

## 재생 WC 분산형 Fe계 하드페이싱 용접재료의 마모저항성에 미치는 Mn과 C 첨가의 영향

강남현 · 채현병 · 김준기<sup>†</sup> · 최중하\* · 김정환  
한국생산기술연구원 정밀접합·용접팀  
\*세화엔지니어링(주)

### Effects of Mn and C Addition on the Wear Resistance for the Recycled WC Dispersed Fe-base Hardfacing Weld

Nam-hyun Kang, Hyun-byung Chae, Jun-ki Kim<sup>†</sup>, Jong-ha Choi\* and Jeong-han Kim  
Advanced Welding & Joining, Korea Institute of Industrial Technology, Chonan 330-825, Korea  
\*Saehwa Engineering Co. Ltd., Incheon 404-330, Korea

(2003년 10월 25일 받음, 2003년 11월 26일 최종수정본 받음)

**Abstract** The abrasion and impact wear resistance were investigated on the hardfacing weld dispersed with the recycled hard metal(HM). The HM was composed of the tungsten carbide(WC) reinforced metal matrix composite. The cored wire filled with the 25-35wt.% HM and 2-8wt.% of the alloying element, Fe-75Mn-7C(FeMnC), was used for the gas metal arc(GMA) welding. By using the cored wire of the 25wt.% HM and FeMnC addition, the weld showed mostly constant wear loss for the abrasion as a function of the FeMnC content. This was due to the insufficient amount of the tungsten carbide formed during the GMA welding. The FeMnC addition to the 35wt.% HM did not improve the abrasion wear property since the amount of the tungsten carbide formed was decreased with respect to the FeMnC amount. The 6wt.% FeMnC addition to the 35wt.% HM exhibited the better impact wear resistance than the hardfacing weld by 40wt.% HM.

**Key words** hardfacing, tungsten carbide, abrasion wear, impact wear, cored wire

### 1. 서 론

하드페이싱(hardfacing)은 기계부품의 내마모성을 향상시키기 위하여 연강이나 스테인리스강과 같은 모체의 표면에 마모특성이 우수한 금속을 균일하게 용접하는 방법이다.<sup>1)</sup> 우수한 abrasion 마모저항성이 요구되는 산업설비 부품에는 일반적으로 텅스텐탄화물(WC)계 하드페이싱 재료가 사용되고 있다.<sup>2,3)</sup> 그러나 고가의 WC 분말 사용에 의한 제조단가 문제 때문에 최근 경제적인 방법으로 재생 초경합금 분말을 사용한 제조한 WC 분산형 코어드와이어(cored wire)의 활용이 기대되고 있다.<sup>4,5)</sup>

초경합금 코어드와이어의 개발은 굴착용 드릴비트 등과 같이 극심한 abrasion 마모와 함께 충격마모 환경에서도 사용되기 때문에 abrasion 및 충격마모에 대한 저항성이 동시에 요구된다. 본 저자들의 연구에서 재생 WC 분산형 초경합금을 30-40wt.% 충전했을 경우 우수한 abrasion 내마모성을 갖는다는 것을 알았다.<sup>4)</sup> 초경합금 분말의 충전율이 증가함에 따라 텅스텐 탄화물의 형성량이 증가되어 abrasion 내마모성은 향상되었다. 그러나 형성되는 탄화물의 종류가 WC 타입에 비해 경도가 낮

은  $W_6C$  타입이고 기지상이 brittle한 마르텐사이트상으로 존재하고 있어 충격마모 저항성은 낮을 것으로 예상된다.

기지상의 강도증가와 내마모성을 모두 향상시킬 수 있는 방법으로는 기지상에서의 마르텐사이트 제거와 완전한 오스테나이트화를 통하여 탄화물과의 결합력 증대를 고려해 볼 수 있다. Fe계 합금의 대표적인 오스테나이트 안정화 합금원소로는 C, N, Ni, Mn 등이 있다.<sup>6)</sup> 이 중에서 Mn은 오스테나이트 형성뿐만 아니라 오스테나이트 기지를 강화시키는 합금원소로 알려져 있다. C은 강력한 오스테나이트 형성원소이면서 W 등과 결합하여 탄화물을 형성하는 원소이다. 따라서 Mn과 C 같은 합금원소들을 Fe-Mn-C 형태의 합금분말로 첨가하면 기지상의 오스테나이트화를 유도하는 동시에 강도유지도 가능할 것으로 생각된다.

본 연구는 재생 초경합금 분말을 이용한 WC 분산형 Fe계 하드페이싱 용접재료에 있어서 abrasion 및 충격마모 특성이 모두 우수한 코어드와이어를 개발하기 위해서 Mn과 C의 첨가량에 따른 하드페이싱 용접부에서의 미세조직과 탄화물 형성량 그리고 abrasion 및 충격마모 특성에 대하여 조사하였다.

