 통해 토치 앞쪽에서 복합 분말을 공급하였다.

본 연구에서는 오버레이층 제작시 용접변수를 와이어 공급속도와 분말 공급량으로 하였다. 이를 Table 2에 나타내었다. 용접시 전압(34V),용접속도(10cm/min), 보호가스 혼합비(Ar:CO_2=9:1), 그리고 평균전류(290A)를 일정하게 하여 입열량을 동일하게 하였으며 와이어 공급속도를 100, 140, 그리고 180in/min으로 변화시켰다. 또한 각각의 와이어 공급속도에서 분말 공급량을 30, 50, 70, 그리고 90 g/min으로 변화시켜 오버레이층을 제작하였으며 시험편의 번호를 와이어공급속도-분말공급량으로 표시하였다.

2.3 오버레이층의 미세조직 관찰

오버레이층의 미세조직은 오버레이층의 표면을 2mm 제거한 후 0.3㎛의 알루미나 분말로 연마하고,

Table 2 *Conditions of overlay welding*

Voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Co_2 mixing rate(%)	Average current (A)	Wire feeding rate(in/min)	Powder feeding rate(g/min)	Specimen number
34	10	10	290	100	30	100-30
					50	100-50
					70	100-70
					90	100-90
				140	30	140-30
					50	140-50
					70	140-70
					90	140-90
				180	30	180-30
					50	180-50
					70	180-70
					90	180-90

연마면을 부식액(HCl, HNO_3, 글리세린을 2:1:3으로 혼합)으로 40초 동안 에칭한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

2.4 오버레이층의 성분 분석 및 상 분석

오버레이층의 미세조직에서 관찰된 탄화물의 성분 분석을 위해 EPMA(Eletron Probe Micro. Analyser) 면 분석을 행하였다. 또한, 오버레이층의 상 분석을 위해 모재를 제거한 후 오버레이층에 대해 X-선 회절시험을 행하였다. X-선 회절시험은 Cu target, 가속전압 30kV, scan speed 4°/min, 2θ는 20~80°의 조건으로 하였다.

2.5 경도 및 마모 시험

오버레이층의 경도 특성을 조사하기 위해 미세조직을 관찰한 면을 로크웰 경도시험기를 이용하여 측정하였다. 이때 측정하중은 150kgf로 일정하게 하였으며 5회 측정한 값의 평균값을 경도값으로 하였다. 오버레이층의 마모 특성은 大越式 마모시험기를 이용하였으며 시험면은 미세 조직관찰, 경도 측정면과 동일한 면에서 행하였다. 상대재로는 직경 48.8mm, 두께 2mm의 회전원판(SUJ2, Hv 750)을 사용하였으며 이때 하중은 30N, 마모거리는 1000m로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오버레이층의 미세조직 변화

와이어 공급속도 및 분말 공급량에 따라 제작한 오버레이층의 미세조직 관찰 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 동일한 와이어 공급속도에서 분말 공급량이 증가함에 따라(a~d, e~h, i~l) γ상 영역이 감소하고, α와 탄화물로 추정되는 상의 양이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고, 분말 공급량이 90 g/min인 경우(d, h, l)에서는 와이어 공급속도의 감소(l→h→d)에 따라 오버레이층의 조직은 미세해지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 1에서 i)의 180-30시편에서는 대부분 γ상으로

