WC-12%Co/저탄소강 MMC 용접 오버레이의 마모거동

임 희 식* · 김 태 형** · 박 경 채**

*현대자동차 생산기술센터 소재생기팀
**경북대학교 금속공학과

Wear Behavior of 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,

Abstract

The protection of steel surfaces against wear is a practical problem for agricultural, mining and manufacturing industries. Commercial processes are available in which a hard tungsten carbides rich steel layer is formed on the surface of carbon steel digging, drilling and gouging tools to improve their wear resistance. The nature of the interaction of the tungsten carbide with the steel matrix is important in determining the wear and corrosion properties of the resulting metal matrix composites(MMC).

In the study, WC-12%Co/low carbon steel MMC overlays have been prepared by gas metal arc welding(GMAW) according to size of WC-12%Co grits. The characteristics wear resistance and wear mechanism have been investigated in relation to the experiment conditions each other.

After MMC overlay had been tested by rubber wheel abrasion test, it was known that MMC overlay has a excellent wear resistance.

Fe_6W_6C carbides of matrix in overlays were not important to restrain rubber wheal abrasion wear. Wear loss is proportioned to a applied load according to time. On the case of low load, wear occurred severely in the matrix of overlay more than WC-12%Co grit, on the contrary it is reverse on the case of high load because of fracture of WC-12%Co grits.

(Received July 11, 2002)

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

1. 서 론

Metal matrix composites(MMC)는 단일 성분의 재료에 비하여 우수한 강도, 탄성, 내마모성, 고온 특성과 낮은 열팽창계수 등의 뛰어난 기계적 특성을 가지기 때문에 선진국에서는 1970년대부터 개발이 이루어져 왔다.[1] 이러한 MMC의 특성으로 인해 자동차, 군사, 우주 항공 산업에 널리 적용되고 있다[2]. 강화 역할을 하는 불연속상의 형태에 따라서 파이버(fiber)[3], 휘스커(whiskers)[4], 입자(particles)[5] 강화로 나눌 수 있는데 이러한 재료는 우수한 기계적 특성, 내마모성과 낮은 열팽창계수 등의 특성이 필요하다[6]. MMC의 제조 방법은 분말법[7], 스프레이법[8], 주조법[9]으로 나눌 수 있는데 강화 재료의 특성, 기계적 특성, 경제성 등을 고려하여 적절한 방법으로 선정할 수 있다. 최근에는 GTAW(gas tungsten arc welding) 용접기의 열원을 이용한 MMC를 제조한 후 물성 평가에 대한 연구[10-12]도 보고된 바가 있다.

기존의 연구 보고[10-12]에 의하면 마모가 일어나는 공

구 표면에 GTAW 열원으로 용융한 후 WC 입자를 첨가하여 WC/고탄소강 MMC를 제작하였고 이때 WC의 일부가 부분적으로 용융하여 기지부에는 (Fe, W)탄화물이 형성된 바가 있다고 한다. 이러한 탄화물의 생성에 의해 MMC에서 기지부의 개선으로 인한 전체 MMC의 물성에 미치는 효과가 크기 때문에[12] GMAW (gas metal arc welding) 방법으로 인하여 우수한 물성을 가지는 WC-12%Co/저탄소강 MMC 오버레이층의 제조가 가능하다. 이러한 탄화물 강화 재료로 한 MMC는 내마모성, 내부식성을 요구하는 건축, 토목부품에 적용되고 있다[12]. 그리고 WC/저탄소강 MMC에서 Co량을 변화시킨 것에 대해서는 부식성 동향에 대한 연구[13]는 보고되었지만 마모거동에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GMAW법을 이용한 SCM440 모재 위에 별도의 그릿 공급 장치를 이용하여 WC-12%Co계 초경합금 그릿과 저탄소강 와이어와 함께 오버레이 용접하여 WC-12%Co/저탄소강 MMC 오버레이층을 제조하고 그릿의 크기에 따라서 블록-회전원판 마모시험과 rubber wheel 마모시험을 한 후 내마모성과 마모거동에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 WC-12%Co 초경합금 그릿(이하 그릿이라고 말한다)을 제조한 후 별도의 그릿공급 장치를 제작하여 용접 와이어와 그릿 공급량을 조절하면서 SCM 440강에 오버레이 용접을 하였다. 용접한 후 용접부를 실체현미경으로 전체적인 거시조직을 관찰하였다. 그리고 용접부의 내마모성을 알아보기 위해서 블록-회전 원판 마모 시험법과 rubber wheel abrasion 시험법으로 마모시험을 실시한 후 각각의 마모량을 측정하고 마모면을 SEM, EDX, 표면조도시험으로써 마모거동을 알아보았다.