<sup>†</sup>E-Mail : jkim@kitech.re.kr

## 2. 실험 방법

재생 초경합금(HM) 분말 충전율에 따른 하드페이싱 육성용접부의 마모특성 분석에서 충전율 30wt.%를 전후해서 오스테나이트(austenite)상이 생성되고 탄화물 형성량이 급증하여 abrasion 내마모성을 향상시켰다.<sup>4)</sup> 따라서 마르텐사이트(martensite) 기지상을 갖는 초경합금(HM) 25wt.% 충전분말과 오스테나이트상이 생성되어 마르텐사이트와 공존하는 35wt.% HM 충전분말에 대하여 각각 Mn과 C의 첨가효과를 조사하였다. 본 연구는 초경합금(HM) 코어드와이어 용접재료의 마모특성에 미치는 합금원소 첨가의 영향을 조사하기 위해 25wt.% HM과 35wt.% HM 충전분말에 추가로 Fe-Mn-C ferro합금 분말을 각각 2-8wt.%와 2-6wt.% 첨가한  $\phi 2.4$  mm 코어드와이어를 제조하였다. 코어드와이어 제조에 사용된 Fe-Mn-C 분말의 조성은 Fe-75Mn-7C이며 이 후 FeMnC으로 계속 표기하였다. 피복재와 충전 분말의 화학조성을 Table 1에 나타내었으며 자세한 메탈코어드 용접와이어 제조법은 참고문헌<sup>5)</sup>에 기술되어 있다. 충격마모특성을 비슷한 합금량에서 비교하기 위하여 40wt.% HM 충전 코어드와이어를 제조하였고, 35wt.%HM에 추가로 FeMnC 6wt.%를 첨가한 육성용접부와 비교·연구하였다.

하드페이싱 용접은 역극성 gas metal arc(GMA) 용접을 이용하여  $26 \times 76 \times 12$  mm의 마일드 강재 위에 1층 용접을 하였다. 용접출력으로는 350 A  $\times$  32 V를 사용하였고 순수 Ar을 보호가스로 사용하였으며 유량은 20 ml/min이었다. CTWD(contact to work distance)는 20 mm였으며 토치 이동속도는 8 mm/sec이었다. 마모시편은 육성용접부 표면을 연마한 후 모재를 밀링하여  $26 \times 76 \times 12$  mm 치수로 제작되었다. Abrasion 마모시험은 ASTM G 65 규격에 따라 제작된 Engineer Data Net의 AB-23 model 시험기와 표준 샌드를 사용하여 procedure B로 수행하였다.

FeMnC의 첨가에 따른 충격특성의 변화를 조사하기 위하여 충격마모시험을 수행하였다. 3점 굽힘시험과 Charpy V-notch 충격시험도 수행하였으나, 육성용접부 표면의 크랙으로 인한 굽힘정도의 오류를 범할 수 있고 또한 너무 brittle한 육성용접재료의 특성으로 인해 충격마모 저항성을 상대적으로 평가하기에는 적절하지 않은 것으로 판단되었다.<sup>5)</sup> 그리고 하드페이싱 용접재료의 경우 재료의 내충격성은 의미를 갖지 못하고 반복적인 충격에 대한 마모특성이 평가될 필요가 있어 Fig. 1에 있는 pendulum 방식의 충격마모 시험기를 사용하였다.<sup>7)</sup> 충격마모 시험기는 임팩터로서 경도 900 kg/mm<sup>2</sup>의 스틸베어링볼을 사용하였고, 1170 kg-mm의 충격량으로 분당 10회씩 총 2000회 충격을 가하였다. 초경합금 35wt.% 충전분말에 FeMnC 6wt.%를 추가로 첨가한 코어드와이어를 육성용접하여 최종연마 후 표면에 남아있는 하드페이싱 두께는 3 mm 이상 그리고  $76 \times 76 \times 12$  mm 치수의 충격마모 시편을 제작하였고 육성용접 조건들은 abrasion마

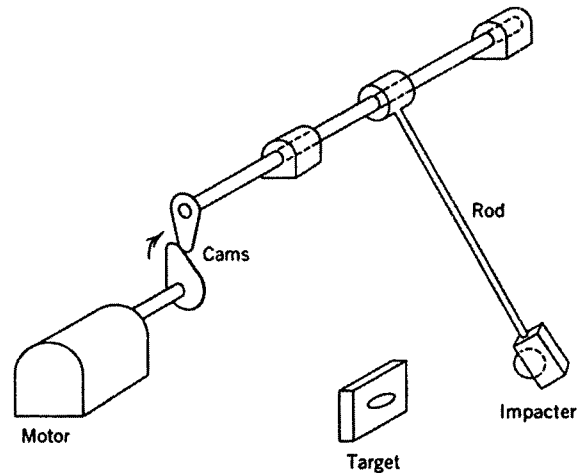


Fig. 1. Schematic diagram of the pendulum-type wear test machine<sup>7)</sup>.

모 시편제작과 같은 방법으로 수행하였다.

