

Fe-20Cr-1C-1Si 경면처리 합금의 고온 Sliding 마모거동에 미치는 Mn의 영향

김근모 · 김준기 · 양영석* · 강성군 · 김선진

한양대학교 재료공학과

*우석대학교 화학공학과

The Effect of Mn on the Elevated Temperature Sliding Wear Behavior of Fe-20Cr-1C-1Si Hardfacing Alloy

Geun-mo Kim, Jun-ki Kim, Yeong-seok Yang*, Sung-goon Kang and Seon-jin Kim

Dept. of Materials Engineering, Hanyang University

*Dept. of Chemical Engineering, Woosuk University

(1999년 6월 22일 받음, 1999년 8월 13일 최종수정본 받음)

초 록 Fe계 합금의 적층결합에너지를 감소시키는 것으로 알려진 Mn이 Fe-20Cr-1C-Si 경면처리 합금의 변형유기 상변태 거동과 상온 및 고온 마모저항성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 15ksi의 접촉응력에 대하여 0~25wt.% Mn을 첨가한 시편은 모두 상온에서 마모손실량이 적은 우수한 마모저항성을 보였는데 Mn 첨가량이 5wt.% 이하인 시편의 경우 마모표면에서 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 발생한 반면 15wt.% 이상 Mn을 첨가한 시편에서는 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 발생하는 것으로 나타났다. 250°C까지 고온 마모시험결과 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 발생한 5wt.% 이하 Mn 첨가시편은 Mn 첨가량이 증가할수록 마모손실량이 증가하는 것으로 보아 Mn 첨가는 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태에 있어서 고온 마모저항성을 저하시키는 것으로 생각되며 이는 Mn이 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태의 M_s 온도를 감소시키기 때문으로 생각된다. 반면에 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 일어난 15wt.% 이상 Mn 첨가 시편의 경우 Mn 첨가량 증가에 따른 고온 마모손실량의 차이가 거의 없는 것으로 보아 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태는 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태에 비해 온도의존성이 적은 것으로 생각된다.

Abstract The effect of Mn on the strain-induced phase transformation and the sliding wear resistance of Fe-20Cr-1C-1Si hardfacing alloy was investigated for the Mn contents of up to 25wt.% in the temperature range from room temperature to 250°C. All specimens containing 0~25wt.% Mn showed a good wear resistance at room temperature with the occurrence of strain-induced phase transformation. The α' martensite was formed in specimens containing less than 5wt.% Mn while ϵ martensite was formed in specimens containing more than 15wt.% Mn. For the specimens containing less than 5wt.% Mn, it was considered from sliding wear tests at elevated temperature of up to 250°C that the addition of Mn decreased the elevated temperature wear resistance by decreasing the M_s temperature of $\gamma \rightarrow \alpha'$ strain-induced phase transformation. For the specimens containing more than 15wt.% Mn, the Mn contents up to 25wt.% did not affect the elevated temperature wear resistance. Therefore, it was considered that the $\gamma \rightarrow \epsilon$ strain-induced phase transformation is more beneficial to the elevated temperature wear resistance rather than $\gamma \rightarrow \alpha'$ strain-induced phase transformation.

1. 서 론

원자력발전소 1차계통내 밸브는 90~343°C의 고온과 5~30ksi의 높은 접촉응력이 가해지는 극심한 sliding 마모 환경에서 사용되므로 우수한 내마모 재료인 Co계 Stellite 합금으로 경면처리하여 사용되어 왔다. 그러나 Stellite 합금의 마모와 부식으로 떨어져 나온 Co가 원자력발전소 1차계통의 방사선장을 형성하는 주요 요인으로 밝혀지면서 Co를 함유하지 않은 대체합금으로서 Fe계 경면처리 합금을 개발하려는 연구가 진행되고 있다.^{1~4)}

Fe계 경면처리 합금이 Stellite를 대체하기 위해서는 Stellite와 동등하거나 그 이상의 우수한 마모저항성이 요구

되고 있으며 이중 가장 얻기 어려운 특성은 높은 접촉응력에서 발생하는 galling에 대한 저항성인 것으로 알려져 있다.³⁾ Galling은 높은 접촉응력의 마찰조건에서 발생하는 극심한 응착마모로 미세요철간의 접촉으로부터 거시적인 파괴와 소성변형이 발생하여 마모표면에서 물질의 이동현상(material transfer)이 육안으로도 관찰되는 극심한 마모형태로 정의되고 있다.^{5,6)}

