

WC-12%Co/저탄소강 MMC 용접 오버레이의 미세조직 및 기계적 성질

임희식* · 김태형** · 박경채**

*현대자동차 생산기술센터 소재생기팀

**경북대학교 금속공학과

Mechanical Properties and Microstructures in WC-12%Co/Low Carbon Steel Metal Matrix Composites(MMC) Welding Overlay

Hee-Sik Lim*, Tae-hyung Kim** and Kyeung-Chae Park**

*Hyundai Motor Company, Casting & Forging Engineering Team, Ulsan 683-791, Korea

**Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

Metal matrix composites(MMC) consist of metal matrix into which is distributed a second solid phase. The normal intension is to develop a material with superior mechanical properties (for example increased toughness, stiffness and wear resistance) compared to those inherent in the matrix component.

In this study, WC-12%Co/low carbon steel MMC overlays have been prepared by Gas Metal Arc Welding(GMAW) according to feeding rate of WC-12%Co grit. The macro and microstructures were examined using optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy(SEM) each other. The characteristics of hardness and wear resistance have been investigated.

WC-12%Co/low carbon steel MMC overlays which have been taken good beads without porosity and cracks were manufactured by method of GMAW.

Matrix of overlaid surface was seen as fish bone and faceted dendrite structures. It was known that structures were iron tungsten carbides, Fe_6W_6C which have been occurred by melting of WC-12%Co grits.

After MMC had been tested by block-roll wear test, it was known that WC-12%Co/low carbon steel MMC has a excellent wear resistance by exiting Fe_6W_6C and WC-12%Co grit. The consequence was that region of overlay with Fe_6W_6C phase has been showed a model of adhesive wear, but region of overlay with WC-12%Co grit was restrained as a result of mechanism that wear of WC-12%Co grit is not adhesive but fracture.

(Received July 11, 2002)

Key Words : MAG, Overlay, Metal matrix composites(MMC), WC, Low carbon steel

1. 서 론

오버레이 용접 기술은 내마모, 내식성 또는 내열성을 갖는 합금의 용접재료를 모재 표면에 균일하게 용착시킴으로써 재료의 표면 성질을 향상시키고자 하는 표면처리 방법이다. 발전, 제철, 시멘트와 제지설비 등 산업 전반에 널리 이용되고 있으며, 설비 고도화 및 장비 수명화가 요구되면서 본 기술의 중요성 또한 점차

부각되고 있다¹⁾. 용착되는 오버레이 용접 재료의 형태는 주조 붕, 피복 전극, 와이어 및 분말이지만 한 가지 합금으로 모든 형태를 생산하기는 곤란하다. 대부분의 용접 재료는 분말 형태로 제작되고 있지만 또한 붕의 형태로도 생산이 가능하다²⁾. 일반적으로 붕상 용접재료는 주조한 형태 또는 튜브 형태로 생산이 되고 있는데 WC-12%Co계 초경합금은 먼저 벌크로 주조한 후 붕 형태로 가공하기가 어렵고 초경합금의 취약성에 의해서 압출성형기술을 이용하여 고체 와이어로 생산하기가 곤

란하다. 그리고 초경합금 분말을 충전한 튜브 형태의 봉상 용접와이어는 상당히 고가이기 때문에 경제적으로 효율이 떨어진다.

기존의 오버레이 용접 방법 중의 한가지인 가스메탈 아크 용접(GMAW)법을 이용하여 WC-12%Co계 초경합금의 그릿을 별도의 공급 장치로써 오버레이 용접한다면 위의 문제점을 해결함과 동시에 WC-12%Co/저탄소강 MMC 오버레이층의 제조가 가능하다. WC-%Co계 초경합금은 내마모성, 내열성, 내충격성 등이 우수한 재료이기 때문에 MMC(Metal Matrix Composites)의 강화재료로써 적절하다고 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 GMAW법을 이용한 SCM440 모재 위에 별도의 그릿 공급 장치를 이용하여 WC-2%Co계 초경합금의 그릿과 저탄소강 와이어와 함께 오버레이 용접하여 WC-12%Co/저탄소강MMC 오버레이층을 제조하고, 비드 외관과 기저부의 미세조직 관찰 및 블록-회전원판 마모시험을 한 후 내마모성에 대하여 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 WC-12%Co 초경합금 그릿(이하 그릿으로 말한다)을 제조한 후 별도의 그릿 공급 장치를 제작하여 용접 와이어 송급과 그릿 공급량을 조절하면서 SCM 440강에 오버레이 용접을 하였다. 용접한 후 용접부를 실체현미경으로 전체적인 매크로 조직을 관찰하였다. 그리고 용접부 기지를 현미경으로 미세조직을 관찰하고 EDX, XRD를 이용하여 생성상을 분석하고 경도 시험을 행하였다. 용접부의 내마모성을 알아보기 위해서 블록-회전 원판 마모 시험법으로 마모시험을 실시한 후 각각의 비마모량을 측정하고 마모면을 SEM 및 EDX로 분석하였다.