시료의 마모저항성을 평가하기 위해 시험 전후의 무게를 측정하여 무게손실량을 측정하였다. 동시에 재료의 내마모성에 영향을 미치는 것으로 알려진 재료의 경도를 평평하게 연마된 시편표면에 대하여 Rockwell C-scale로 측정하였다. 미세조직과 상분석은 각각 SEM(scanning electron microscopy)과 XRD(x-ray diffraction)을 이용하여 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 35wt.%HM+FeMnC 시편의 abrasion 마모 특성

#### 3.1.1. FeMnC 첨가량에 따른 abrasion마모 거동

오스테나이트와 마르텐사이트가 공존하는 기지상을 갖는 35wt.% HM 충전분말에 추가로 FeMnC를 2, 4, 6wt.% 첨가한 경우의 abrasion 마모 실험결과를 Fig. 2에 나타내었다. FeMnC 첨가량 2wt.%에서는 마모손실량이 35.7 mg으로 FeMnC를 첨가하지 않은 경우의 40.2 mg에 비해 감소하였으나 FeMnC 첨가량이 6%로 증가하면서 마모손실량은 47.3 mg으로 증가하였다. FeMnC를 2wt.% 첨가한 경우 소량의 마모특성 향상효과가 있는 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 전체적으로 FeMnC 첨가에 따른 마모손실량의 변화량이 크지 않았기 때문에, 6wt.%까지의 FeMnC 합금원소의 첨가로 인한 육성용접부의 abrasion 마모특성은 향상되지 않고 오히려 17% 저하된 것으로 생각된다.

#### 3.1.2. 경도와 abrasion마모 거동과의 관계

일반적으로 경도는 측정이 용이하고 내마모성과도 관계가 있다고 알려져 있다.<sup>8,9)</sup> 따라서 35wt.% HM 충전분말에 FeMnC를 첨가함에 따른 마모손실량과 경도의 관계를 비교 분석하기 위해서 육성용접부 표면에서의 Rockwell 경도를 Fig. 2에 포함시켰다. FeMnC 첨가량 2wt.%에서는 경도가 49.9HRC로 첨가하지 않은 경우의

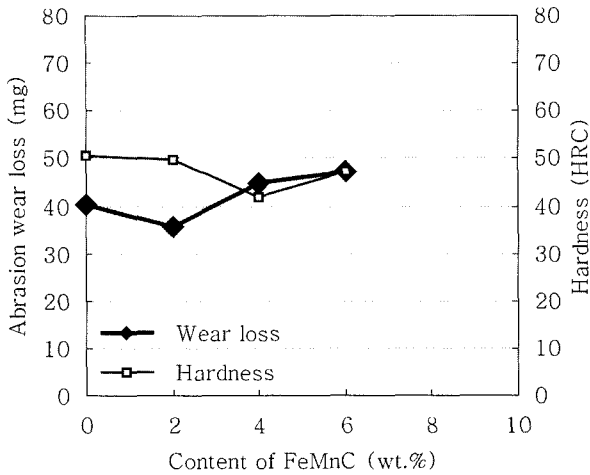


Fig. 2. Effects of FeMnC addition to the 35wt.% hard metal on the abrasion wear loss and hardness.

50.6HRC와 비슷하였다. 그러나 첨가량 4wt.%에서는 41.9HRC로 경도가 감소하였고 첨가량이 6wt.%로 증가하면서 47.3HRC로 다시 경도가 증가하였으나 FeMnC를 첨가하지 않은 경우의 경도값과는 큰 차이를 보이지 않았다. 전체적으로 FeMnC의 첨가량에 따라 큰 영향은 없으나 경도와 내마모성이 다소 저하되었음을 볼 수 있다. 이 결과는 일반적인 마모특성과 경도의 관계<sup>8,9)</sup>와는 일치하지만 내마모성의 저하가 경도 감소의 직접적인 영향을 받지 않는 것으로 생각된다. 그 이유는 Fig. 2에서 보듯이 마모손실량과 경도값의 변화폭이 크지 않고 또한 재생 WC 분산형 초경합금(HM)의 마모특성은 경도보다 탄화물 생성량에 의해서 결정된 것으로 알려졌기 때문이다.<sup>4)</sup>

3.1.3. 미세조직과 마모거동의 관계

Abrasion마모 거동에 대한 미세조직의 영향을 조사하기 위해 FeMnC 첨가에 따른 육성용접부에서의 SEM 미세조직을 Fig. 3에 나타내었다. FeMnC을 첨가하지 않은 경우에는 기지상이 마르텐사이트/페라이트 조직으로 형성되어 있으나 2wt.% 이상의 FeMnC을 첨가한 경우 기지상내에 마르텐사이트 조직이 감소하고 결정립이 미세화 되었다. FeMnC 첨가량 4wt.% 이상에서는 첨가량 2wt.%에 비해 결정립이 조대화된 것을 볼 수 있다. FeMnC을 첨가하지 않은 시편에서는 그물망의 탄화물이 형성되었으나 FeMnC을 첨가한 시편에서는 탄화물이 연결되지 못하고 끊어지는 현상과 작은 구형의 석출물들이 생성된 것을 볼 수 있다.

FeMnC 첨가에 따른 미세조직의 상분석을 위해 XRD 결과를 Fig. 4에 나타내었다. FeMnC을 2wt.% 첨가함에 따라 오스테나이트 피크가 강해지고 상대적으로 마르텐사이트/페라이트 피크는 사라지는 것을 볼 수 있다. FeMnC 첨가에 따른 탄화물의 피크에는 큰 영향이 없었으며 WC 탄화물은 생성되지 않고 W<sub>6</sub>C 탄화물이 형성된 것을 알 수 있다. FeMnC 첨가에 따라 brittle한 마르텐사이트 기지상이 줄어들고 오스테나이트화가 되었음에도 불구하고 내마모성은 오히려 17% 감소되는 결과를 보였다. 따라서 미세조직은 마모특성을 결정하기에 부적합한 방법임을 알려주며 다른 인자에 의해 abrasion마모 특성이 변화된 것으로 생각된다.