우수한 내마모성을 갖는 Fe계 합금의 경우 합금원소를 첨가하여 적층결합에너지를 낮추거나 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태(strain-induced phase transformation)를 이용하는 방법이 고려되고 있다.^{7,8)} 낮은 적층결합에너지는 전위의 교차슬립을 어렵게 하여 소성변형을 억제함으로써 내마모

성을 향상시키는 것으로 알려져 있다.^{7~9)} 변형유기 상변태는 적층결합에너지가 매우 낮은 경우에 발생하는 현상으로 마모표면에 경도가 높은 마르텐사이트를 생성함으로써 마모표면을 크게 경화시키고 미세요철 (asperity) 간의 접촉시 소성변형보다는 파괴를 촉진함으로써 마모저항성, 특히 galling 저항성을 향상시키는 것으로 알려져 있다.^{10~12)}

Olson과 Cohen에 의하면¹¹⁾ 변형유기 상변태에 의한 α' 마르텐사이트의 생성량은 온도가 증가함에 따라 적층결합 에너지의 증가로 인해 적층결합의 수와 적층결합간의 교차 확률이 감소하여 M_s 온도 근처에서 급격히 감소하는 것으로 알려져 있다. 한편 Fe계 합금에서 변형유기 상변태에 의해 생성되는 마르텐사이트는 적층결합의 교차점으로부터 생성되는 bct 구조의 α' 마르텐사이트외에도 적층결합 자체로부터 생성되는 hcp 구조의 ϵ 마르텐사이트가 있는 것으로 알려져 있다.^{10~12)} ϵ 마르텐사이트는 적층결합 자체로부터 생성되기 때문에 온도증가에 따른 생성량의 감소가 α' 마르텐사이트에 비해 적을 것으로 예상되며 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태를 내마모성 향상에 이용하는 경우 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태에 비해 우수한 고온 마모저항성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. $\gamma \rightarrow \alpha'$ 과 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 온도에 따른 마모저항성에 미치는 영향에 대해서는 아직 보고된 바가 없는 상태이다. 따라서 본 연구에서는 Fe계 합금의 적층결합에너지를 낮추면서 ϵ 마르텐사이트의 생성을 촉진하는 것으로 알려진^{13,14)} Mn의 첨가에 따른 Fe-20Cr-1C-1Si 경면처리 합금의 변형유기 상변태 거동과 이들 합금의 고온 마모저항성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

시편제작

Fe-20Cr-1C-1Si 경면처리 합금의 sliding 마모저항성에 미치는 Mn 첨가의 영향을 조사하기 위해 Mn 첨가량을 0, 5, 10, 15, 20, 25wt.%로 변화시킨 Fe-20Cr-1C-1Si-xMn 조성의 시편을 아크용융방법으로 제조하였다. 아크용융시 균일한 화학조성을 얻기 위해 10회 이상 재용융하였으며 제조된 시편의 화학조성을 ICP로 분석하여 표 1에 나타내었다. 마모시편은 그림 1-(a)에 나타난 $\phi 6\text{mm} \times 5\text{mm}$ 의 운동시편과 $36 \times 12 \times 5\text{mm}$ 의 고정시편으로 제작하였다. 마모시험전 시편의 표면은 #2000 SiC 연마지를 사용하여 표면조도 Ra가 0.02 μm 가 되도록 최종 연마하였다.

Sliding 마모시험

Sliding 마모시험은 Plint & Partners사의 마모시험기를 사용하여 block-on-block 방식으로 수행하였으며 마찰부분의 개략도를 그림 1-(b)에 나타내었다. Sliding 마모시험시 운동시편의 왕복거리는 9mm였으며 왕복속도는 10cycles/min로 하였다. 온도증가에 따른 마모거동의 변화를 조사하기 위해 상온에서 250 $^{\circ}\text{C}$ 까지 시험온도를 변화시켜 100cycles동안 sliding 마모시험을 수행하였다. 이때 접촉응력은 대기중에서 15ksi조건으로 하였다. 시편의 마모손실량은 마모시험후 고정시편과 운동시편의 무게손실량의 합으로 나타내었으며 2회 이상의 마모시험을 통한 마모손실량의 측정오차는 $\pm 1\text{mg}$ 이내였다.