2.1 용접재료

오버레이 용접의 모재로서는 일반 구조용강으로 널리 쓰여지고 용접성이 우수한 저탄소합금강인 SCM440강을 사용하였다. Table 1은 모재의 화학조성을 나타내었다. 용접시편은 용접기로 인한 비틀림이 생기지 않는 크기(19T×100W×150Lmm)로 절단하였다. 용접 전 우수한 용접성을 얻기 위하여 표면의 산화층을

Table 1 Chemical compositions of base metal(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
0.40	0.25	0.75	0.03	0.03	1.00	0.29	bal.

Table 2 Chemical compositions of filler metal(wt%)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.11	0.55	1.31	0.014	0.011	bal.

제거하고 아세톤으로 세척하였다.

용접와이어는 직경이 1.6mm의 JIS-YGW11의 상용 와이어를 사용하였으며 Table 2에 화학조성을 나타내었다.

WC-12%Co벌크는 WC분말(1~5 μ m)과 Co분말(1~2 μ m)을 불밀을 이용하여 혼합하고, 혼합된 분말을 건조시킨 후 유압식 프레스로 성형하고, 성형체의 강도를 증대시키기 위해서 800 $^{\circ}$ C, 60분, Ar분위기에서 예비소결을 하고, 1400 $^{\circ}$ C, 80분, 10⁻³mmHg의 진공분위기에서 본소결을 하여 제조하였다. 이러한 초경합금 벌크를 기계적 방법으로 분쇄하고 300~500 μ m 크기로 분급하여 그릿을 제조하였다. 그리고 아세톤으로 초음파 세척한 후 100 $^{\circ}$ C에서 2시간 동안 건조하였다.

2.2 오버레이 용접방법

오버레이는 기존의 GMAW법에 별도의 그릿 공급장치를 제작하여 용접하여 만들었다. 오버레이 용접전 모재를 260 $^{\circ}$ C로 예열했고, 그릿은 300~500 μ m 크기로 했다. 극성은 모재의 희석율이 낮고 비드 폭이 상대적으로 넓은 직류 역극성을 채택했고, 또 용접 중 공급되는 그릿으로부터 아크를 안정시키기 위해서 후진법으로 하였다. 모재와 그릿의 열팽창계수의 차이로 인한 비드 밑 균열 발생을 억제하기 위하여 용접 후 바로 500 $^{\circ}$ C에서 로냉하였다.

2.3 용접 조건 및 시편제작

그릿을 이용하여 오버레이 용접 전, 예비실험으로 전압 및 가스량을 변화시키면서 적정용접조건을 선정하였다. 비드 형상, 비드 외관, 및 용착효율을 고려한 결과 33V, 보호(shield) 가스 Ar+40%CO₂로 용접을 했을 때, 용착효율이 좋은 지단각(toe angle)이 낮고 표면에 스패터(spatter)가 생기지 않는 우수한 비드를 얻을 수 있었다. 이렇게 선정한 용접조건은 Table 3과 같다.

이때 그릿의 공급량은 희석율을 25%로 고려하여 오버레이층 전체에서 그릿이 차지하는 부피 분율이 20, 40, 60vol%가 되도록 50, 130, 290g/min으로 하였다. 이리하여 시편 번호를 S₁, S₂ 및 S₃로 정하였다. 그릿 공급량이 80vol%가 되면 그릿의 양이 너무 많아서 비드 형상불량을 초래한다.