3.1.4. 마모거동과 탄화물 함량의 관계

탄화물의 부피분율은 재료의 경도와는 별도로 재료의 내마모성에 영향을 미치는 인자로 알려져 있다.<sup>10)</sup> FeMnC을 첨가함에 따른 탄화물 형성량을 확인하기 위하여 SEM

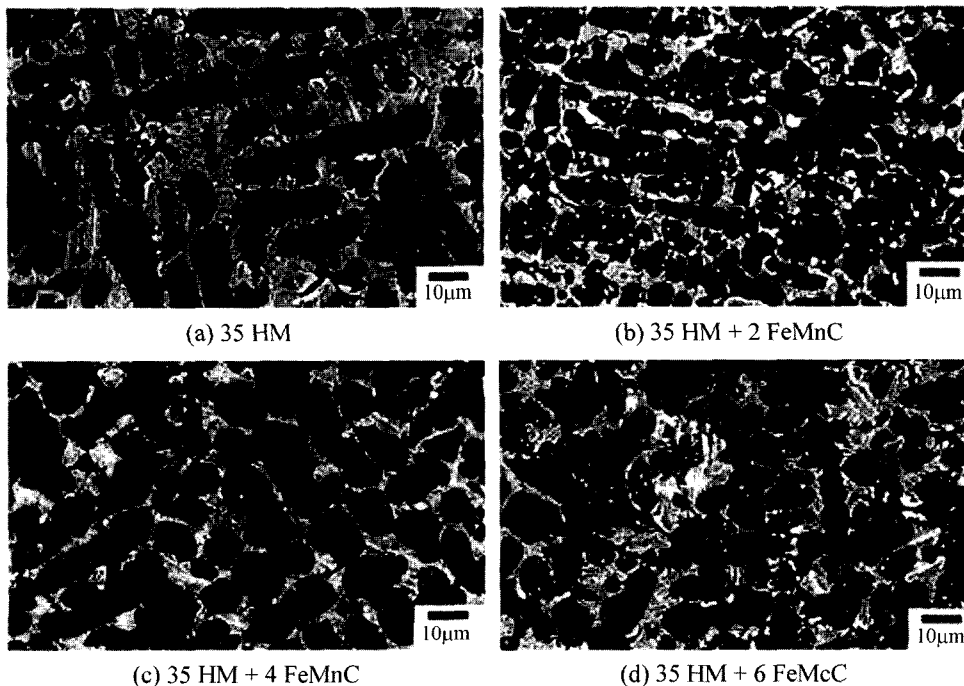


Fig. 3. Microstructural behavior as a function of the FeMnC content added to the 35wt.% hard metal.

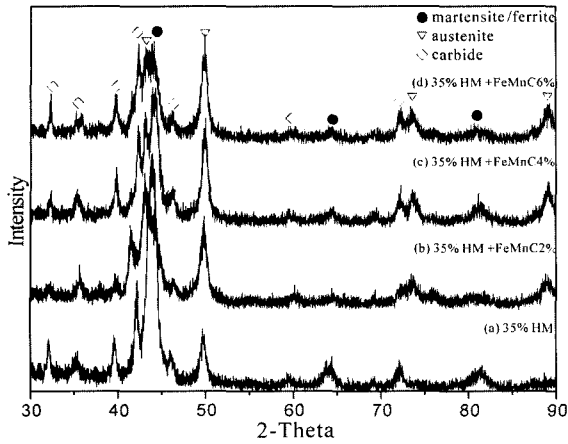


Fig. 4. Phase analysis for the 35wt.%HM(hard metal)+FeMnC specimens.

조직사진(Fig. 3)에서 탄화물의 부피분율을 측정하였고 이 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 35wt.% HM 분말에 FeMnC 2wt.%를 첨가하면 탄화물 형성량이 17.4 vol.%로 FeMnC를 첨가하지 않은 경우의 17.6 vol.%와 거의 비슷한 탄화물 형성량을 보였다. FeMnC 첨가량 4wt.%와 6wt.%에서는 탄화물 형성량이 각각 12 vol.%와 11.5 vol.%로 FeMnC를 첨가하지 않은 경우에 비해 35% 감소된 것을 알 수 있다. 따라서 FeMnC를 첨가함에 따른 탄화물 형성량의 감소현상이 내마모성의 저하에 기여한 것으로 생각된다. 이 결과는 본 저자들의 지난 실험결과<sup>4)</sup>를 다시 입증하는 것이다.