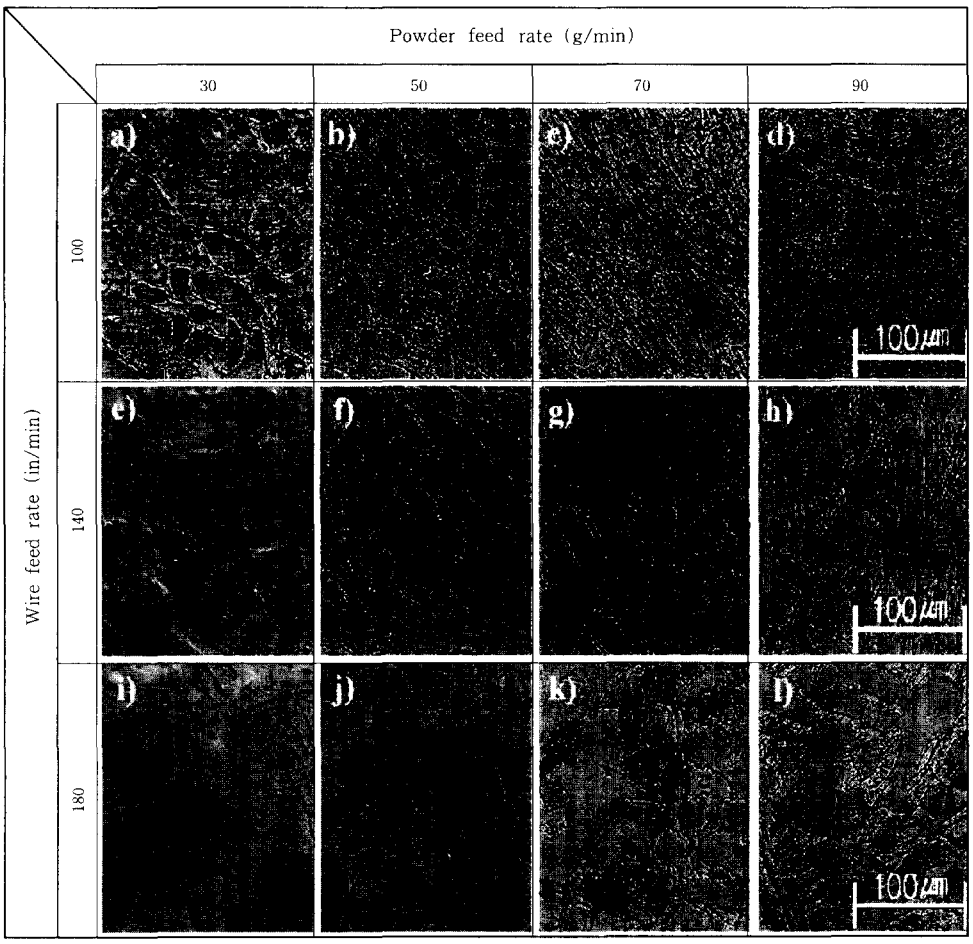


Fig. 1 Microstuctures of overlay on wire feeding rate and powder feeding rate

이루어져 있으며, γ상 내에 방사선 형태의 탄화물로 추정되는 석출물이 생성되었다. 이 방사선 형태의 탄화물이 e)의 140-30에서는 방사선의 형태의 길이가 짧아지고 폭이 굵어지며 사각형의 작은 입상의 석출상과 함께 관찰된다. a)의 100-30시편에서는 방사선 형태가 거의 감소하고 사각형의 작은 입상이 관찰되는 것으로 보아 오버레이층내의 합금 원소량이 증가함에 따라(i→e→a) 석출물이 방사선 형태에서 사각형의 입상으로 성장함을 볼 수 있다.

또한, 와어어에 대한 분말량의 상대적 증가에 따라 γ상 영역이 감소하며 α상 영역이 증가하게 한다. 그리고, α상내에 탄화물로 추정되는 검은색 부분이 증가하고 조직이 미세해지는 것을 관찰할 수 있다.

3.2 오버레이층의 생성 상 및 성분 분석

Fig. 2에는 시편 100-90 오버레이층의 수직 단면을 EPMA 면 분석한 결과를 나타내었다.

Fig. 1의 미세조직에서 관찰되었던 사각형의 작은 입자는 Nb계열의 탄화물임을 확인할 수 있었으나, α상내에 생성된 탄화물에 대해서는 정확히 분석을 할 수 없었다.

Fig. 3에는 100-30 및 100-90 시편의 XRD 분석 결과를 나타내었다. 분석 결과, NbC와 M_3C의 peak를 확인할 수 있었으며 사각형의 작은 입자는 NbC, α상내에 생성된 탄화물은 M_3C임을 알 수 있었다. 또한, 분말 공급량이 증가함에 따라 NbC와 M_3C의 피크강도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

