

마르텐사이트계 스테인레스강의 기계적 성질에 미치는 침탄처리의 영향

金仁培* 朴世濶** 李昌昊***

Influence of Carburizing on the Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel.

In Bae KIM* Se Yoon PARK** Chang Ho LEE***

ABSTRACT

Carburizing of a 12%Cr steel containing 0.6%Si was performed at 950°C for various times, and the microstructure, hardness and the wear characteristics of the carburized chromium steel were examined.

The results obtained in this study are as follows:

1. Carbide-dispersed layer (CD layer) with fine dispersion of Cr₇C₃ in martensite matrix was formed by carburizing. The radius and amount of the carbides in the surface region of CD layer were about 0.3μm and 35% by volume, respectively.
2. Chromium steel carburized and quench-tempered showed better wear resistance and hardness than ordinary high chromium tool steel.

It is concluded from these results that fine dispersed carbides are very effective in improving wear resistance and hardness.

1. 서론

일반적으로 강의 침탄은 표면탄소농도가 0.7 -

0.8% 정도가 되도록 한다. 왜냐하면 표면탄소 농도가 0.8% 이상일 경우에는 퀴칭시에 발생하는 잔류 오스테나이트에 의해 표면경도가 감소하고 내마멸성이 감소하기 때문이다.

그러나 V, Ti, Cr 등의 탄화물 형성원소를 포함하고 있는 강을 침탄하면 표면탄소농도가 1% 이상일 경우에도 V₄C₃, TiC, Cr₇C₃ 등과 같은 탄

* 釜山大学校 金属工学科 助教授

** 釜山大学校 金属工学科 教授

*** 釜山大学校 金属工学科 大学院

화물이 형성 됨으로서 강의 표면층이 강화되어 내마멸성, 경도 등의 기계적 성질이 향상된다.^{1,2,3}

이와같이 탄화물을 분산 석출시킴으로서 표면경화 시키는 침탄을 CD침탄(Carbide Dispersion Carburizing)이라 한다. 이와같은 CD침탄에 있어서의 우수한 내마멸성과 경도는 마르텐사이트 기지뿐만 아니라 탄화물 입자에 의한 결과로서 탄화물 입자의 분포상태, 크기 및 석출량 등이 이들 특성에 큰 영향을 미친다.

郝士明 등은³⁾ 0.1, 0.4 및 0.9% Si을 함유하는 12% Cr강의 CD침탄에 대하여 연구한 결과 0.9%Si을 함유하는 강은 균일한 크기의 Cr_7C_3 탄화물 입자가 미세하게 분산된 고경도의 탄화물 분산층이 표면에 형성된다고 보고 하였다. 본 연구에서는郝士明 등의 연구와 관련하여 0.6%Si을 함유하는 12%Cr 마르텐사이트계 스테인레스강을 시료로 하여 950℃에서 2-8시간 침탄시킨 경우의 탄화물 조직을 광학 현미경 및 주사식 전자현미경에 의해서 관찰하고 경도와 내마멸성을 시험한 결과를 아래에 보고한다.

2. 실험 방법

2.1 시편제작

고주파 유도로 (Inductor Therm. 용량30kg) 에서 대기용해한 강괴를 1100℃에서 열간 단조한 후 900℃에서 1시간 어닐링 하고 로냉하여 조직 및 경도 시험용 시편과 마멸시험용 시편을 제작 하였으며 Si의 함량을 0.6%로 조정한 시료의 화학 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen. (w/o)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.17	0.60	0.70	0.021	0.010	0.06	12.05	0.01	0.07

2.2 침탄 및 열처리

기계가공한 각 시편을 표면조도를 일정하게 하기 위하여 연마지로 연마한 후 직경이 2-5mm인 입상 활성탄과 10% Na_2CO_3 를 균일하게 혼합하여 고체 침탄법에 의하여 950℃에서 2-8시간 침탄처리 하였다.

이와같이 침탄처리한 각 시편은 900℃의 아르곤 분위기 중에서 30분간 가열하여 수중 퀘칭한 후 150℃에서 2시간 템퍼링 하여 시험에 사용 하

였다.