탄화물이 재료의 마모기구에 미치는 영향을 알아보기 위해서 마모시험 후 시편표면에서의 SEM 사진을 Fig. 6에 나타내었다. FeMnC를 0-6wt.%까지 첨가한 경우 모두 굽힘에 의해 탄화물과 기지상이 관통된 것을 볼 수

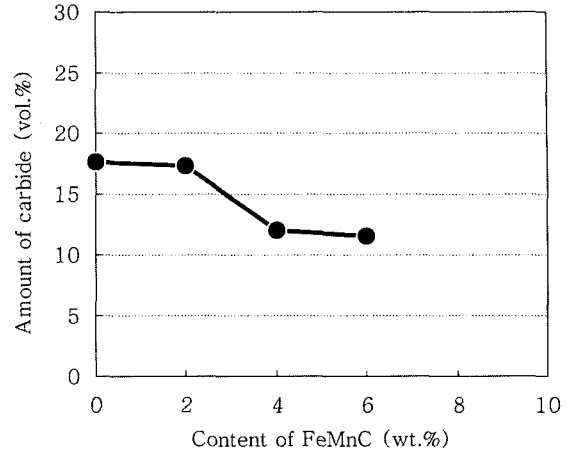


Fig. 5. Amount of the carbide as a function of the FeMnC content added to the 35wt.% hard metal.

있다. 따라서 오스테나이트와 마르텐사이트가 공존하는 기지상을 갖는 35wt.% HM 분말에 추가로 FeMnC를 6wt.%까지 첨가했을 경우 기지상의 오스테나이트화는 가능하였으나 FeMnC를 첨가하지 않은 경우에 비해 탄화물 형성량이 35% 감소하여 내마모성이 17% 저하되었음을 알 수 있다.

### 3.2. 25wt.%HM+FeMnC 시편의 abrasion 마모특성

3.2.1. FeMnC 첨가량에 따른 abrasion마모거동과 경도 마르텐사이트 기지상을 갖는 25wt.% HM 충전분말에 추가하여 FeMnC를 2-8wt.% 첨가한 코어드와이어의 육성용접부에 대한 abrasion마모 실험결과를 Fig. 7에 나타내었다. 8wt.%까지의 FeMnC 합금원소 첨가는 육성용접부의 마모 특성에 큰 영향을 주지 않는 것을 알 수

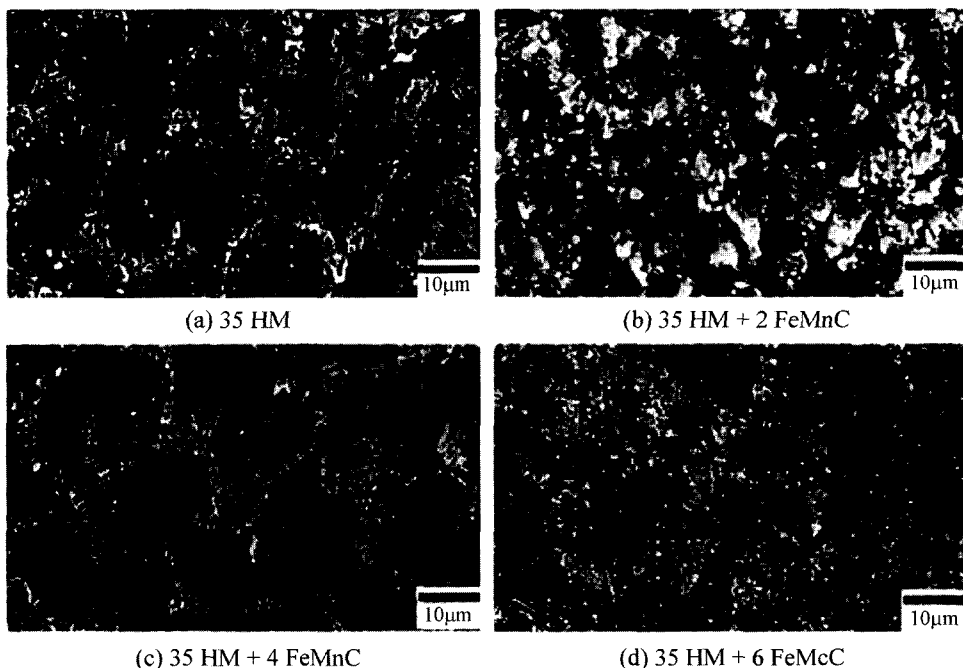


Fig. 6. Microstructural behavior on the worn surface as a function of the FeMnC content added to the 35% hard metal.

있다. 25wt.% HM 분말에 FeMnC를 첨가함에 따른 마모손실량과 경도의 관계를 비교 분석하기 위해서 육성용접부 표면에서의 경도측정값을 Fig. 7에 포함시켰다. 2-6wt.%의 FeMnC를 첨가함에 따라 경도는 50% 감소하였고 6wt.% 이상 첨가했을 경우 더 이상 FeMnC 첨가로 인한 큰 경도변화는 없었다.

경도변화와 abrasion 마모량을 비교해 보면 FeMnC를 8wt.%까지 첨가하였을 경우 경도가 50% 낮아졌지만 내마모성에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 25wt.% HM 충전 분말에 FeMnC를 첨가한 경우 경도는 abrasion 마모 특성을 평가하는 데에 부적합한 방법임을 알려주며 경도가 아닌 다른 원인에 의해 마모특성이 변화된 것으로 생각된다. 이는 3.1.2절에서 보여준 분석결과와 일치하는 것이다.