Table 3 Conditions of welding process

Specimen No.	Methods of welding	Voltage (V)	Velocity of welding (cm/min)	Feeding rate of wire (cm/min)	Feeding rate of grit (g/min)	Average current (A)	Feeding rate of gas (l/min)
S ₁	MAG (40% CO ₂)	33	20	635	50	330	20
S ₂					130		
S ₃					290		

2.4 용접부 미세조직 관찰 및 상분석

그릿은 에칭하지 않고 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였고, MMC인 오버레이 층 비드를 다이아몬드 절단 후 단면을 0.3 μ m 다이아몬드 페이스트를 이용하여 연마하고 나이탈 : 글리세린:염산:질산을 3:2:1로 한 부식액으로 에칭한 후, 광학현미경(OM) 및 실체현미경과 주사전자현미경(SEM)으로 미세조직을 관찰하였다.

오버레이 용접부의 미세조직의 생성상과 마모면의 마모거동을 확인하기 위하여 EDX시험으로 점분석과 면분석을 행하였다.

오버레이에 생성된 상을 분석하기 위하여 오버레이 단면을 10 \times 10 \times 4(mm³)의 크기로 전기방전 절단하고 XRD시험을 행하였다. X선 회절 시험은 Cu 타겟(target)을 사용해 가속전압 30kV, 스캔 스피드 5°/min로 실시하였다.

2.5 경도 및 마모시험

경도시험은 로크웰과 마이크로-비커스 시험을 이용하였으며, 로크웰 시험은 하중 150kg으로 C 스케일로 측정하였고, 마이크로-비커스 시험은 하중 200g, 유지 시간 10sec로 하여 경도값은 평균치로 하였다.

마모시험은 JIS K7218 규정의 블록-회전 원판 마모 시험법(大越式)으로 대기중 무윤활 상태에서 실시하였다. 마모의 상대재는 SUJ2 회전원판(Hv 750, 직경 48.8mm, 두께 2mm)을 사용하였고, 마찰하중은 30N, 마모거리는 1000m로 일정하게 하였다. 이리하여 비마모량을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 WC-12%Co계 초경합금 그릿

WC-12%Co계 초경합금을 기계적으로 분쇄하여 분급한 그릿의 형상은 Fig. 1과 같다. 초경합금의 특성상 구형이 아닌 매우 불규칙적이고 날카로운 형상이었고 이로 인해 유동도는 상당히 나쁘게 나타났다. 용접전

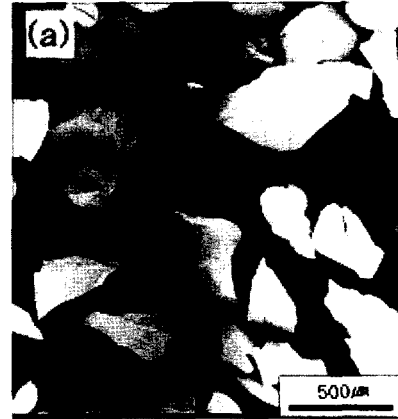


Fig. 1 Morphology of grits

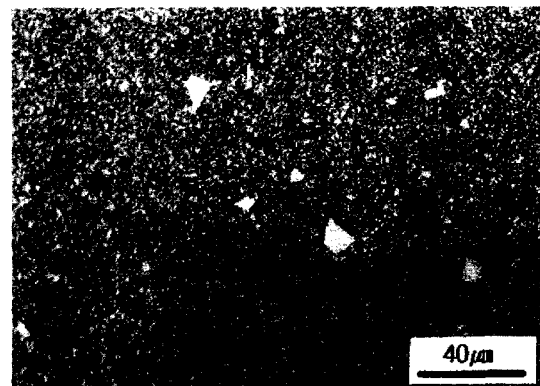


Fig. 2 Microstructure of sintered WC-12%Co alloy

그릿의 미세조직은 Fig. 2와 같이 전형적인 복합재 조직을 보여주고 있다. 이러한 조직은 Co 결합부로 둘러싸인 작은 WC로 이루어져 있다. 여기서 Co는 연속적인 다결정상을 형성하는 반면에 WC는 불연속상으로 존재한다.