본 연구 시료와의 비교재로 사용된 탄소 공구강 STD11과 STS 3의 열처리 조건은 보통 사용되는 열처리 조건으로서 1010℃ 및 780℃에서 각각 30분간 가열한 후 수중 퀘칭하여 150℃에서 2시간 템퍼링 하였다.

2.3 기계적 성질 시험

경도는 미소경도계를 사용하여 200g의 하중으로 표면에서 부터 50 μ m간격으로 측정 하였으며, 마멸시험은 신속 마멸시험기를 사용 하였으며 시편은 Fig. 1과 같은 판상 시편이고 rotar는 1.0% C 공구강인 STS 3을 780℃에서 퀘칭한 후 150℃에서 2시간 템퍼링 하여 사용 하였다. 시험조건은 최종하중 3.2kg, 미끄럼 거리 100m, 미끄럼 속도 0.3-3.0m/sec로 4회씩 시험 하였으며 마멸흔적 폭의 평균치로 부터 마멸량을 구하였다.

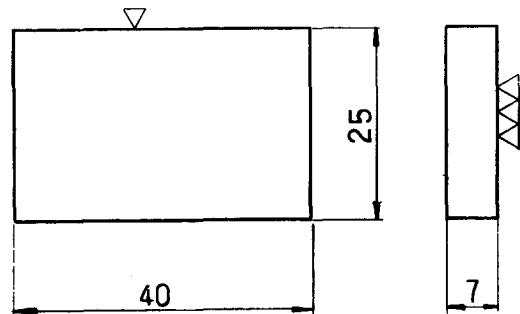


Fig. 1 Dimensions for the wear test specimen.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 CD침탄층의 조직

Photo1은 950℃에서 6시간 침탄시킨 시료의 광학 현미경 조직을 나타낸 것으로서 표면 부근에 흰색으로 보이는 과잉 침탄층이 형성 되었으나 그 내부에는 Cr_7C_3 가 미세하게 분산된 소위 CD침탄층이 형성 되었음을 볼 수 있다.

郝士明 등은 이러한 과잉 침탄층은 $(Fe, Cr)_7C_3$ 로서 Si함량이 0.9%일 경우에는 형성되지 않는다고 하였으며 실제 이들의 연구 결과에 의하면 0.1%Si을 함유하는 경우에는 약 125 μ m, 0.4%Si을 함유하는 경우에는 약 60 μ m 두께의 과잉 침탄층이 형성 되었다. 본 연구의 시료 즉 0.6%

Si을 함유하는 경우에는 약 $25\mu\text{m}$ 정도의 과잉 침탄층이 형성 되었으며 침탄시간을 변화시킨 경우에도 (2-8시간) 이러한 과잉 침탄층이 형성 된 것으로 보아서 과잉 침탄층의 형성은 침탄시간과는 무관하고 Si의 함량에 따라 형성 여부가 결정 된다고 할수 있으며, 과잉 침탄층의 형성을 방지하기 위해서는 Si의 함량이 적어도 0.9% 이상이 되어야 한다고 할 수 있겠다.



Photo 1. Microstructure of carburized (at 950°C for 6h) and quenched 12% Cr steel containing 0.6% Si (x200)

Photo 2는 Photo 1을 고배율로 확대한 주사 현미경 사진으로서 (a)는 과잉 침탄층의 조직이고 (b)는 표면에서 약 $400\mu\text{m}$ 들어간 내부 영역의 조직이다.