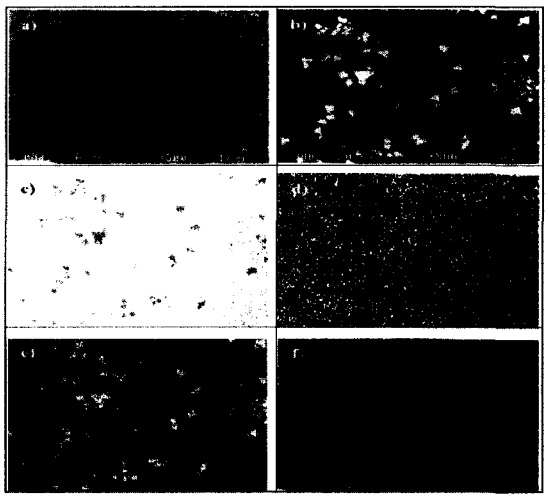


Fig. 2 EPMA(Eletron Probe Micro. Analyser) analysis of specimen number 100-90 overlay
a) SEI(secondary electron image) b)BEI (backscattered electron image)
c) Fe d) Cr e) Nb f) C

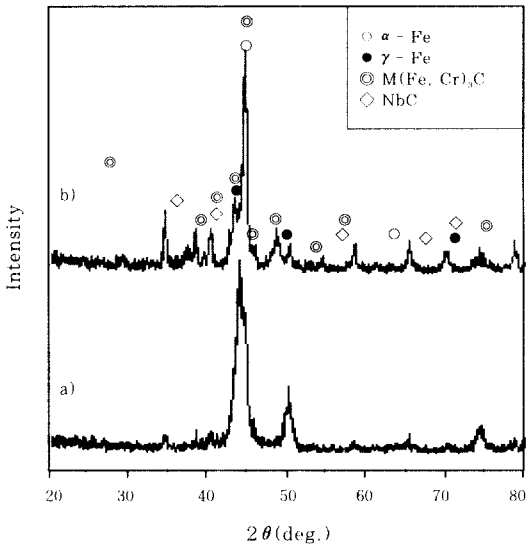


Fig. 3 XRD patterns of overlays. specimen number a) 100-30 b) 100-90

3.3 오버레이층의 경도 변화

오버레이층의 경도는 Fig. 4에 나타내었다. 동일한 와이어 공급속도에서 분말 공급량이 증가함에 따라 오버레이층의 경도값은 증가하였다. 또한, 분말 공급량이 동일할 때, 와이어 공급속도의 감소에 따라 증가하였다. 이것은 용접 변수(분말 공급량과 와이어 공급속도)의 변화에 따라 오버레이층을 형성하는 와이어와 분말량의 비가 변화하기 때문이다. 즉, 분말 공급량의 증가와 와이어 공급속도의 감소에 따라 와이어 공급량에 대한 분말의 공급량이 상대적으로 증가하게 되며, 이로 인해 Fig. 1의 미세조직에서 관찰할 수 있었던 것처럼 γ영역의 감소, α와 M_3C영역의 증가, NbC의 증가, 그리고 조직이 미세해지면서 결과적으로 오버레이층의

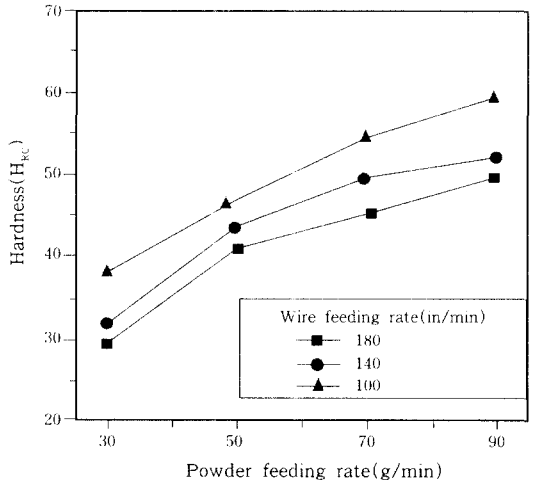


Fig. 4 Hardness of overlays according to powder feeding rate

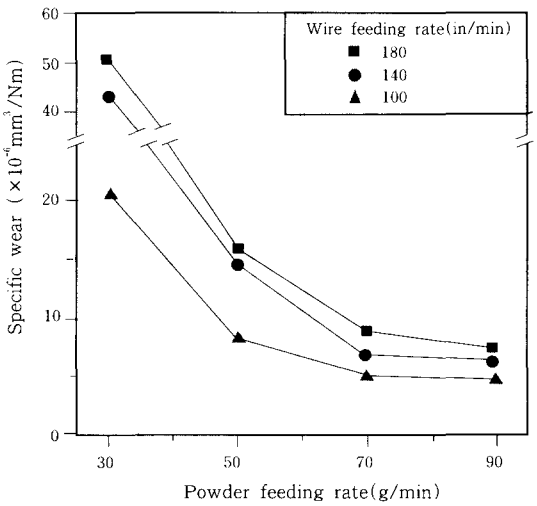


Fig. 5 Specific wear of overlays according to powder feeding rate

경도가 증가했다고 판단된다.