3.2.2. 미세조직과 탄화물 함량에 따른 마모거동

FeMnC 첨가에 따른 육성용접부의 미세조직 변화에 의한 abrasion마모 거동을 조사하였다. 25wt.% HM 충전 분말의 마르텐사이트 기지조직은 FeMnC를 2wt.% 첨가하면 결정립이 미세화되었다. 첨가량 6wt.% 이상에서 마르텐사이트 조직이 관찰되지 않았고 결정립이 조대화되었다. 미세조직의 상분석을 위해 XRD 결과를 Fig. 8에 나타내었다. FeMnC 첨가량 4wt.%까지는 마르텐사이트 혹은 페라이트(ferrite) 피크가 감소하면서 오스테나이트 피크가 증가했다. 첨가량 6wt.% 이상에서는 기지상의 오스테나이트화가 이루어진 것을 볼 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8에서 보듯이 FeMnC를 첨가했을 경우 경도가 감소하는 것은 고경도의 마르텐사이트가 감소하고 오스테나이트가 형성된 것에 기인한 것으로 조사되었다. FeMnC 첨가량 8wt.%에서 탄화물의 피크가 증가하였으나 WC 탄화물이 아닌 W<sub>6</sub>C 탄화물이 형성된 것을 알 수 있다. 이와 같이 미세조직의 변화에는 무관하게 abrasion 마모손실량에 대한 FeMnC 첨가의 영향은 거의 없었기 때문에 미세조직의 변화가 아닌 다른 원인에 의해 마모특성이 결정되는 것으로 생각된다.

3.2.3. 마모거동과 탄화물 함량의 관계

FeMnC를 첨가함에 따라 형성되는 탄화물의 형성량을 조사하기 위해서 SEM 조직사진에서 탄화물의 부피분율을 측정하였고 이 결과를 Fig. 9에 나타내었다. FeMnC 2wt.%를 첨가한 경우를 제외하고는 탄화물 형성량은 FeMnC 첨가에 따라 큰 영향을 받지 않았음을 알 수 있다. Fig. 7과 9를 비교해보면 FeMnC를 2wt.% 첨가한 경우 탄화물 형성량이 증가하여 마모특성도 향상되었다는 설명이 가능하겠지만 FeMnC 첨가량 0-8wt.%에서의 전체적인 경향을 보았을 때 탄화물 형성량이 6-9 vol.% 정도의 낮은 부피분율을 유지하고 있어서 abrasion 마모손실량도 역시 FeMnC 첨가에 따른 영향을 크게 받지 않았음을 알 수 있다. 결론적으로 25wt.% HM+FeMnC 육성용접부와 35wt.% HM+FeMnC 육성용접부에서, 즉 기지상의 오스테나이트화와 상관없이 abrasion 마모특성은 향상되지 않은 것으로 생각된다.

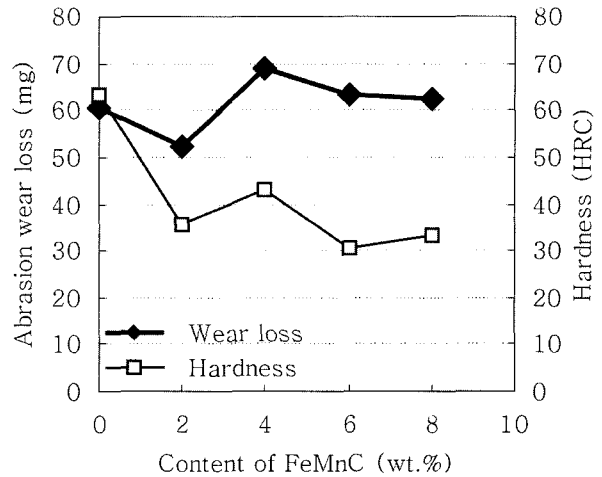


Fig. 7. Effects of FeMnC addition to the 25wt.% hard metal on the abrasion wear loss and hardness.

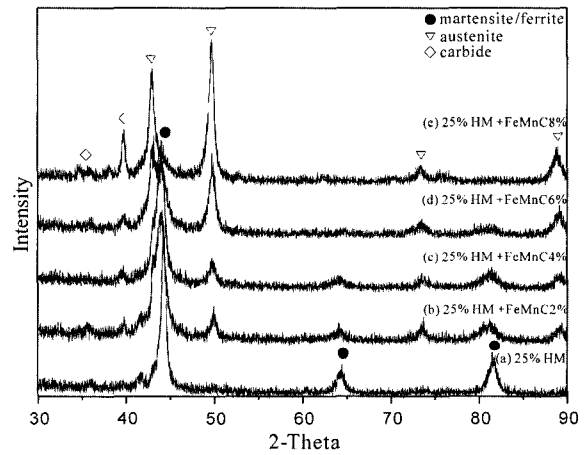


Fig. 8. Phase analysis for the 25wt.%HM(hard metal)+FeMnC specimens.