3.2 용접부의 조직

3.2.1 용접부의 매크로 조직

Fig. 3은 그릿 크기에 따라 공급량을 조절하여 용접한 비드 단면의 외관을 실체현미경을 이용하여 관찰한 그림이다. 비드의 단면을 관찰한 결과는 그릿의 공급량

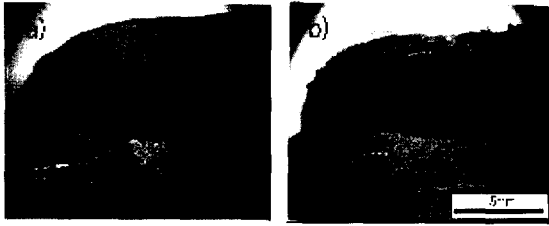


Fig. 3 Cross-sectional photographs of a) S₂ and b) S₃ overlays

과는 무관하게 형상불량 및 표면기공도 없는 비교적 양호한 형상을 얻었으며, 공급량에 따라서 용융부의 기지부에서 그릿의 분포가 달랐다. 그릿 공급량이 분당 50, 130g인 S₁ 및 S₂의 경우 그릿 모두가 기지부의 저탄소강과 그릿의 상대적인 밀도차에 의해 비드 아래쪽에 치밀하게 가라앉아 있었으며, 분당 290g인 S₃의 경우는 표면까지 균일하게 분포되어 있었다. 그리고 아크열에 의한 그릿 모서리의 일부가 용융된 것이 확인되었다.

3.2.2 용접 후의 그릿 미세조직

용접 후 S₂시편의 그릿 미세조직을 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. 이런 조직은 모든 시편에 동일하게 나타났다. 또한 WC-Co계 복합재에서 WC의 결합체인 Co가 상대적으로 용점이 낮기 때문에 아크에 의해서 일부 용융되어, Fig. 2의 용접 전 소결 초경합금과 비교하였을 때 치밀하던 미세조직이 일부 붕괴된 것을 알 수 있다.

3.2.3 용접 기지부의 미세조직

그릿과 그릿 사이의 기지부의 미세조직을 관찰하기 위하여 비드 단면을 광학현미경으로 관찰하였다. Fig. 5는 시편 S₂의 오버레이층에서 대표적인 기지부의 미세조직이다. 본 연구에서는 시편 모두 동일한 조직으로 이루어져 있었다. 이런 미세조직은 Fig. 5의 a에서의 fish bone과 b에서의 faceted dendrite가 관찰되었

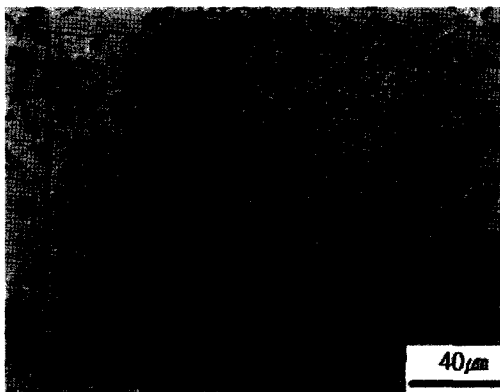


Fig. 4 Microstructure of WC-12%Co alloy grit of S₂ after overlaying

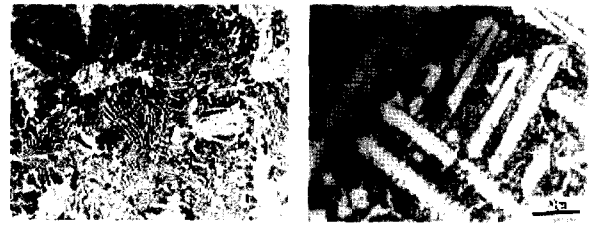


Fig. 5 Microstructures of matrix in S₂ overlay, a) fish bone structure b) facet dendrite structure

고, fish bone조직은 2wt%C, 45wt%W의 Fe계, faceted dendrite조직은 4wt%C, 45wt%W의 Fe계 주조직³⁾에서 나타나는 조직과 동일하였다. 이것으로 그릿의 선단에서는 아크열이 집중되어 그릿의 일부가 용융되었음이 확인되었고, fish bone과 faceted dendrite의 조직은 WC가 용융되어 생성된 (Fe,W)탄화물일 것이라고 여겨진다.

기지부의 미세조직에서 fish bone과 faceted dendrite 조직이 (Fe,W)탄화물 인지 확인하기 위하여 점분석을 실시한 결과를 Fig. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6에서 fish bone조직인 A부분의 점분석 스펙트럼을 분석한 결과 Fe와 W의 강도가 비슷함을 확인할 수 있었다.