3.4 오버레이층의 내마모성

오버레이층의 마모성은 Fig. 5에 결과를 나타내었다. 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라 오버레이층의 비마모량이 감소하는 것을 알 수 있다. 경도 변화에 따른 비마모량의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 경도가 증가함에 따라 비마모량이 감소하는 것을 관찰할 수 있으며, 이것은 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라 와이어 공급량에 대한 분말의 공급량이 상대적으로 증가하게 되며 이로 인해 Fig. 1의 미세조직에서 관찰할 수 있었던 것처럼 γ영역의 감소, α와 M_3C영역의 증가, NbC의 증가, 그리고 조직이 미세해지면서 결과적으로 오버레이층의 경도는 증가하게 되고, 비마모량은 감소하게 된다고 판단된다.

위의 Fig. 6에서 Fig. 1의 와이어 및 분말공급량에 따라 미세조직이 방사선 형태에서 입상 형태로 변화하는 과정을 표시했다. 방사선 조직(Ⅰ영역), 방사선과 입상 형태가 혼재된 영역(Ⅱ영역), 그리고 입상조직 형태(Ⅲ영역)로 나누면 경도 35이하 비마모량 30($\times 10^{-6}$)이상이 Ⅰ영역, 경도 35~45 비마모량 10~30($\times 10^{-6}$)인 경우가 Ⅱ영역, 경도 45이상 비마모량 10($\times 10^{-6}$)이하의 경우가 Ⅲ영역으로 표시되어지고 있다. 이 영역을 와이어 및 분말공급량에 따라 Fig. 7에 나타내었다.

이것으로 보아 미세조직에서 방사선 형태는 내마모성과 경도를 저하시키며, 이에 반하여 입상형태에서 조직의 미세화는 내마모성과 경도를 향상시키는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 마모 시험 후 마모면을 SEM으로 관찰한 것이다. a)의 180-30시편에서는 슬라이딩 마모 시험시 연질 재료에서 관찰되는 상대재에 의한 소성 유동층을 관찰할 수 있다. 그리고, b)의 180-90시편의 마모면에서는 균열이 관찰되며 또한 스폴링 현상이 발생된 것으로 판단된다. 또한, 스폴링 후 마모면에 응착된 부분을 관찰할 수 있다. c)의 100-90시편에서는 균열과 상대재가 마모면에 응착된 것을 관찰할 수 있으며, 마모가 계속 진행된다면 b)에서와 같이 균열과 함께 스폴링이 발생할 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 MAG 용접에서 많이 사용되는