Photo 2 (a)에서 보는바와 같이 과잉 침탄층은 다량의 조대한 탄화물로 되어 있음을 알수 있으며, Si함량이 0.6% 이하인 12% Cr강의 침탄층 내부에는 Photo 2 (b)에서 보는바와 같이 탄화물이 오스테나이트 입계를 따라 분포되어 있는 조직이 공통적으로 발견되는 반면에 0.9% 이상일 경우에는 이러한 조직이 발견되지 않는다. 이러한 실험결과는 Si함량이 어느량 (12% Cr강의 경우 0.9%) 이하 일때는 침탄층의 내부에서 탄화물의 입계석출이 일어 난다는 것을 의미한다. 이와같이 Si의 첨가는 과잉 침탄층의 형성을 방지할 뿐만 아니라 침탄층 내부에서 탄화물의 입계석출을 억제 함으로써 탄화물 분포를 분산 시키는 역할을 한다는 것

을 알수 있다. 이러한 원인은 Si이 강의 결정입계에 편석하는 경향을 가지며^{4,5} Si이 비탄화물 형성원소이기 때문에 Cr, C의 입계석출을 저지하기 때문인 것으로 생각된다.

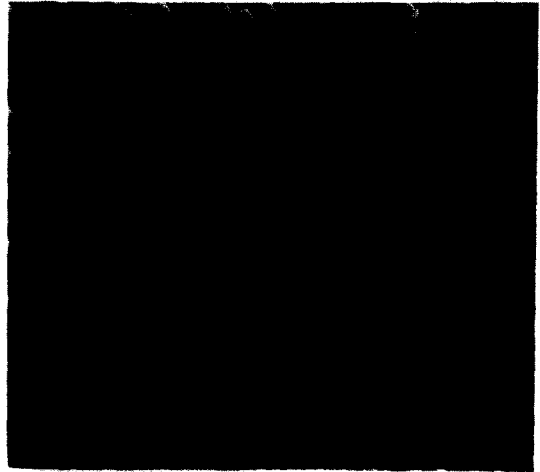


Photo 2. Microstructure of 12%Cr, 0.6% Si steel taken in a higher magnification than Photo 1.

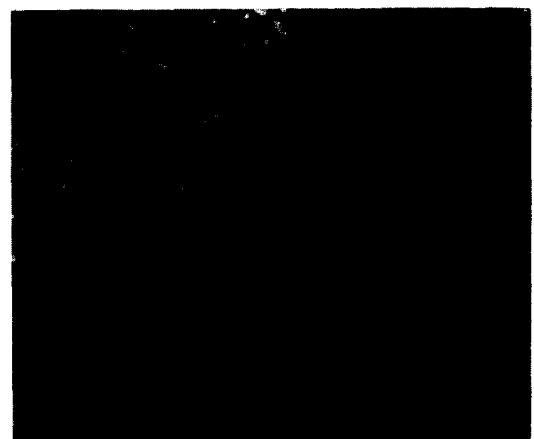
- (a) The outer layer with massive carbides and
- (b) the intermediate layer with carbides precipitated along the prior austenite grain boundaries. (x1500)

Photo3는 본 연구의 시료인 12% Cr, 0.6% Si 강의 CD침탄 조직 및 본 연구에서 비교재로 사용한 STD11과 STS3의 캔칭조직을 동일배율로 나타낸 주사 현미경 사진으로서, CD침탄층내의 Cr₇C₃입자가 STD11내의 Cr₇C₃입자에 비해 훨씬 입경이 미세하고 균일하다는 것을 알수 있으며 0.1% C만을 포함하는 STS3는 Cr₇C₃탄화물의 크기는 미세하나 전체 탄화물의 량이 CD침탄층에 비해 훨씬 적다는 것을 알수 있다. 한편 Table2는 침탄강과 비교재의 탄화물 체적분율과 탄화물의 평균반경을 조사한 것으로서 CD침탄층(표면에서 약 50 μ m)에서의 탄화물 체적분율이 약 35%로서 STD11의 3배 정도나 되는 다량의 탄화물이 형성되었음을 알수 있으며, CD탄화층의 탄화물 입자반경은 약 0.3 μ m로서 950 $^{\circ}$ C 침탄온도에서의 안정 탄화물 입자반경의 최대 허용치인 0.4 μ m^{5,7} 이하의 탄화물이 형성 되었음을 알수 있다.

Table 2. Volume fraction and size of carbides in 12% Cr, 0.6%Si steel carburized (at 950 $^{\circ}$ C for 6h) and quenched, comparing with those in STD 11 and STS 3 tool steels.