2.1 용접재료

오버레이 용접의 모재로서는 일반 구조용강으로 널리 쓰여지고 용접성이 우수한 저탄소합금강인 SCM440강을 사용하였다. Table 1은 모재의 화학조성을 나타내었다. 용접함으로써 생기는 비틀림이 생기는 않는 범위에서 두께를 정하여 19T×100W×150L(mm)로 절단하였고 용접하기 전에 우수한 용접성을 얻기 위하여 표면의 산화층을 제거하고 아세톤으로 표면을 세척하였다.

용접와이어는 직경이 1.6mm의 JIS-YGW11의 상용

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.

와이어를 사용하였으며, Table 2에 화학조성을 나타내었다.

WC분말(1~5㎛)과 Co분말(1~2㎛)을 볼밀을 이용하여 혼합하고, 혼합된 분말을 건조시킨 후에 유압식 프레스로 성형하였다. 성형체의 강도를 증대시키기 위해서 800℃, 60분, Ar분위기에서 예비소결을 하고, 1400℃, 80분, 10^{-3}㎜Hg의 진공분위기에서 본소결을 하여 WC-12%Co계 초경합금 벌크로 제조하였다. 이러한 초경합금 벌크를 기계적 방법으로 분쇄하고 시편번호를 그릿의 크기별로 S_1(300~500㎛), S_2(500~850㎛), S_3(850㎛~1.19mm), S_4(1.19~2mm)로 분류했다. 그리고 아세톤으로 초음파 세척한 후 100℃에서 2시간 동안 건조하였다.

2.2 오버레이 용접방법

본 실험에서는 기존의 용접방법에 별도의 그릿공급 장치를 제작하여 오버레이 용접을 실시하였다. 오버레이 용접에 앞서 모재를 260℃로 예열함으로써 용접 중에 아크의 불안정함과 용접성을 향상시켰다. 용접기의 극성은 직류 역극성을 채택하였고, 용접방법은 용접중에 공급되는 그릿으로부터 아크를 안정시키기 위해서 후진법으로 용접하였다. 모재와 그릿 사이의 열팽창계수의 차이로 인한 비드밑 균열 발생을 억제하기 위하여 용접 후에 바로 500℃에서 로냉하였다.

2.3 용접 조건 및 시편제작

본 실험에서는 비드 형상과 비드 외관의 결함과 용착효율을 고려한 결과, 용접 전압 33V, 시일드 가스를 Ar+40%CO_2로 용접을 했을 때, 용착효율이 좋으면서 지단각(toe angle)이 낮고 표면에 기공이 생기지 않는 우수한 비드를 얻을 수 있었다. 이렇게 선정한 용접조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Conditions of welding process

Specimen No.	Methods of welding	Voltage (V)	Velocity of welding (cm/min)	Feeding rate of wire (cm/min)	Size of grit (㎛)	Average current (A)	Feeding rate of gas (l/min)	Input rate of grit (g/min)
S_1	MAG (40% CO_2)	33	20	635	300-500	330	20	290
S_2					500-850			
S_3					850-1,190			
S_4					1,190-2,000			

이때 그릿의 공급량은 기지부가 되는 송급 와이어의 량과 모재 희석율을 25%로 고려하여 오버레이층 전체에서 그릿이 차지하는 부피 분율이 60vol%가 되도록 각각 용접하였는데 공급량은 290g/min으로 하였다.

2.4 용접부 관찰

그릿은 에칭하지 않고 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였고, MMC인 오버레이층 비드를 다이아몬드 절단한 후 단면을 0.3㎛ 다이아몬드 페이스트를 이용하여 연마하였다. 그리고 단면을 나이탈 : 글리세린:염산:질산을 3:2:1로 한 부식액으로 에칭하고 실체현미경으로 관찰하였다.

JIS K7218 규정의 블록-회전 원판 마모시험법(大越式)으로 대기 중 무윤활 상태에서 실시하였다. 마모의 상대재로는 SUJ2 회전원판(Hv 750, 직경 48.8mm, 두께 2mm)을 사용하였고, 마찰하중은 30N, 마모거리는 1000m로 일정하게 하였다. 이 때 비마모량을 이용하여 구하여 그 상대값으로 마모량을 비교하였다.