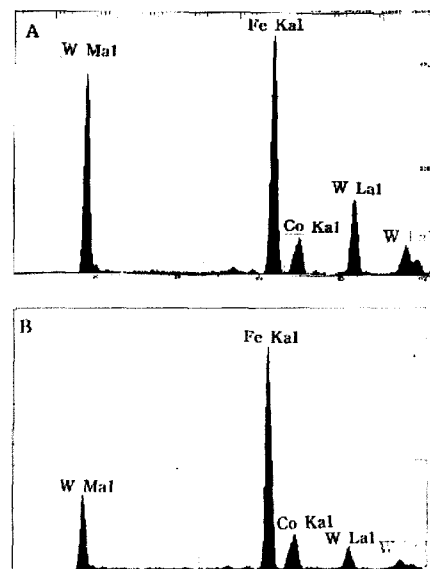


Fig. 6 Image and point analysis of fish bone structure in S₂ overlay

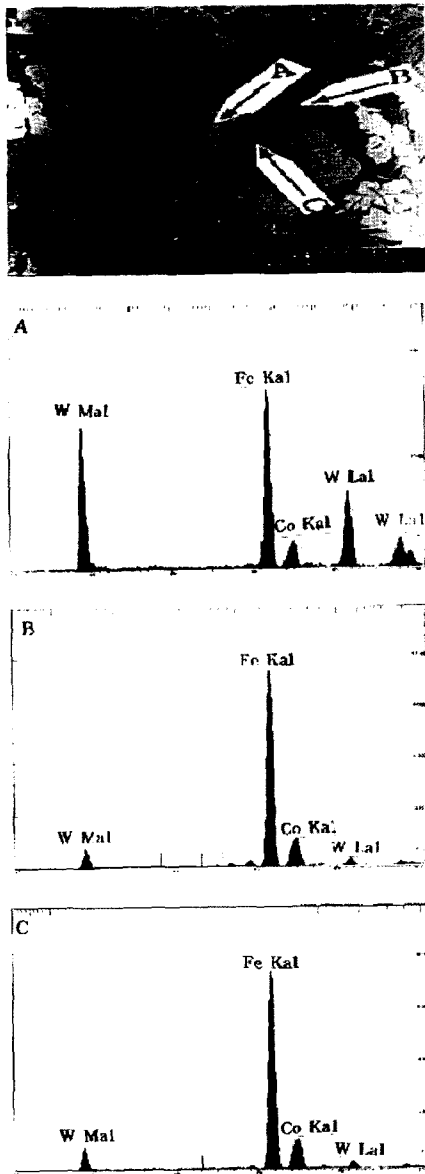


Fig. 7 Image and point analysis of faceted dendrite structure in S₂ overlay

fish bone 및 faceted dendrite가 없는 기지 B부분에서는 Fe의 스펙트럼 강도가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이것으로 A부분의 fish bone조직은 그릿이 일부 용융하여 생성된 (Fe, W)계 탄화물, B부분은 W를 고용한 Fe임을 알 수 있다. Fig. 7의 A부분의 faceted dendrite조직의 점분석 스펙트럼을 보면, 앞의 fish bone조직의 스펙트럼 강도와 비슷함을 확인할 수 있다. 따라서 A부분은 (Fe, W)탄화물이라고 추정된다. 그리고 기지부들 B 및 C부분의 점분석 스펙트럼 도를 A부분과 비교해 보면 B부분은 W를 고용한 Fe임을 알 수 있다.

Fig. 8은 시편 S₂의 오버레이 층의 XRD 분석 결과이다. 본 연구의 시편 모두가 동일한 피크로 나타났다.