Specimen	Volume fraction of carbides (%)	Mean radius of carbides (μ m)
Carburized steel	35	0.3
STD 11	12	1.5
STS 3	4	0.2

Photo 3. Scanning electron micrographs of (a) 12%Cr, 0.6%Si steel carburized (at 950 $^{\circ}$ C for 6h) and quenched, (b) STD 11 tool steel quenched from 1050 $^{\circ}$ C, and (c) STS 3 tool steel quenched from 780 $^{\circ}$ C.



이와같이 Hv 2300정도⁸나 되는 경질의 탄화물이 미세하게 다량 분포 되어있는 조직을 갖는 침탄강이 STD11이나 STS3에 비해 보다 우수한 경도(Fig.2) 및 내마멸성(Fig.3)을 가질 것은 분명하며 photo3 (a)에서 보는바와 같이 CD침탄층내의 Cr₇C₃탄화물 크기가 균일한 것은 침탄처리에 따라 탄화물의 핵이 거의 동시에 발생하며 성장하였기 때문이라고 생각된다.

Photo4는 침탄온도를 950°C로 고정하고 침탄시간을 2시간에서 8시간까지 변화시킨 12%Cr, 0.6%Si강의 탄화물 (표면에서 약 50 μ m)의 주사현미경 조직으로서, Fig.2의 표면으로부터 거리에 따른 경도 변화곡선에서 보는바와 같이 탄화물 분산층의 두께는 침탄시간이 길어짐에 따라서 커지나 CD층내 석출 탄화물의 형상, 크기 및 체적분율 등의 분포상태는 거의 변화가 없음을 볼 수