롤 마모시험의 일종으로 ASTM G 65-81의 규정에 의하여 rubber wheel abrasion 마모시험을 실시하였다. 시편은 모재인 SCM440과 비드의 그릿 분포 유무와 크기에 따른 마모 양상을 알아보기 위하여 비드 표면에서 2mm 정도를 평면 연삭하였다. 시험 조건은 Table 4와 같으며 시편 각각에 대하여 시험 시간과 하중을 변화시켰다. 마모시험 후 마모거동을 확인하기 위하여 마모면 및 마모분(debris)을 SEM으로 관찰하였다.

Table 4 Conditions of rubber wheel abrasion test

Solid body(specimens)	overlay
Counterbody	rubber wheel
Interfacial element	SiC(250㎛)
Environment	air
SiC flow rate	300~400g/min
Operation time	per 10min
Load	25, 50, 75N

2.6 표면조도시험

Rubber wheel abrasion 시험을 한 후 마모면의 마모거동을 알아보기 위해 마모면 조도변화를 Mitutoyo社 SV-400(surface roughness measuring system)를 이용하여 측정하였다. 조도측정은 접촉식으로 행하였으며, 측정조건은 JIS B0601에 따라 평가길이 4mm, cut-off값은 0.8mm로 했다. 측정값은 산술평균하여 나타냈다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 WC-12%Co계 초경합금 그릿

WC-12%Co계 초경합금을 기계적으로 분쇄하여 크기별로 분급한 그릿의 형상은 Fig. 1과 같다. 기계적으로 분쇄하였기 때문에 초경합금의 특성상 구형의 형상이 아닌 매우 불규칙적이고 날카로운 형상이었고 이로 인해 유동도는 상당히 나쁘게 나타났다. 용접전의 그릿

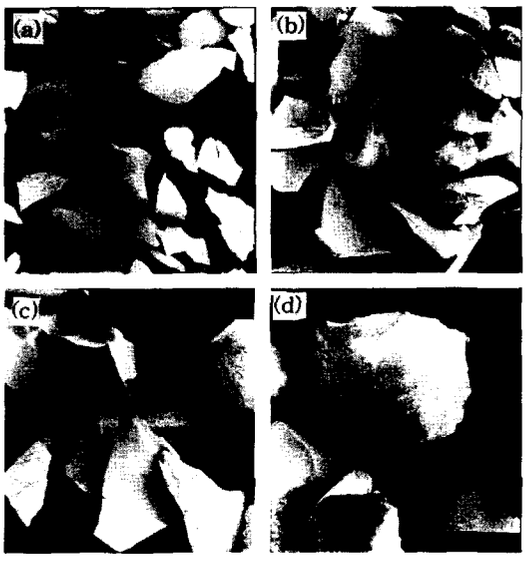

Fig. 1 Morphology of WC-12%Co alloy grits specimen No. (a) S_1, (b) S_2, (c) S_3, (d) S_4

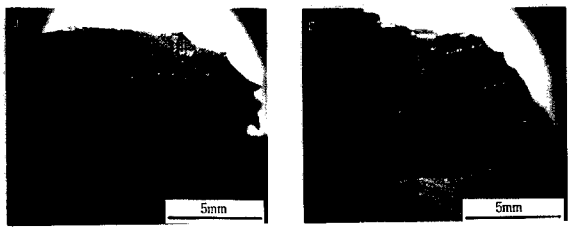

Fig. 2 Cross-sectional photographs of overlays according to grit size on specimen No. a) S_1 and b) S_2

은 전형적인 복합재 조직으로 Co는 연속적인 다결정상을 형성하는 반면에 WC는 불연속상으로 존재한다.

3.2 용접부의 거시조직 관찰

그릿 크기에 따라 공급량을 조절하여 용접한 비드 단면의 외관을 실체현미경을 이용하여 관찰하였다. 비드의 단면만을 관찰한 결과로는 그릿의 크기와는 무관하게 형상불량이나 표면기공도 없는 비교적 양호한 형상을 얻었다. 따라서 그릿의 분포를 자세히 파악하기 위하여 비드의 단면을 관찰하였다. 용접 후에 비드와 모재 사이의 열팽창계수 차이에 따른 비드밑 균열 발생을 억제하기 위하여 오버레이 직후 바로 500℃로 후열처리하고 로냉시킨 결과 비드와 모재 사이에는 전혀 균열이 발생하지 않았다. 시편 S_1~S_4 모두 비드 전체 및 표면까지 그릿이 균일하게 분포되어 있었다. 여기서는 Fig. 2에 S_1 및 S_2 시편의 비드를 나타내었다. 그리고 상대적으로 열이 집중되는 그릿의 모서리에서 아크열에 의한 그릿의 일부가 용융된 것이 확인되었다.