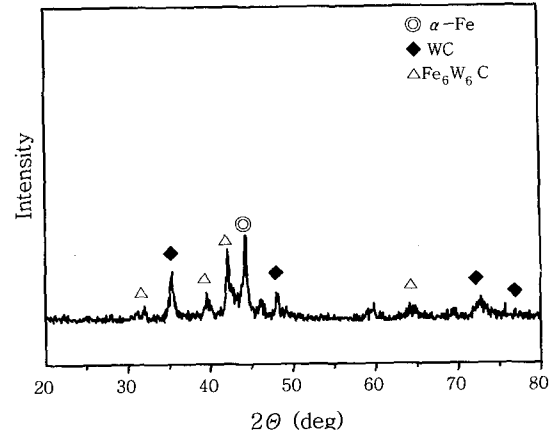


Fig. 8 X-ray diffraction of S₂ overlay

위에서 언급한대로 WC 그릿과 fish bone 및 faceted dendrite 조직인 (Fe, W)탄화물인 Fe₆W₆C의 상 및 기지조직 α-Fe가 존재함을 확인할 수 있다. 용접중의 아크열에 의해 Co가 용융되어 (Co, W)탄화물⁴⁾이 형성될 것임에도 불구하고 (Co, W)탄화물은 확인하지 못하였다. 따라서 Co는 용접 기지부에 고용됨으로써 강을 강화시키는 역할을 하는 것으로 추정된다⁵⁾

3.3 그릿 공급량에 따른 용접부의 경도 및 내마모 변화

그릿 공급량에 따른 용접부의 경도를 로크웰 경도기로 그릿이 균일하게 분포된 용접부 비드에 대해 측정된 결과를 Fig. 9에서 나타내고 있다. 그릿이 공급된 비드는 그릿을 공급하지 않는 것 보다 상당히 높은 경도값을 보이고, 그릿의 공급량에 따라서는 비슷한 경향을

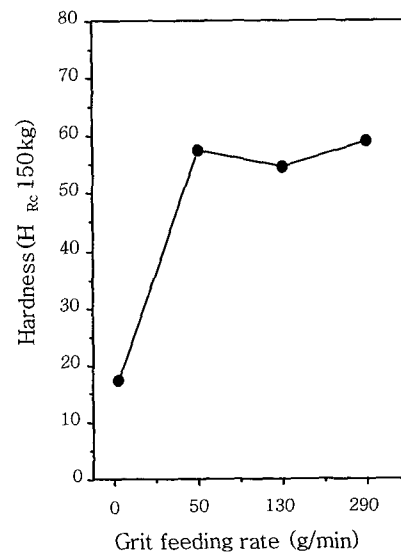


Fig. 9 Rockell hardness of overlays according to grit feeding rate

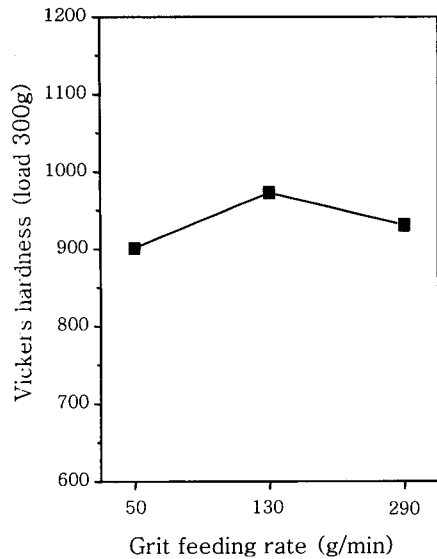


Fig. 10 Micro Vickers hardness of matrix in overlays according to grit feeding rate

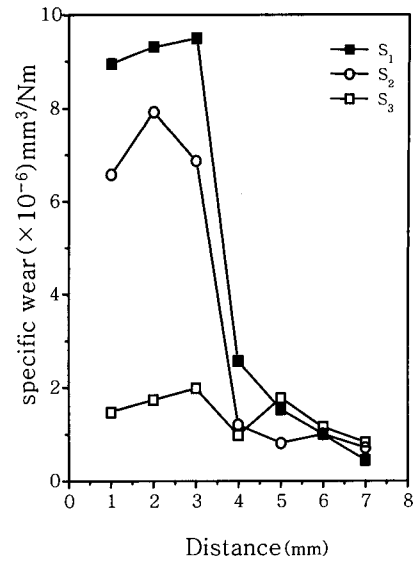


Fig. 11 Specific wear of overlay according to cross-sectional distance

보이고 있다. 이러한 것은 용접하면서 경한 Fe₆W₆C의 탄화물이 생성되었고, 경한 그릿은 치밀 조직이 와해되어 기지부와 그릿 부분이 비슷한 경도값을 보이기 때문에 그릿의 공급량이 경도값에는 그다지 큰 영향을 미치지 못하고 있다고 사료된다.