Table 1. Chemical compositions of specimens (wt.%)

Element \ Specimen	Fe	Cr	C	Si	Mn	P	S
Fe-20Cr-1C-1Si	Mbal.	19.95	1.004	0.998	-	0.007	0.007
Fe-20Cr-1C-1Si-5Mn	bal.	19.71	0.991	0.986	4.928	0.007	0.009
Fe-20Cr-1C-1Si-10Mn	bal.	19.47	0.979	0.974	9.735	0.007	0.011
Fe-20Cr-1C-1Si-15Mn	bal.	19.23	0.968	0.962	14.43	0.007	0.013
Fe-20Cr-1C-1Si-20Mn	bal.	19.01	0.956	0.950	19.01	0.006	0.014
Fe-20Cr-1C-1Si-25Mn	bal.	18.87	0.945	0.940	23.48	0.006	0.016

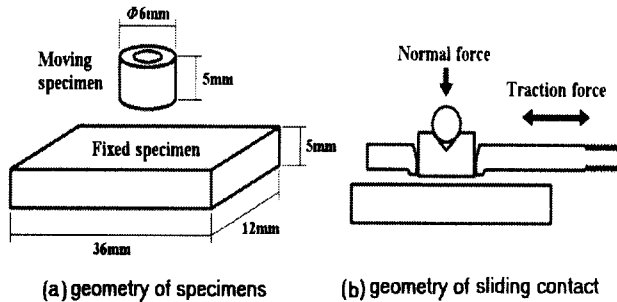


Fig. 1. Geometry of sliding test specimens.

마모거동 분석

Mn 첨가량과 온도증가에 따른 마모거동변화를 조사하기 위해 100cycles 마모시험후 마모표면을 광학현미경과 SEM으로 관찰하였다. 마모저항성에 영향을 미치는 주요 요인 가공경화율을 조사하기 위해 microvickers 경도기를 이용하여 마모표면으로부터 깊이에 따른 기지상의 경도변화를 측정하였다. Sliding 마모시험후 변형유기 상변태에 의한 표면에서의 상변화를 조사하기 위해 sliding 마모시험후 마모표면을 X-선 회절분석하여 표면을 전해연마한 마모시험전 시편과 비교하였다. 시편의 전해연마에 사용된 전해액은 메틸알코올, 10% HCl, 5g picric acid였으며 2V

의 전압을 가해주었다.

3. 결과 및 고찰

미세조직

Fe-20Cr-1C-1Si-xMn (x=0, 5, 10, 15, 20, 25wt.%)

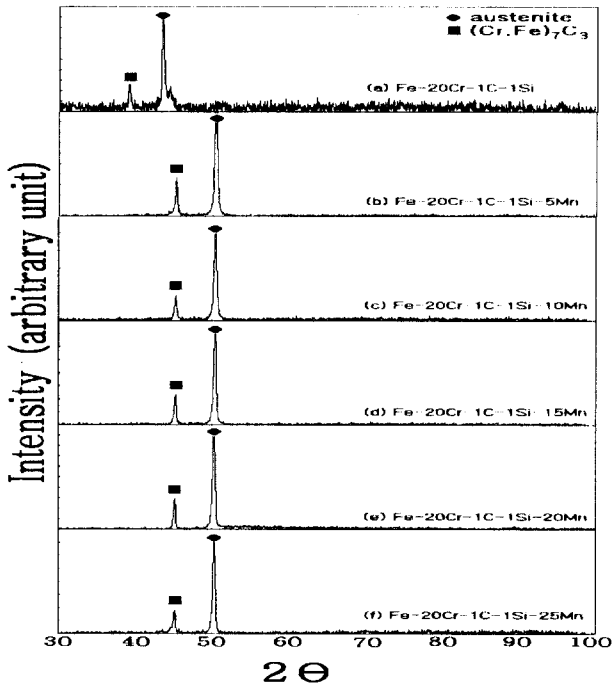


Fig. 2. XRD patterns from surface of the specimens with different Mn contents before wear test.