3.3 용접부의 마모거동

3.3.1 블록-회전원판 마모 시험 후 마모거동

블록-회전원판 마모 시험법으로 비드 단면 상단에서 1mm단위로 마모 시험한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 모재의 비마모량 $21\times10^{-6}mm^3/Nm$값과 비교하면 MMC 오버레이층은 우수한 내마모성을 나타내었다. 오버레이의 그릿이 비드 전체에 균일하게 분포되어 있었기 때문에 거리에 관계없이 내마모성이 우수함을 확인할 수 있었다. 이 경우 마모거동은 그릿이 미소균열이 진행되면서 잘게 부서져 상대적으로 연한 상대재가 심하게 마모되어 마모분이 시편에 달라붙어 파괴 되는 거동이라고 보고되어 있다[13]. 이와 같이 그릿의 크기와는 거의 무관하게 내마모성이 일정하게 된다고 판단된다.

3.3.2 Rubber wheel abrasion 시험 후 마모거동

마모기구 중에 마찰마모는 경한 입자에 의해서 두 표

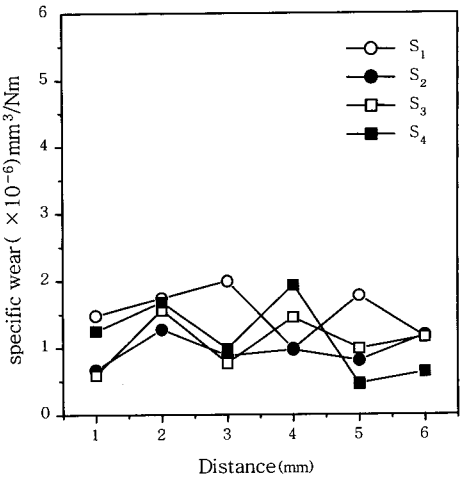

Fig. 3 Specific wear of surface overlayed by WC-12%Co alloy grit using block-roll wear test according to cross-sectional distance

면 사이에서 마모가 일어남을 말한다. 마찰마모는 다시 미소골(microploughing), 미소절단(microcutting), 미소균열(microcracking)의 마모기구로 나눌 수 있다. 미소골은 경한 입자로 표면에 골이 생기는 소성변형을 말하는데, 동시 연속적 작용으로 재료 표면에 반복적으로 소성변형이 발생하고, 재료의 마모는 이러한 저주기 피로에 의해 발생하게 된다. 미소절단은 경한 입자에 의해서 재료 표면이 깎여지는 마모를 말하는데 미소골과 미소절단은 주로 연한 재료에서 일어난다. 그리고 미소균열은 경한 입자에 의해서 재료 표면에 응력이 집중되어 균열이 발생하게 되고 이런 균열의 진전에 의해서 마모가 일어남을 말하는데 주로 취한 재료에서 발생한다. 표면피로 마모는 재료 표면에 반복 하중이 주어지는 가운데 표면아래에서 균열이 발생하게 되어 이 균열이 성장하여 표면이 탈락되는 마모기구를 말한다.[14]

본 실험에서는 평면 연삭을 하여 시편의 표면 조도 Ra값이 0.3㎛로 일정하게 한 후 하중과 마모시간을 변화시키면서 마모시험을 하였다.

Fig. 4는 하중을 25, 50, 75N으로 변화시키고 10분 동안 마모시험을 한 후 다시 10분 동안 마모시험을 하는 방법으로 60분간 마모시험을 하고, 10분당 마모된 량을 나타낸 것이다. 모재(SCM440)보다 S_1, S_4의 경우가 내마모성이 훨씬 우수함을 알 수 있다. 모재의 경우에는 마모시간이 증가함에 따라서 마모량이 거의 직선적으로 증가함을 보이고 있다. 하지만 S_1, S_4의 경우는 마모시간이 증가함에 따라 마모량의 증가폭이 작아지는 경향을 보여주고 있다.

여기서, 하중이 25N일 때는 마모 속도 및 마모량이 S_1이 S_4보다 크고, 50N일 때는 S_1과 S_4가 거의 같고, 75N일 때는 S_4가 S_1보다 큰 것을 알 수 있다.