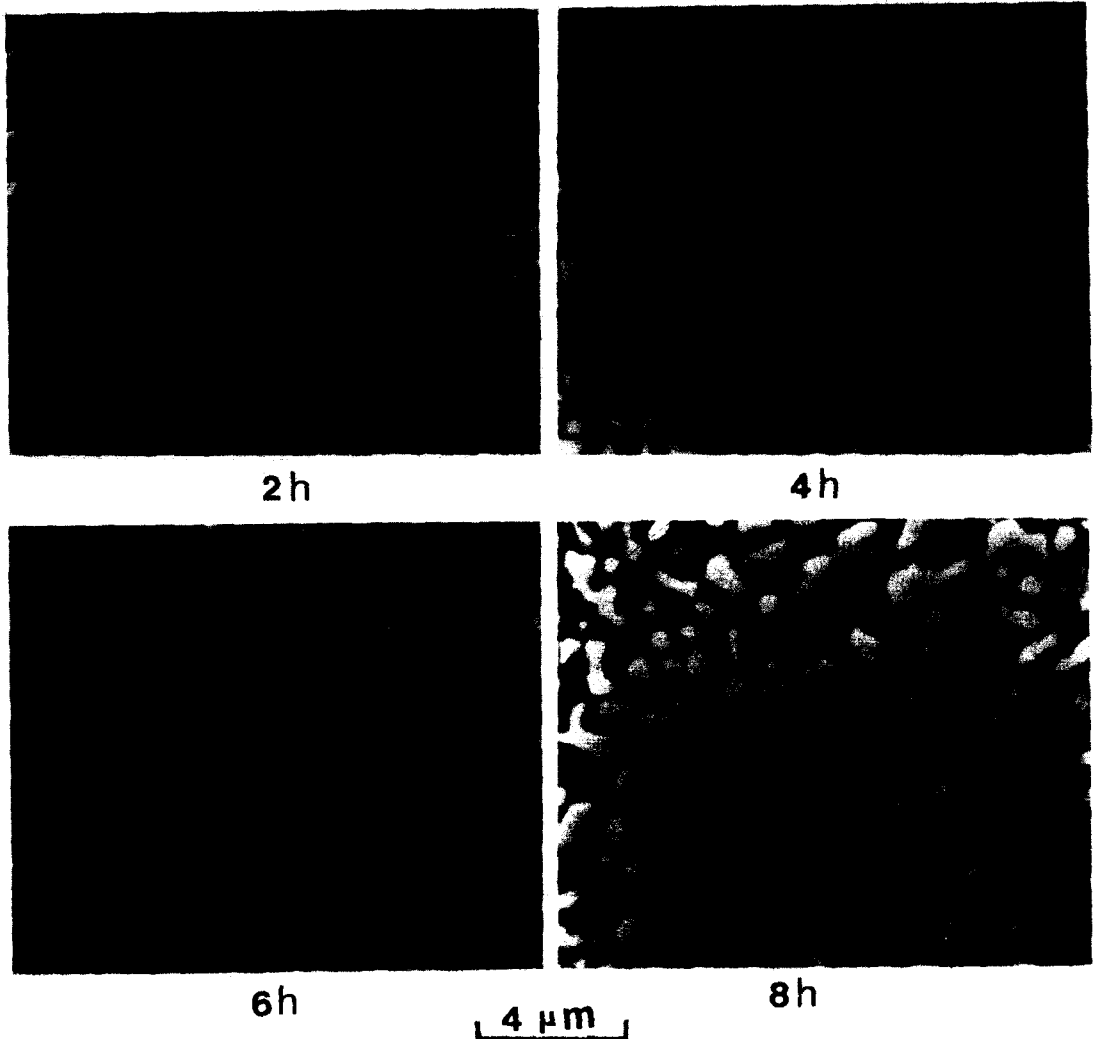


Photo 4. Scanning electron micrographs of 12% Cr, 0.6% Si steel carburized at 950 °C for various times and quenched.

있다. 따라서 일정두께의 CD층내에서의 경도 및 마멸량은 거의 같은 값을 나타낼 것으로 예측할 수 있겠다.

3.2 기계적 성질의 변화

Fig 2는 표면으로 부터의 거리에 따른 미소경도의 변화를 나타낸 것으로서, 일반 공구강의 경도보다 높은 값을 나타내며 탄화물 분산층의 두께는 침탄시간이 길어짐에 따라 커진다는 것을 알 수 있으며, 침탄시간의 변화에 따른 주사현미경 조직으로 부터 예측 했듯이 표면에서 약 $250\mu\text{m}$ 까지의 CD침탄층 내에서는 침탄시간의 변화에 따른 경도의 변화는 거의 없다는 것을 알 수 있다.

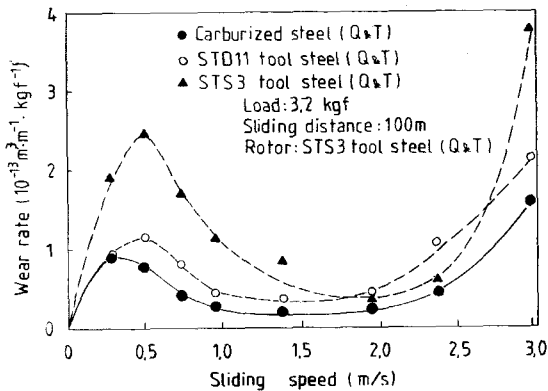


Fig. 2 Hardness of 12%Cr, 0.6%Si steel carburized at 950°C for various times and tempered at 150°C .

Fig. 3은 CD침탄강 및 비교재인 STD11과 STS3의 마멸량을 미끄럼 속도에 따라서 나타낸 것으로서 CD침탄강의 경우 약 0.3m/s 에서 최대치를 나타낸 후 감소 하였으며 $1.3\text{--}2.0\text{m/s}$ 의 범위에서 최저치를 보이다가 다시 증가 하였다.