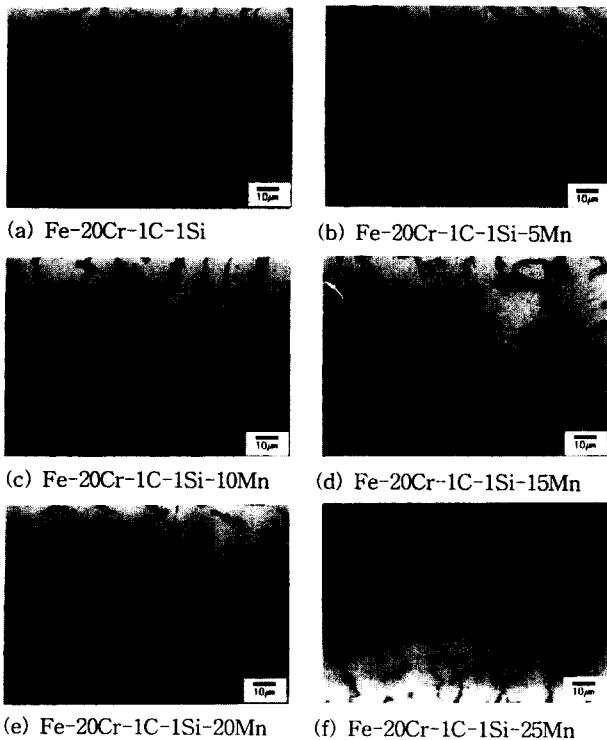


Fig. 3. Optical microstructure of specimens with different Mn content.

조성의 시편에 대해서 전해연마한 시편의 표면 X-선 회절 분석결과와 광학현미경 미세조직을 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 그림 2에 나타낸 X-선 회절분석결과에서 Mn 첨가량에 관계없이 시편은 모두 오스테나이트 기지상과 Cr₇C₃ 형태의 탄화물로 이루어진 것을 알 수 있다. 그림 3의 광학현미경 미세조직에서 보면 수지상의 오스테나이트 기지상과 Cr₇C₃ 공정 탄화물을 확인할 수 있다. 이는 전형적인 아공정 Fe-Cr-C-Si계 합금의 미세조직으로 초정 오스테나이트(primary austenite)가 생성된 후에 오스테나이트와 Cr₇C₃계 탄화물의 공정조직이 생성되는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾

탄화물의 경도와 부피분율은 재료의 내마모성에 영향을 미치는 주요요인 중의 하나로 알려져 있다. 탄화물의 경도는 연삭마모(abrasion) 저항성에 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며 탄화물의 부피분율은 응착마모(adhesion) 저항성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ Fe계 합금이 최적의 내마모성을 보이는 탄화물의 부피분율은 약 25% 내외로 보고되고 있으며⁹⁾ 본 시험시편의 경우 Mn 첨가량에 관계없이 탄화물의 부피분율은 23~25%를 유지하는 것으로 보아 마모거동에 미치는 탄화물의 영향은 Mn 첨가량에 관계없이 일정할 것으로 생각된다.

상온 마모거동

Fe-20Cr-1C-1Si-xMn(x=0, 5, 10, 15, 20, 25wt.%) 시편에 대해 15ksi의 접촉응력으로 100cycles sliding 마모시험후 Mn 첨가량과 온도변화에 따른 마모손실량의 변화결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 상온 마모시험 후 시편의 마모손실량을 보면 Mn을 첨가하지 않은 시편에서 25wt.% Mn을 첨가한 시편까지 모두 0.3mg 이하의 매우 적은 마모손실량을 보이는 우수한 마모저항성을 나타내었다.

상온 마모시험후 마모표면으로부터 측정된 X-선 회절분석결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5-(a), (b), (c)에 나타낸 Mn을 첨가하지 않은 시편과 5, 10wt.% Mn을 첨가한 시편의 경우 마모시험전 관찰되지 않았던 α' 마르텐사이트가 관찰되는 것으로 보아 γ→α' 변형유기 상변태가 발

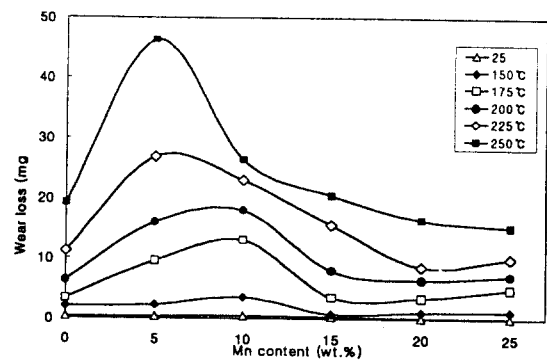


Fig. 4. Weight loss as function of Mn content at various test temperature under the contact stress of 15ksi.