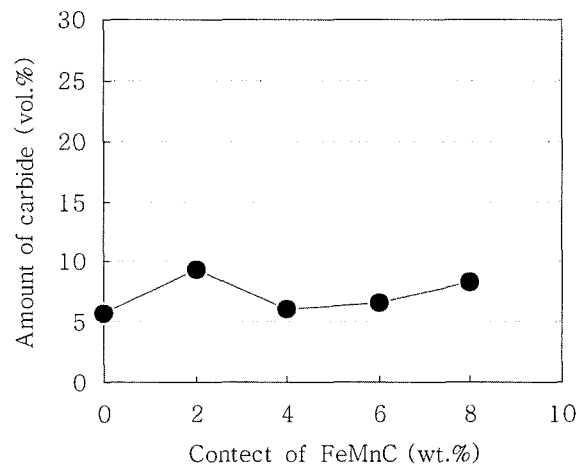


Fig. 9. Amount of the carbide as a function of the FeMnC content added to the 25wt.% hard metal.

3.3. FeMnC 첨가에 따른 충격마모 특성

앞절 3.1과 3.2에서 보았듯이 초경합금 분말에 FeMnC

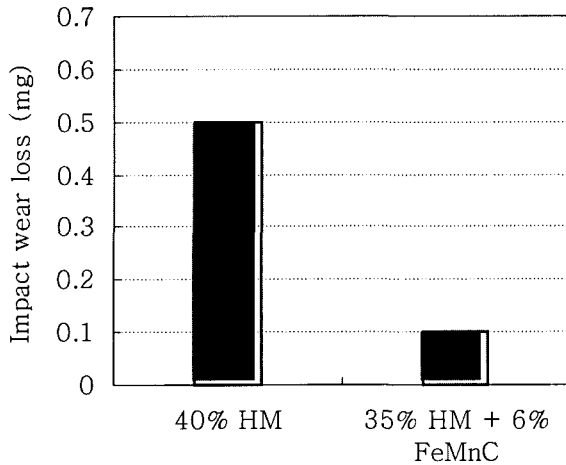
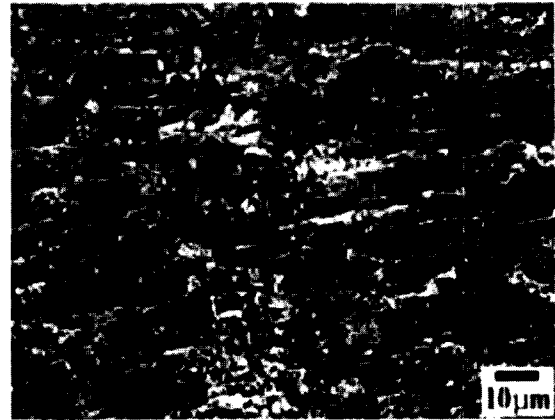


Fig. 10. Impact wear loss for the 40wt.%HM(hard metal) specimen and the 35wt.%HM+FeMnC specimen.

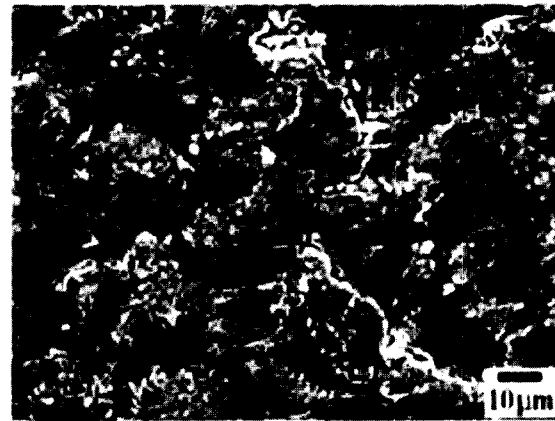
을 첨가하였을 경우 abrasion 마모특성의 증가는 없었지만 기지상의 오스테나이트화에 따라 충격특성의 향상 효과는 기대할 수 있다. 하드페이싱 용접재료의 경우 재료의 내충격성은 의미를 갖지 못하고<sup>7)</sup> 반복적인 충격에 대한 마모특성이 평가될 필요가 있어 본 연구는 FeMnC 첨가 시편에서의 충격마모 특성 변화를 조사하였다.

FeMnC의 첨가에 따른 충격마모 특성을 조사하기 위해서 40wt.% HM과 35wt.% HM 분말에 추가하여 FeMnC를 6wt.% 첨가한 시편에서의 충격마모 실험결과를 Fig. 10에 나타내었다. 두 시편에서의 합금분말 총량은 각각 40wt.%와 41wt.%로 거의 비슷하였다. 35wt.% HM 분말에 6wt.%의 FeMnC를 추가로 첨가한 경우 충격마모량이 0.1 mg으로 순수 40wt.% HM 충전분말의 0.5 mg에 비해 충격마모량이 감소하였다. 충격시험 후의 시편표면의 SEM 조직사진을 Fig. 11에 나타내었다. Abrasion 마모 특성에 기여했던 탄화물이 충격마모시험에서는 충격에 견디지 못하고 손상된 것을 볼 수 있다. 그러나 기지조직을 살펴보면 HM 충진을 40wt.% 시편에서는 다소 손상된 것에 비해 FeMnC를 첨가한 경우에는 기지에서 충격에 의한 손상이 거의 관찰되지 않았다. 즉, FeMnC를 첨가함으로써 인해 오스테나이트 기지의 인성이 증가하여 충격마모에 대한 저항성이 향상된 것을 알 수 있다.