일반적으로 강의 마멸은 미끄럼 속도가 적은 영역에서의 비부착 마멸, 미끄럼 속도가 큰 영역에서의 부착 마멸 및 이들의 중간 영역으로 대별되고 있으며, 미끄럼 속도가 적은 영역에서는 표면경도가 높을수록 마멸량은 적어지고 미끄럼 속도가 큰 영역에서는 탄화물의 석출량이 많을수록 마멸량은 적어 진다고 보고 되었다.^{10, 11)} 본 연구

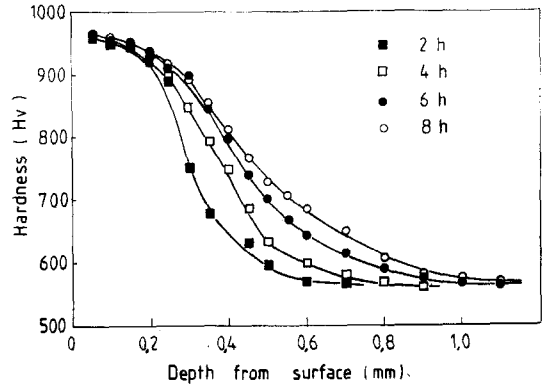


Fig. 3 Wear rate in carbide-dispersed layer formed in 12%Cr, 0.6%Si steel. Results on STD 11 and STS 3 tool steel are also given.

의 시료인 12%Cr, 0.6%Si강의 경우에서도 1.0m/s 이하의 저속영역과 2.0m/s 이상의 고속영역 및 그 중간의 세 영역으로 구분되고 있으며 표면경도가 크고 석출 탄화물의 양이 많은 본 연구강은 전 미끄럼 속도에서 STD11, STS3 등의 공구강보다 우수한 내마멸성을 나타내었다. 12%Cr, 0.6%Si강의 경우 표면에서 약 $25\mu\text{m}$ 정도의 $(\text{Fe, Cr})_3\text{C}$ 의 과잉 침탄층의 형성되기 때문에 CD침탄층의 마멸특성을 보기 위하여 침탄강의 표면을 약 $40\mu\text{m}$ 정도 연마하여 과잉 침탄층을 제거한 후 시험에 사용하였다.

4. 결론

0.6%Si를 함유하는 12%Cr 마르텐사이트계 스테인레스강을 시료로 하여 950°C 에서 2-8시간 CD침탄시켜 탄화물의 조직을 관찰하고 경도와 내마멸성을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CD침탄 및 큰 침에 의해서 침탄시간에 관계없이 마르텐사이트 기지내에 Cr_7C_3 가 미세하고 균일하게 분산된 조직을 얻었으며 Cr_7C_3 의 체적분율은 약 35%, 평균반경은 $0.3\mu\text{m}$ 정도이었다.
2. CD침탄시킨 12%Cr강이 STD11, STS3 등의 공구강보다 경도 및 내마멸성이 우수하였다.

3. 0.6% Si을 함유하는 12% Cr강의 경우, 침탄시간의 변화에 관계없이 25 μ m 정도의 (Fe, Cr)₃C의 과잉 침탄층이 형성된 것으로 보아 과잉 침탄층의 형성은 침탄시간과는 무관하고 Si의 함량에 따라서 형성 여부가 결정된다.

후 기

이 연구는 1982-1983년도 한국 과학재단 연구비 지원사업에 의하여 수행된 것으로서 한국 과학재단에 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 1)千葉昂, 斎藤卓, 山口圭司 : 日本金属学会誌, 47(1983)321
- 2)千葉昂, 斎藤卓, 高山武盛, 邦士明, 西沢泰二 : 鉄과鋼, 67(1981)A61
- 3) 邦士明, 高山武盛, 西沢泰二 : 日本金属学会誌, 45(1981)1195
- 4) E. D. Hondros and L. E. S. Stuart : Phil. Mag., 17(1968)711
- 5) E. D. Hondros and M. P. Seah : Scripta Metall., 6(1972)1007
- 6) T. Sakuma, N. Watanabe and T. Nishizawa : Trans. JIM, 21(1980)159
- 7) M. Y. Wey, T. Sakuma and T. Nishizawa : Trans. JIM, 22(1981)733
- 8) 佐藤知雄, 西沢泰二, 石原襄 : 日本金属学会誌, 23(1959)403
- 9) E. E. Bisson : "Evaluation of wear Testing" ASTM, (1968)1
- 10) 新井透, 小松登 : 鉄과鋼, 59(1973)738
- 11) 新井透, 小松登 : ibid., 61(1975)241