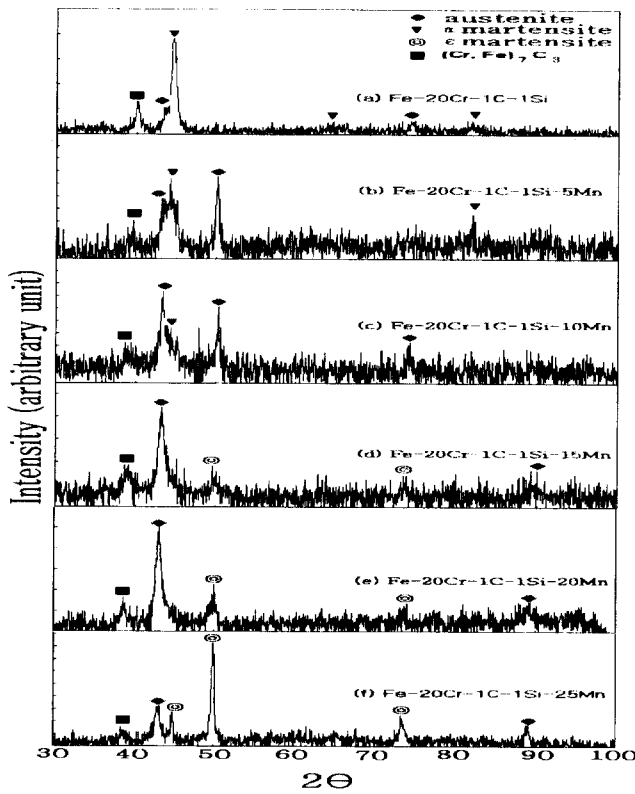


Fig. 5. XRD patterns from worn surface of the specimens after wear test at room temperature under the contact stress of 15ksi.

생한 것을 알 수 있었다. 반면 그림 5-(d), (e), (f)에 나타난 15~25wt.% Mn을 첨가한 시편에서는 α 마르텐사이트는 관찰되지 않고 ε 마르텐사이트가 관찰된 것으로 보아 γ→ε 변형유기 상변태가 발생한 것으로 나타났다. 일반적으로 Mn 첨가는 변형유기 상변태에 의해 α 마르텐사이트보다 ε 마르텐사이트의 생성을 촉진시키는 합금원소로 알려져 있으며^{13,14)} Fe-20Cr-1C-1Si 합금의 경우 15wt.% 이상 Mn 첨가는 상온에서 γ→ε 변형유기 상변태를 일으키는 것으로 생각된다.

상온 마모시험후 γ→α' 과 γ→ε 변형유기 상변태가 발생한 5wt.% Mn 첨가시편과 25wt.% Mn 첨가시편의 마모표면에 대한 SEM 관찰결과를 그림 6에 나타내었다. 이들 시편의 마모표면은 γ→α' 과 γ→ε 변형유기 상변태에 관계없이 모두 연삭마모거동을 보이는 것을 알 수 있다. 연삭마모는 재료의 접촉면에 존재하는 hard한 미세요철에 의해 soft한 재료표면에 microcutting, microploughing 등이 발생하는 마모형태로 이러한 형태의 마모는 마모표면에 scratch를 보이며 마모손실량은 매우 적은 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾

상온 마모시험후 변형유기 상변태에 의해 생성되는 상은 Mn 첨가량이 증가함에 따라 α' 마르텐사이트에서 ε 마르텐사이트로 변화하였으나 모든 시편이 연삭마모거동을 보이고 0.3mg 이하의 적은 마모손실량을 나타내는 것으로 보아 γ→α' 와 γ→ε 변형유기 상변태는 모두 상온에서 우수한 마

모저항성을 보이는 데에 기여하는 것으로 생각된다.

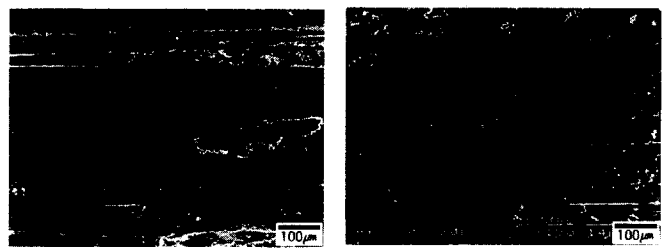
γ→α' 변형유기 상변태 시편의 고온 마모거동

Fe-20Cr-1C-1Si-xMn (x=0, 5, 10, 15, 20, 25wt.%) 시편에 대해 여러 온도조건에서 마모시험후 X-선 회절분석결과로부터 얻은 변형유기 상변태 결과를 표 2에 요약하였다. 5wt.% 이하 Mn을 첨가한 시편의 경우 250℃까지 변형유기 상변태에 의해 α' 마르텐사이트가 생성되는 반면 15wt.% 이상 Mn 첨가시편에서는 ε 마르텐사이트가 생성되었다. 10wt.% Mn 첨가시편의 경우 175℃까지 α' 마르텐사이트가 생성되었으나 200℃ 이상에서는 ε 마르텐사이트가 생성되는 것을 볼 수 있다.