용접부에서 기지부를 마이크로 비커스 경도기로 측정 한 결과를 Fig. 10에서 보여주고 있다. 모재의 평균 경도값이 287Hv임에 비하면 그릿을 투입하여 용접한 결과 900Hv이상의 높은 경도값을 얻을 수가 있었고, 그릿의 공급량에 따라서는 비슷한 경향을 보이고 있다. 이것은 단지 기지부의 fish bone 및 faceted dendrite 조직의 영향으로 판단된다.

그릿의 크기와 공급량을 변화시키면서 용접한 시편과 모재를 각각 마모시험을 한 후 마모면으로 마모거동을 알아보았다.

비드 단면 상단에서 1mm단위로 마모 시험한 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 내마모성은 그릿이 많으면 내마모성이 우수해지고 있다. 모재의 비마모량, $21 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ 값과 비교하면, MMC 오버레이 층은 우수한 내마모성을 나타내었다. 그릿의 공급량이 분당 290g으로 한 S₃의 경우는 그릿이 비드 전체에 균일하게 분포되어 있었기 때문에 거리에 관계없이 내마모성이 우수함을 확인할 수 있었다. 그릿의 공급량이 분당 50, 130g인 S₁ 및 S₂의 경우 그릿이 분포되어 있지 않은 비드의 윗부분은 내마모성이 비드 아래 부분보다 떨어짐을 알 수 있다. Fig. 3에서의 용접부의 매크로조직에서 그릿의 분포를 확인한 것과 동일하게 공급량이 많을수록 우수한 내마모성을 가지는 비드 상단의 부분이 짧아짐을

알 수가 있다. 이 그릿이 마모를 억제시키는 주 역할을 할 수 있다. Archard의 마모식^{6,7)}으로부터 재료의 마모량과 경도의 관계를 알아보면 마모하중과 마모거리가 같은 경우에 마모저항은 경도에 비례한다고 보고 있다. 본 연구에서도 경도값과 마모량의 관계는 거의 같은 결과라고 사료된다.

Fig. 12는 모재(SCM440)를 마모시험한 후의 마모흔을 SEM으로 관찰한 것이다. 심하게 마모된 것을 알 수 있고 전형적인 응착마모 거동을 나타내고 있다. 그릿이 분포여부에 따라서 마모거동을 알아보기 위하여 시편 S₂에서 그릿이 분포되어 있는 부위에서의 마모흔과 그릿이 분포되어 있지 않은 부위의 마모흔을 SEM으로 관찰하고 면분석 및 점분석을 하였다. Fig. 13은 오버레이층에서 그릿이 없는 부위의 마모면을 보여주고 있는데 전형적인 응착마모 거동⁸⁾을 나타내고 있다. 흰색부위의 잘게 부서진 조직을 점분석을 해 본 결과



Fig. 12 Wear morphology of base metal

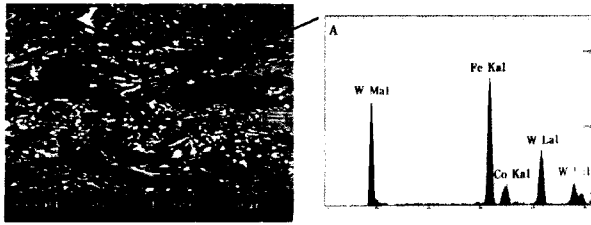


Fig. 13 Wear morphology and point analysis of S2 overlay which did not contain WC-12Co alloy grit

Fe₆W₆C임을 확인할 수 있었다. 마모에 의해서 지지부의 fish bone과 faceted dendrite조직이 부서진 것을 볼 수 있고 상대재가 마모되어 마모분이 달라붙어 소성변형된 부분도 보이고 있다. 잘게 부서진 Fe₆W₆C 탄화물이 상대재와 시편사이의 국부 결합력을 약화시키는 역할을 하여 모재에 비해서 내마모성이 우수한 것으로 여겨진다.