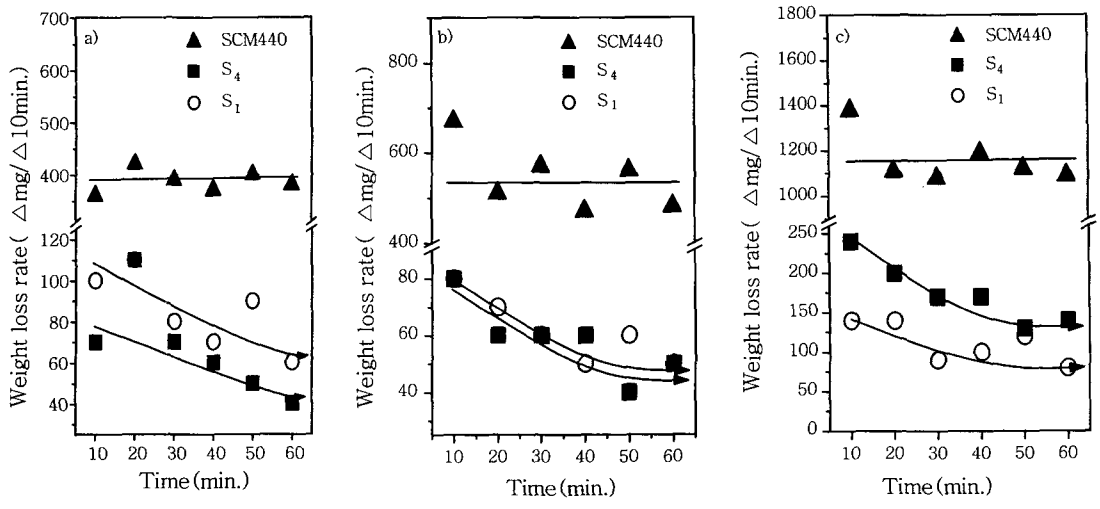

Fig. 4 Weight loss rate change of SCM 440, S_1 and S_4 specimens by rubber wheel abrasion test per 10 minutes at a) 25, b) 50 and c) 75N respectively

Fig. 5에서와 같이 그릿이 분포되어 있는 오버레이 층을 복합재로 보면 마모 초기에는 A형의 경향을 보이면서 내마모성이 약한 기지부분이 먼저 마모되면서 마모량이 증가하다가 시간이 지나면 그릿의 마모에 의해 B형으로 바뀌게 된다. B형에서는 내마모성이 우수한 그릿에 의해서 마모량이 감소하게 된다. 하중이 25N일 때는 마모량이 S_4보다 S_1쪽이 많음을 보이고 있지만 하중이 75N으로 증가할수록 S_4의 마모가 많음을 보이고 있다. 이것은 하중이 증가할수록 하중에 의해서 기지부보다 그릿의 마모가 심하게 일어나기 때문이라고 사료된다.

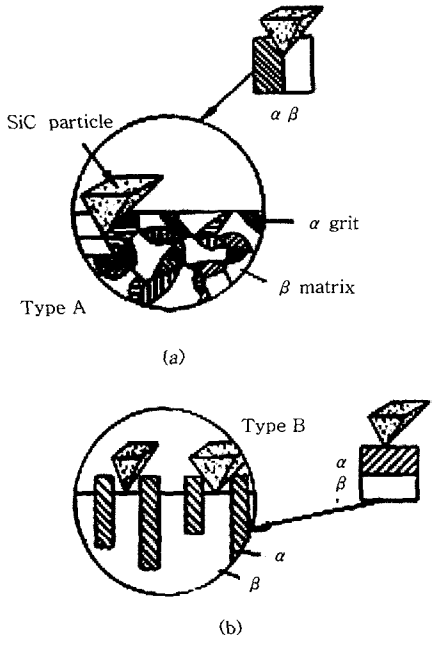

Fig. 5 Schematic of wear type. (a) type A, (b) type B α β

60분 동안 마모시험을 한 후에 마모면을 표면조도기를 이용하여 Ra값을 측정하여 마모 후 마모면 거칠기를 측정한 결과는 Fig. 6과 같다. 하중이 증가함에 따라 S_1은 마모에 의해서 마모면이 거칠어짐으로써 Ra값이 증가함을 보여주고 있는 반면, S_4는 감소함을 보여주고 있다. S_1의 경우는 하중이 증가함으로써 마모량이 증가할 때 마모가 주로 그릿을 잡아주는 기지부에서 진행되어 점점 기지부의 골이 깊이 파임과 동시에 그릿 자체도 파괴거동에 의해 마모가 일어나고 상대적으로 작은 그릿이 통째로 박리되면서 Ra값이 증가한 것으로 보인다. 하지만 S_4의 경우는 25N일 때는 마모가 주로 기지부에서 심한 연삭마모가 일어나고 그릿은 거의 마모되지 않으므로 Ra값이 높았지만, 고하중일때는 기지부의 연삭마모와 함께 그릿자체가 파괴에 의해 마모되어 마모면의 Ra값이 낮아진다고 여겨진다. 여기서 하중이 증가함에 따라서 그릿의 크기가 작은 쪽이 마모를 억제시키는 효과가 뛰어남을 알 수 있고, 그릿의 크기가 큰 쪽은 하중이 증가할수록 내마모성이 떨어짐을 나