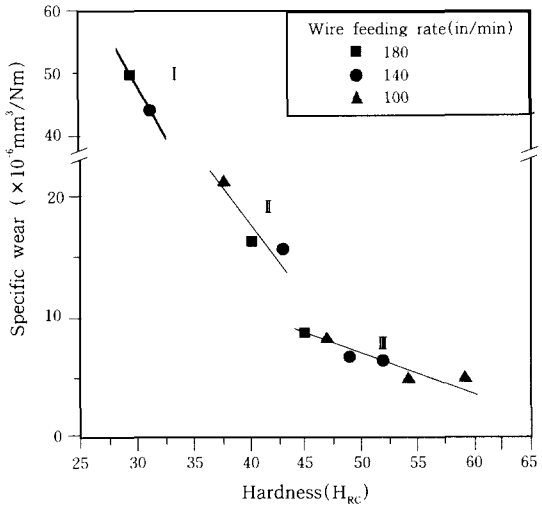


Fig. 6 Relation between specific wear and hardness of overlays

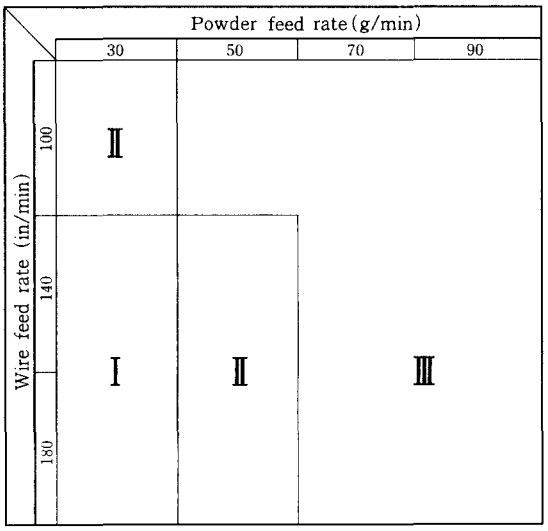
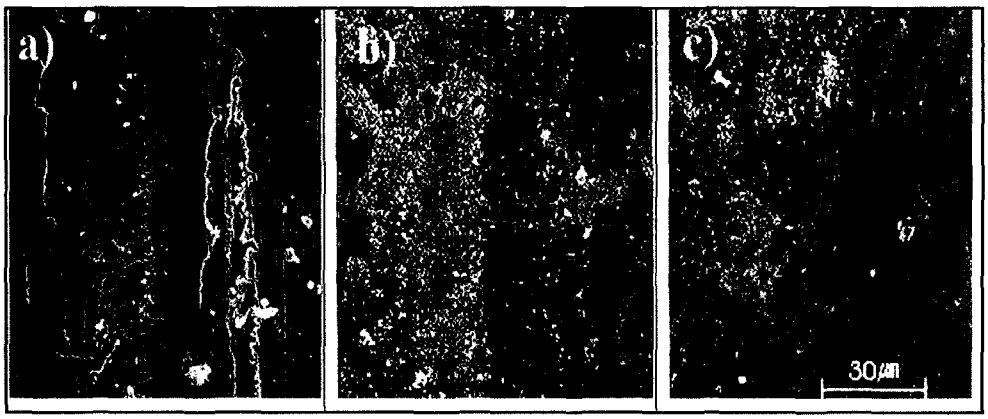


Fig. 7 Hardness-wear resistance zone on wire feeding rate and powder feeding rate



a)180-30 b)180-90 c)100-90

Fig. 8 Wear test surface of overlays

YGW11 와이어를 용가재로 사용하고, 직접 제작한 고크롬계 복합분말(Cr-C-Mo-Mn-NbC)을 외부 노즐을 통하여 공급함으로써, 고크롬 철계 오버레이층을 제작하였으며, 오버레이층의 미세조직 관찰, 성분 및 상 분석, 그리고 기계적 특성(경도, 비마모량)을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 미세조직 관찰과 성분 및 상 분석 결과, 오버레이층내에 NbC와 $M(Fe, Cr)_3C$가 생성되었으며, 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라, 오버레이층내 γ영역은 감소하였으며 α와 M_3C, NbC 량은 증가하였다.

2) 경도 측정 결과, 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라, 오버레이층의 경도는 증가하였고, 마모 시험 결과, 와이어 공급속도의 감소와 분말 공급량의 증가에 따라 오버레이층의 비마모량은 감소하였다. 이 원인은 와이어 공급량에 대한 분말의 공급량이 상대적으로 증가하게 되며 이로 인해 γ영역의 감소, α와 M_3C영역의 증가, NbC의 증가 그리고 미세조직이 방사선 형태에서 입상의 형태로의 미세화 현상에 기인된 것으로 판단된다.

3) 마모면 관찰 결과, 오버레이층의 경도가 낮은 시편에서는 상대재에 의한 소성 유동층이 관찰되었고, 경도가 높은 시편에서는 균열이 발생, 균열에서 마모면의 스폴링이 일어났으며, 상대재가 마모면에 응착된 것도 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. American Society for Metals : Metals Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, Metals park, Ohio, ASM, 9th(1983), 771.
2. 대한 용접 학회 : 용접 접합 편람(1998), 717.
3. 鎌田 政男, 青木 俊雄 : 溶接技術, Vol. 46, 2(1998), 72.
4. 西浦 惠爾, 瀧野 忠男 : 溶接技術, Vol. 42, 2(1994), 62.
5. 橋本 芳造 : 溶接技術, Vol. 43, 9(1995), 79.
6. 富田 友樹 , 高谷 泰之 : 日本金屬學會會報, Vol. 31,12(1992), 1056
7. 백응률 : 대한용접학회지, Vol. 16, 1(1998), 74.
8. 園田 弘文, 中田 康俊 : 溶接技術, Vol. 43, 9(1995), 65
9. 集文社 : 金屬工學便覽(1996), 1063.