γ→α' 변형유기 상변태가 일어난 5wt.% 이하 Mn 첨가

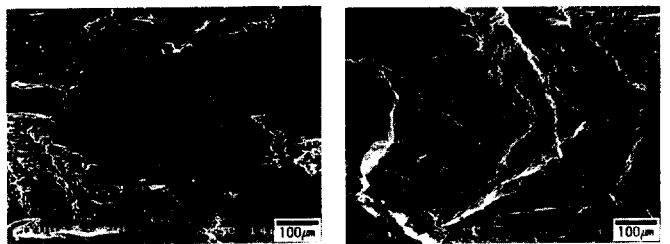
Table 2. The strain-induced phase analyzed from the X-ray diffraction of Fe-20Cr-1C-1Si-xMn alloys after wear test at various test temperature under the contact stress of 15ksi.

Alloys Temp.	0Mn	5Mn	10Mn	15Mn	20Mn	25Mn
	150℃	α'	α'	α'	ε	ε
175℃	α'	α'	α'	ε	ε	ε
200℃	α'	α'	ε	ε	ε	ε
225℃	α'	α'	ε	ε	ε	ε
250℃	α'	α'	ε	ε	ε	ε



(a) Fe-20Cr-1C-1Si-5Mn (b) Fe-20Cr-1C-1Si-25Mn

Fig. 6. SEM micrographs of worn surface after wear test at room temperature under the contact stress of 15ksi.



(a) Fe-20Cr-1C-1Si (b) Fe-20Cr-1C-1Si-5Mn

Fig. 7. SEM micrographs of worn surface after wear test at 250℃ under the contact stress of 15ksi.

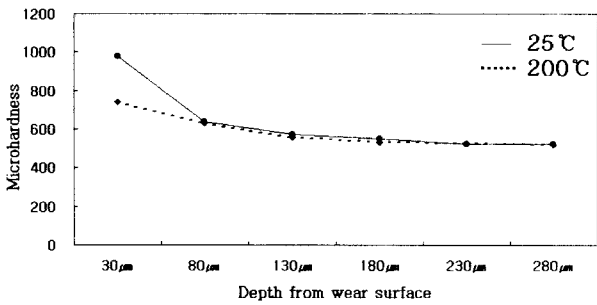


Fig. 8. Microhardness variations beneath the worn surface of Fe-20Cr-1C-1Si-5Mn after wear test at 25°C, 200°C under the contact stress of 15ksi.

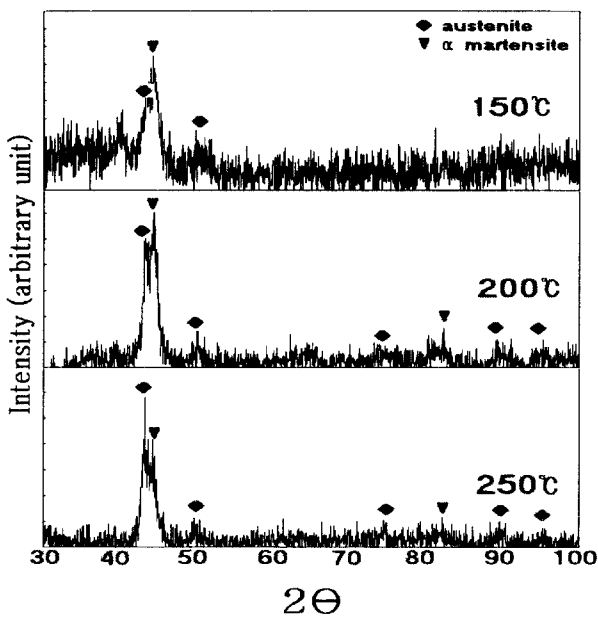


Fig. 9. XRD patterns from worn surface of Fe-20Cr-1C-1Si-5Mn after wear test at 150°C, 200°C, 250°C under the contact stress of 15ksi.

시편의 경우 그림 4에 나타난 바와 같이 Mn을 첨가하지 않은 시편은 250°C 마모시험후 마모손실량이 19.2mg인 반면 5wt.% Mn 첨가시편은 46.3mg의 마모손실량을 보인 것으로 보아 5wt.% Mn을 첨가한 시편의 온도증가에 따른 마모손실량의 증가는 Mn을 첨가하지 않은 시편에 비해 큰 것을 알 수 있다.