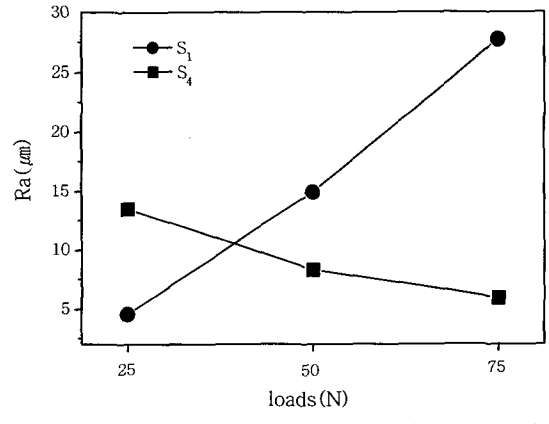

Fig. 6 Surface roughness changes of wear surface according to loads

타낸다.

Fig. 7은 rubber wheel abrasion 마모전, 후의 오버레이 중 그릿의 형상을 보여주고 있다. 마모전에는 그릿의 형상은 대체로 공급 그릿 상태였다. 하지만 마모시험을 한 후 그릿은 잘게 부서진 것을 확인할 수 있다. 그릿이 경하기 때문에 마모시험 도중의 하중에 의해서 파괴되어 마모된 것으로 여겨진다. 이것은 블록-회전원판 마모시험 후의 마모거동과 비슷한 경향으로, 그릿이 파괴되면서 마모가 일어나는 같은 마모기구를 보여주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8는 S_4를 하중 75N으로 60분 동안 rubber wheel abrasion 시험을 한 후의 마모면과 마모면의 단면을 보여주고 있다. Fig. 8 (a)의 저배율로 본 마모면은 기지부와 그릿이 거의 동시에 마모되어 마모면이 상당히 깨끗하게 보인다. (b)의 단면은 그릿사이의 기지부에서 마모가 심했고, 그릿도 상당한 마모를 보여준다.

Fig. 8에서의 기지부만을 고배율로 관찰한 것이 Fig. 9에 보여준다. Fig. 9의 (a)에서 보면 상대적으로 연한 Fe 기지부의 마모로 Fe_6W_6C의 탄화물 미소균열발생으로 탈락되는 마모기구에 의해서 주로 마모가 됨을 보여준다. Fig. 9의 (a)에서 흰색의 네모부분을 확대한 것이 (b)이다. (b)에서 흰색의 부분이 Fe_6W_6C의 탄화물이고 나머지 회색 부분이 Fe 기지부이다.[15] 상대적

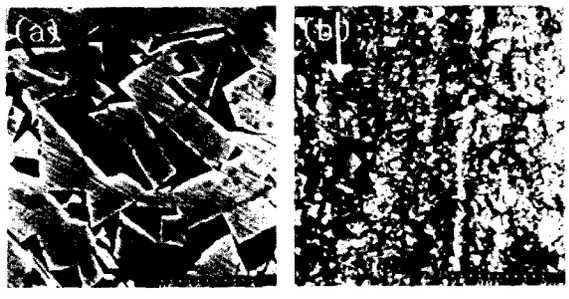

Fig. 7 Wear morphology of WC-12%Co alloy (a) before and (b) after rubber wheel wear test at 50N, 60minutes sample

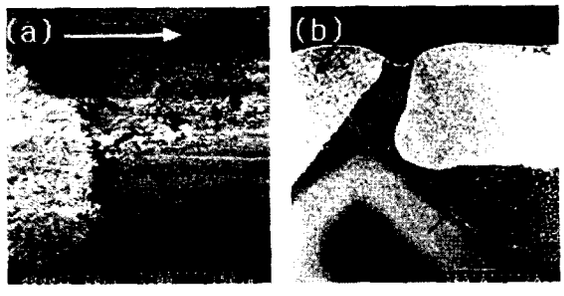

Fig. 8 Wear morphology of S4 sample tested by rubber wheel wear test at 75N, 60 minutes. (a) surface, (b) cross sectional surface