Fig. 14는 그릿이 분포되어 있는 부위에서의 마모면과 면분석 결과를 나타내고 있다. 그릿이 마모에 의해서 조직이 많이 와해되었지만 WC가 마모를 억제시키는 역할을 하고 있음을 보여주고 있다. 마모거동은 응착마모 기구를 보이고 WC는 미소균열이 진행되면서 잘게 부서진 것을 볼 수 있다. 상대적으로 연한 상대재가 심하게 마모되어 마모분이 시편에 달라붙음으로써 면분석 결과 Fe가 상당히 보이고 있다. 이와 같이 그릿이 없는 부분에서는 Fe₆W₆C 탄화물의 영향으로 마모가 어느 정도 억제가 되면서 전형적인 응착마모 거동을

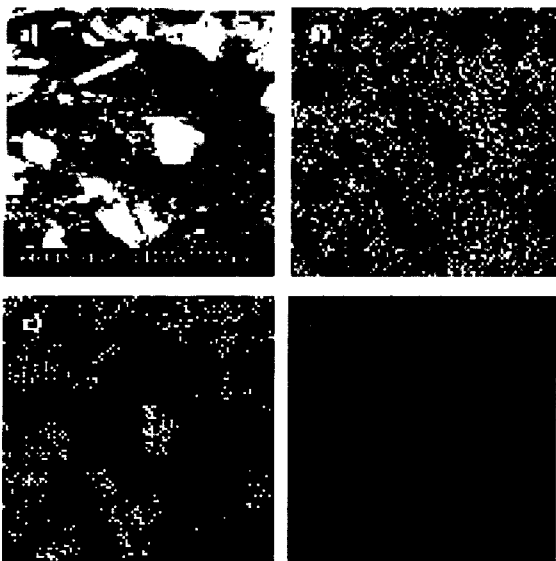


Fig. 14 Wear morphology and area analysis of S2 overlay which contain WC-12Co alloy grit, a) image, b) Fe, c) W, d) Co

보이고 있지만 그 반면 그릿이 있는 부분에서는 WC가 응착마모 거동을 보이는 것이 아니라 잘게 부서지는 파괴거동을 보임으로써 상대적으로 마모저항이 큰 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 SCM440 모재 위에 별도의 그릿 공급장치를 이용하여 WC-12%Co계 초경합금의 그릿과 저탄소강 와이어와 함께 GMAW를 이용한 오버레이 용접하여 WC-12%Co/저탄소강 MMC 오버레이 층을 제조하고 그릿 공급량에 따라서 지지부의 미세조직 및 블록-회전원판 마모시험을 한 후 내마모성에 대하여 조사하였다.

첫째, 그릿의 크기와 공급량을 변화시켜 오버레이 용접을 한 결과 어느 경우에도 용접 후 로냉에 의해 비드 밑 균열은 발생되지 않았고, 양호한 비드 형상을 얻었고, 그릿 공급량이 290g/min의 경우에 오버레이층 전체에 그릿이 균일하게 분포되어 있었다.

둘째, 오버레이층의 지지부에서는 fish bone조직과 faceted dendrite조직이 관찰되었고, 이들 두 상은 그릿의 일부가 아크열에 의해 용융되어 생성된 Fe₆W₆C 탄화물임이 확인되었다.

셋째, 마모시험을 한 결과 그릿과 지지부의 생성된 경한 Fe₆W₆C가 마찰마모를 억제하여 우수한 내마모성을 얻었다. 이것은 그릿이 없는 부분에서는 매우 심한 전형적인 응착 마모양상을 보이고 있는 반면 그릿이 있는 부분에서는 그릿의 미소파괴가 일어나기 때문으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. K. G. Budinsk : Surface Eng. for Wear Resistance, 1988, 265
2. 대한용접학회 : 용접·접합편람, 대한용접학회, 1998, 724-725 (in Korean)
3. T. sato : Microstructure and explanations in steel, whansun, 1963 (in Japanese)
4. A. E. McMale(Ed.), Phase Equilibria Diagrams, 10. The American Ceramic Society, Westerville, 1994, 288-289
5. A. Trueman, D. P. Schwersberg and G. A. Hope : Corrosion, 41 (1999), 1877-1389
6. J.F.Archard : J of Appl. Phys. 24(1953), 981-988
7. E.Rabinowicz : Friction and wear of Materials, Wiley, 1965, 113-117
8. Karl-Heinz and Zum Gahr : Microstructure and Wear of Materials, 4 (1993), 125-128