250°C 마모시험후 Mn을 첨가하지 않은 시편과 5wt.% Mn 첨가시편의 마모표면 SEM 관찰결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 6에 나타난 바와 같이 상온 마모시험후 시편은 모두 연삭마모거동을 보였으나 그림 7에 나타난 Mn을 첨가하지 않은 시편과 5wt.% Mn을 첨가한 시편은 응착마모거동을 보이는 것을 알 수 있으며 5wt.% Mn 첨가시편의 마모표면은 Mn을 첨가하지 않은 시편에 비해 심한 응착마모거동을 보이는 것을 알 수 있다. 응착마모는 sliding 마모시 미세요철간의 접합으로 소성변형에 의한 재료의 파괴가 일어나는 마모거동으로 일반적으로 연삭마모보다 많은 마모손실량을 보이는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾

상온과 200°C 마모시험후 5wt.% Mn 첨가시편의 마모 표면에서부터 깊이에 따른 미소경도 측정결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 상온 및 200°C 마모시험후 5wt.% Mn 첨가시편의 마모표면은 기지상보다 높은 미소경도를 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 마모표면에서 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 발생하여 표면이 가공경화되었기 때문으로 생각된다. 상온 마모시험후 마모표면의 미소경도는 977HV의 높은 값을 보였으나 200°C로 온도가 증가함에 따라 741HV로 마모표면의 경도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

Olson과 Cohen에 의하면 적층결함의 교차점으로부터 생성되는 α' 마르텐사이트의 경우 온도가 증가함에 따라 적층결함에너지가 증가하여 생성되는 적층결함의 수와 적층결함의 교차확률이 감소하기 때문에 M_s 온도 근처에서 α' 마르텐사이트 생성량이 급격히 감소하는 것으로 보고되고 있다.¹¹⁾ 그림 9에 나타난 5wt.% Mn 첨가시편의 150°C, 200°C, 250°C 마모시험후 마모표면의 x-선 회절분석결과에서 온도가 증가함에 따라 α' 회절강도는 감소하는 반면 γ 회절강도는 상대적으로 증가하는 것으로 보아 변형유기 상변태에 의해 생성되는 α' 마르텐사이트 생성량이 온도가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 온도증가에 따른 변형유기 상변태에 의한 α' 마르텐사이트 생성량의 감소는 마모표면의 가공경화율을 감소시켜 마모손실량의 증가와 연삭마모에서 응착마모로 마모거동의 변화를 보이는 것으로 생각된다. 그림 4에서 Mn을 첨가하지 않은 시편에 비해 5wt.% Mn을 첨가한 시편의 경우 온도증가에 따른 마모손실량이 크게 증가하는 것으로 보아 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태에 있어 Mn 첨가는 M_s 온도를 저하시킴으로써 α' 마르텐사이트의 생성량을 감소시켜 고온 마모저항성을 저하시키는 것으로 생각된다.

$\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태 시편의 고온 마모거동

그림 4에 나타난 바와 같이 마모시험후 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 일어난 15, 20, 25wt.% Mn 첨가시편의 마모손실량은 250°C까지 온도가 증가함에 따라 증가하지만 Mn 첨가량에 따라 큰 차이를 보이지 않는 것을 볼 수 있으며 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 일어난 5wt.% 이하 Mn 첨가시편에 비해 모든 온도에서 적은 마모손실량을 보이는 것을 알 수 있다.

250°C에서 마모시험후 20wt.% Mn 첨가시편과 25wt.% Mn 첨가시편의 마모표면 SEM 관찰결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 일어난 20, 25wt.% Mn 첨가시편의 마모표면은 모두 응착마모거동을 보이지만 Mn 첨가량에 따른 차이는 거의 없으며 그림 7에 나타난 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 일어난 5wt.% 이하 Mn 첨가시편과 같은 심한 응착마모거동은 보이지 않았다.

상온 및 200°C에서 마모시험후 25wt.% Mn 첨가시편의 마모표면에서부터 깊이에 따른 미소경도 측정결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 8에 나타난 5wt.% Mn 첨가시편의 경우와 같이 25wt.% Mn 첨가시편의 마모표면은 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태에 의해 기지상보다 높은 경도를 보이는 것

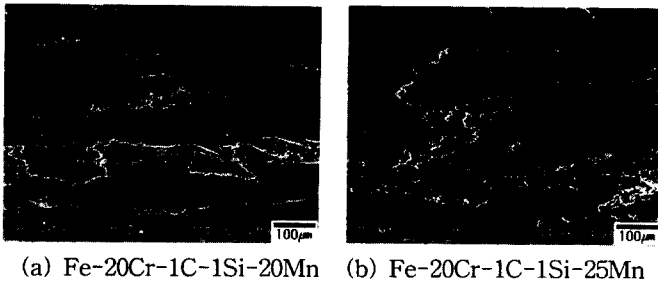


Fig. 10. SEM micrographs of worn surface after wear test at 250°C under the contact stress of 15ksi.