Fig. 9 High-scale wear morphology of Fig. 8 (b) is high-scale structure of white square section in (a)

으로 연한 Fe 기지부에서 미소골에 의한 소성변형으로 인해 골이 파져있고 이런 골은 상대적으로 경한 Fe_6W_6C 탄화물에서 소성변형이 억제됨을 보여준다. 이러한 소성변형에 일어나고 소성변형 옆의 경한 Fe_6W_6C에서는 미소 균열이 발생하였다. 이런 균열의 진전에 의해서 마모되어 탈락된 것도 볼 수 있다.

Fig. 10은 시편 S_4를 같은 조건은 75N에서 60분 동안 rubber wheel abrasion 시험을 한 후의 마모면 단면을 관찰한 것이다. (a)에서는 패시트 수지상(faceted dendrite)조직이 변형되어 마모 방향으로 심하게 변형됨과 동시에 균열이 진전되어 파괴된 것을 보여주는데, 소성 변형층은 약 6~7㎛이다. (b)에서는 마모에 의해 표면층이 박리된 것으로 볼 수 있는데 (c)는 박리된 표면의 단면을 보여주고 있다. 여기서 마모시험에 의한 반복 하중의 영향으로 표면아래에서 균열이 발생하고 마모 진행 방향으로 균열이 진전하여 표면층이 박리 된 표면피로의 경향을 보여주고 있다.

Fig. 11는 Fig. 10의 마모 시험결과 발생한 마모분의 사진이다. chunks, curl, spiral과 같은 마모분의 종류를 확인할 수 있다. 이러한 마모분은 주로 표면 피로에 의해서 주로 발생한다. 이 경우 피로 라인이 보여지고 있다. 이런 피로 라인이 보이지 않는 chunks 모양의 마모분은 마모시험 도중 마모분의 2차 파괴에 의해서 생긴 마모분이라고 여겨진다. 머리카락 모양의 curl과 spirals은 주로 미소절단에 의해서 발생하는 마

Fig. 10 Cross-sectional wear morphology of S_4 sample tested by rubber wheel wear test at 75N, 60 minutes. (a) plastic deformation layer, (b), (c) surface fatigue

Fig. 11 Morphology of debris

모분인데 마모 도중의 온도차에 의해서 고온일 경우는 curl보다 spirals이 생길 경우가 많다[16]고 여겨진다.

Fig. 12은 rubber wheel abrasion 마모시험을 한 결과로 마모시험 중 저하중과 고하중을 가한 경우에 S_1, S_4시편의 마모양상을 단면으로 나타낸 모식도이다. 모든 시편의 기지부에서는 주로 미소균열에 의한 연삭마모가 일어나고 표면이나 표면 바로 아래 쪽에 발생한 균열의 진전에 의해 마모되는 표면피로 마모에 의해 심하게 마모됨을 알 수 있다. 저하중(25N) S_1의 마모양상인 (a)에서는 기지부의 연삭마모와 함께 상대적으로 크기가 작은 그릿도 파괴에 의한 마모가 일어남으로써 마모시험 한 후 표면이 평탄함을 알 수 있다. 하지만 저하중 S_4의 경우(b)는 기지부는 위의 설명과 같이 연삭마모가 일어나지만 상대적으로 크기가 큰 그릿에서는 마모가 전혀 일어나지 않았다. 결과적으로 마모면에는 기지부의 심한 마모에 의해 그릿 사이에 깊은 골이 파져있음을 알 수 있다. 그리고 그릿의 강한 마모 저항에 의해 S_1보다 마모가 억제된다고 사료된다.

고하중(75N)의 경우에는 저하중과 반대의 양상을 보였다. (c)는 고하중 S_1의 마모양상으로써 기지부의 심

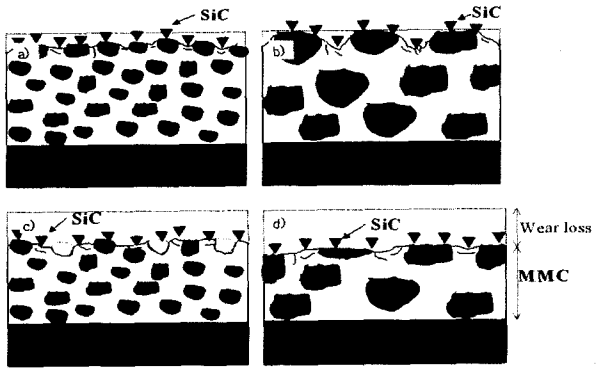

Fig. 12 Schematic diagram of overlayed surface by rubber wheel abrasion. (a) 25N, S_1, (b) 25N, S_3, (c) 75N, S_1, (d) 75N, S_3