충격마모 뿐만 아니라 전반적인 특성을 비교하기 위해서 위의 두 시편들과 함께 35wt.% HM 충전분말에서의 abrasion 마모손실량과 경도값을 Fig. 12에 나타내었다. FeMnC 6wt.% 첨가에 따라 abrasion 마모손실량은 47.3 mg으로 순수 35wt.%와 40wt.% HM 충전분말의 40.2과 34.9 mg에 비해 저하된 abrasion 마모특성을 나타내었다. 경도는 FeMnC의 첨가에 상관없이 거의 비슷한 경도값을 보였다. Fig. 10과 12를 종합하면 abrasion마모와 충격마모가 동시에 발생하는 환경에서는 Mn과 C의 첨가로 인하여 기지상의 인성이 증가하기 때문에, 35wt.% HM 충전분말에 FeMnC 6wt.%를 추가로 첨가한 조성이



(a) 40 HM



(b) 35 HM + 6 FeMnC

Fig. 11. Worn surfaces for the 40%wt.HM(hard metal) specimen and the 35%wt.HM+FeMnC specimen.

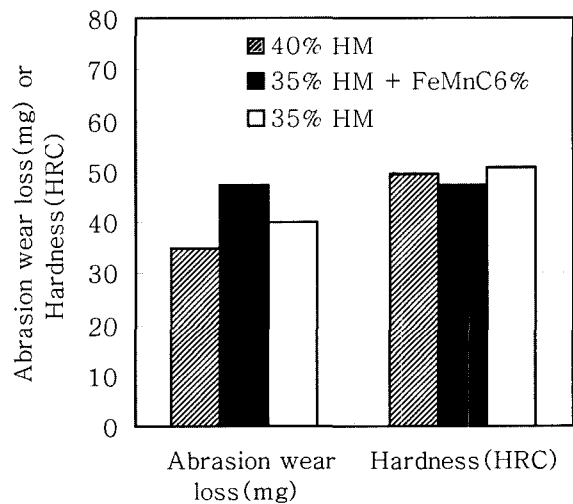


Fig. 12. Abrasion wear loss and hardness for the 35wt.%HM(hard metal), 40wt.%HM, and 35wt.%HM+6wt.% FeMnC specimens.

순수 40wt.% HM을 사용한 경우보다 적합한 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

재생 WC 분산형 초경합금과 Fe-75Mn-7C을 혼합 사용한 하드페이싱 용접재료에서의 abrasion·충격 마모특성에 대해 연구하였다. 마르텐사이트/페라이트 기지상을 갖는 25wt.% 초경합금(HM) 충전분말에 추가로 FeMnC를 6wt.% 이상 첨가했을 경우 기지상의 오스테나이트화가 가능하였다. 그러나 25wt.% HM 충전분말에 추가로 FeMnC 8wt.% 까지 첨가한 경우 탄화물 형성량은 6-9vol.% 정도의 낮은 부피분율을 유지하였기 때문에 FeMnC 첨가에 따른 abrasion 마모손실량의 변화는 크지 않은 것으로 판단된다.

오스테나이트와 마르텐사이트가 공존하는 기지상을 갖는 35wt.% HM 분말에 추가로 FeMnC를 6wt.%까지 첨가했을 경우 기지상은 brittle한 마르텐사이트가 사라지는 동시에 인성이 우수한 오스테나이트상으로 구성되었으나 FeMnC를 첨가하지 않은 경우에 비해 탄화물 형성량이 35% 감소하여 abrasion 마모특성이 17% 저하되었다. 그러나 FeMnC를 6wt.% 첨가한 35wt.% HM의 경우 충격 마모량이 0.1 mg으로 비슷한 총 합금량을 가지는 40wt.% HM 분말의 0.5 mg에 비해 충격 내마모성이 향상되었다.

본 연구에서는 탄화물 형성량 증가와 기지의 완전 오스테나이트화를 동시에 만족하는 최적의 합금조성을 구할 수는 없었지만 abrasion·충격 마모가 동시에 발생하는 환경에서는 FeMnC의 첨가가 도움이 됨을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2002년도 부품소재종합기술지원사업을 통하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Materials and Applications part 2, Welding Handbook-8th edition, vol. 4, AWS, 392-394 (1998).
2. K. C. Antony, Journal of Metal, **35**(2), 52-60 (1983).
3. H. Ocken, Nuclear Technology, **68**, 18 (1985).
4. N. Kang, H. Chae, J. Kim, J. Choi and J. Kim, Korean Journal of Materials Research (submitted at Oct. 2003).
5. J. Kim, H. Chae, and J. Kim, Final Report to Korea Institute of Industrial Technology "Development of hardfacing cored welding wire by using recycled hard metal" (2002).
6. E. K. Ohriner, T. Wada, E. P. Whelan and H. Ocken, Metallurgical Transactions A, **22A**, 983-991, 1991.
7. P. A. Engel, Impact wear of materials, 1978.
8. J. Rawers, D. Govier and D. Cook, Scripta Metallurgica et Materialia, **32**(9), 1319-1324 (1995).
9. J. Kim, G. Kim and S. Kim, Journal of Nuclear Materials, **289**(3), 263-269 (2001).
10. D. J. Kotecki and J. S. Ogborn, Welding Journal, **74**(8), 269s-278s (1995).