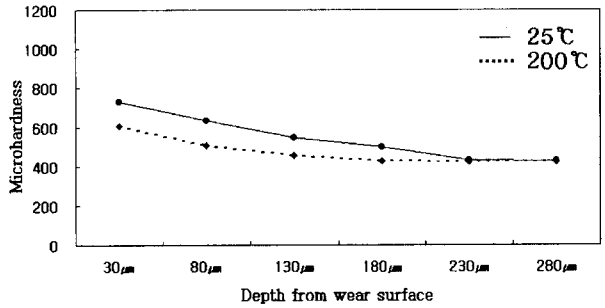


Fig. 11. Microhardness variations beneath the worn surface of Fe-20Cr-1C-1Si-25Mn after wear test at 25°C, 200°C under the contact stress of 15ksi.

을 알 수 있으며 상온에서 200°C로 온도가 증가함에 따라 마모표면의 경도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 일어난 25wt.% Mn 첨가시편은 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 일어난 5wt.% Mn 첨가시편보다 온도 증가에 따른 표면 경도의 감소가 적은 것을 볼 수 있는데 이는 적층결합의 교차점으로부터 생성되는 α' 마르텐사이트와 달리 ϵ 마르텐사이트의 경우 적층결합 자체로부터 생성되기 때문에 온도증가에 따른 생성량의 감소가 크지 않기 때문으로 생각된다.

온도증가에 따른 마모표면에서의 적은 경도 감소는 경화된 표면을 유지함으로써 소성변형을 억제하여 우수한 고온 마모저항성을 보이는 것으로 생각되며 그림 4에서 15wt.% 이상 Mn을 첨가한 시편의 경우 온도증가에 따른 마모손실량의 증가가 크지 않은 것은 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태에 있어 Mn 첨가는 M_s 온도의 저하를 억제하여 고온에서 우수한 마모저항성을 보이는 것으로 생각된다.

4. 결 론

Fe-20Cr-1C-1Si-xMn(x=0, 5, 10, 15, 20, 25wt.%) 합금의 상온 및 250°C까지 마모시험으로부터 얻어진

결과는 다음과 같다.

- 1) Fe-20Cr-1C-1Si 합금에 5wt.% 이하 Mn 첨가시편의 경우 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태가 발생한 반면 15wt.% 이상 Mn 첨가시편은 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태가 발생하였으며 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 와 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태는 모두 상온에서 우수한 마모저항성을 보이는 데에 기여하는 것으로 생각된다.
- 2) $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변형유기 상변태에 있어 Mn 첨가는 M_s 온도를 저하시킴으로써 α' 마르텐사이트의 생성량을 감소시켜 고온 마모저항성을 저하시키는 것으로 생각된다.
- 3) $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변형유기 상변태에 있어 Mn 첨가는 M_s 온도의 저하를 억제하여 고온에서 우수한 마모저항성을 보이는 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 1997년 자유공모과제 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K.C. Antony ; J. of Metals, Feb 1983, p.52.
2. H. Ocken ; Nuclear Tech. **68** (1985) p.18.
3. J. Vikstrom ; Wear **179** (1994) p.143.
4. H. Ocken ; Surface and Coating tech. **76-77** (1995) p.456.
5. K.G. Budinski ; Wear **74** (1981) p.93.
6. P. A. Swanson ; Wear **122** (1988) p.207.
7. H. Ocken ; Metall.Trans. **22A** (1991) P. 983.
8. S. Atamert and J. Stekly ; Surface Eng. **9** (1993) p.231.
9. K.J. Bhansai and A.E. Miller ; Wear **75** (1982) p.241.
10. P.M. Kelly ; Acta Metall. **13** (1965) p.635.
11. G.B. Olson and M. Cohen ; Metall. Trans. **6A** (1975) P.791.
12. J.W. Brooks and R.E. Smallman ; Acta Metall. **27** (1979) p.1839.
13. R.E. Shramm and R.P. Reed ; Metall. Trans. **6A** (1975) P.1345.
14. Y. Tomota and J.W. Morris ; Metall. Trans. **19A** (1988) P.1563.
15. R.E. Stoltz and J.B. Vandersande ; Metall. Trans. **11A** (1980) P.1033.
16. ASM Handbook **18** p.710.