한 연삭마모와 함께 그릿의 파괴에 의한 마모가 심하게 일어나서 저하중일 때 보다 마모가 많이 되었고 마모재 SiC의 입자에 의해 그릿이 기지부로부터 탈락되었다. 이런 탈락된 부분의 골에 의해 마모면이 표면조도가 증가되었다. 하지만 고하중 S_4의 경우는 고하중에 의해 그릿이 심하게 파괴되어 마모가 일어남으로써 그릿이 마모를 억제시키는 기능을 전혀 하지 못하고 기지부의 심한 연삭마모와 함께 일어나 마모 후 마모면의 표면조도가 낮았다. 그리고 고하중의 경우는 S_1보다 심하게 마모가 되었다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 SCM440 모재 위에 WC-12%Co계 초경합금 그릿과 저탄소강 와이어와 함께 GMAW를 이용한 오버레이 용접하여 WC-12%Co/저탄소강MMC 오버레이층을 제조하고 그릿의 크기에 따라서 블록-회전원판 마모시험과 rubber wheel 마모시험을 한 후 내마모성과 마모거동에 대하여 조사하였다.

첫째, rubber wheel 마모시험을 한 결과는 그릿과 기지부의 생성된 경한 Fe_6W_6C가 마찰마모를 억제하여 우수한 내마모성을 얻은 블록-회전원판 마모시험과 달리 Fe_6W_6C 탄화물이 마모를 억제시키는 주 역할을 하지 못하고 그릿의 영향으로 마모가 억제됨을 알 수 있었다.

둘째, 저하중의 경우는 그릿보다 기지부의 마모가 심하게 일어나서 그릿 입자가 작은 것이 큰 것 보다 마모량이 많았지만 고하중에서는 그릿 자체가 하중에 의해 파괴되어 그릿 입자가 큰 것이 작은 것 보다 마모가 심하게 되었다.

셋째, rubber wheel 마모 주 기구는 SiC 입자에 의한 미소절단이고, 기지부에서는 미소골이 생기면서 상대적으로 경한 Fe_6W_6C 탄화물에서 미소균열의 균열이 진전되어 반복적인 충격에 의해 탈락되며, 그릿 자체는 반복 하중에 의해 파괴되었다.

참 고 문 헌

1. Zhang Libin and Hai Jinfao : J. of Materials Processing Technology **75** (1998), 1-5
2. Millian Callister : Material Science and Eng. 552-553
3. K. U. Kainer and B. L. Mordike : Metall. **44** (1990), 438
4. K. U. Kainer and J. Schroder : Proc. of The Word Conference on Powder Metallurgy, London, 1990. TheInstitute of Metals, (1990) Vol. 1, 304
5. J. Schroder, K. U. Kainer and B. L. Mordilike : Proc. 3rd. Euro. Conf. on Composite Material, (1989), 221

6. J. Schroder and K. U. Kainer : Material Science and Eng. A **135** (1991), 33-36
7. D. L. Erich : Int. J. Powder Metall. **23** (1987), 45
8. Alcan Ltd and Eur. Patent : EP-295-008-A, (1989)
9. D. J. Lloyd : Composite Sci. Technol. **35** 1989, pp.159
10. A. Trueman, D. P. Schwersberg and G. A. Hope : Corrosion, **39-7** (1997), 1153-1164
11. A. Trueman, D. P. Schwersberg and G. A. Hope : Corrosion, **40-10** (1998), 1685-1696
12. A. Trueman, D. P. Schwersberg and G. A. Hope : Corrosion, **41** (1999), 1877-1389
13. B.M.. Yang, E.S. Byon and K.C. Park : Thermal sprayed AlSiMg/TiC composite coatings-wear characteristic, J. of Kor. Welding S. **18-5** (2000), 105-111 (in Korean)
14. Karl-Heinz and Zum Gahr : Microstructure and Wear of Materials, 87
15. Satou tomoo : microstructures and explanations of steels, 1975 (in Japanese)
16. Trevor. M. Hunt : Hand Book Wear Debris Analysis and Particle Detection in Liquids, 67 of S_4 sample tested by rubber