

## 플라즈마 침탄된 오스테나이트계 스테인리스강의 마모 및 부식 특성에 관한 연구

신동명<sup>†</sup> · 이창렬 · 이경섭

한양대학교 공과대학 신소재공학부

### A Study on Wear and Corrosion Properties of Plasma Carburized Austenitic Stainless Steel

Dong Myung Shin<sup>†</sup>, Chang Youl Lee and Kyung Sub Lee

Division of Materials Science & Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(2002년 8월 3일 받음, 2002년 10월 9일 최종수정본 받음)

**Abstract** Austenitic stainless steel (STS304) has been carburized using glow discharge plasma and its microstructure, wear resistance and corrosion property have been investigated. A repeat boost-diffuse carburizing was used as an effective plasma carburizing method. The effective case depth of the plasma carburized specimens was increased with the carbon concentration at the surface area. The specimens prepared by 3 hours plasma carburizing under 600°C did not have the standard hardness for the effective case depth, but the specimen prepared by 11 hours plasma carburizing at 500°C had nearly the same hardness with the specimen plasma carburized for 3 hours at 800°C. The wear resistance increased with temperature but the corrosion properties of the specimens prepared over 600°C decreased rapidly due to the grain boundary sensitization. However, the specimen plasma carburized for 11 hours at 500°C had nearly the same wear resistance with the specimen plasma carburized for 3 hours at 800°C, without deterioration of corrosion property. This could be resulted from the fact that the microstructure of the specimen plasma carburized for 11 hours at 500°C was composed of martensite and austenite, because a partial martensite transformation was occurred only in the specimen plasma carburized for 11 hours at 500°C.

**Key words** : austenitic stainless steel, plasma carburizing

### 1. 서 론

오스테나이트계 스테인리스강은 여러 환경 조건에서 우수한 부식저항특성을 갖고 있으나 낮은 경도 및 마모저항을 나타내고 있다. 따라서 이러한 성질을 향상시키기 위한 표면처리기술이 연구되어 왔다.<sup>1)</sup> 그러나 오스테나이트계 스테인리스강은 표면 개질시에 열영향 (500~900°C)을 받으면 공기중의 산소와 강의 주요 합금요소인 Cr과의 강한 결합력 때문에 강 표면에 산화피막 ( $Cr_2O_3$ )이 형성되어 내부로의 탄소 확산을 방해함으로써 침탄속도가 현저히 저하되는 현상이 발생하여 침탄층의 형성이 어려운 난침탄재로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 일반적으로 스테인리스강의 표면경화 방법으로 가장 많이 사용되는 플라즈마 질화처리는 질화층에 CrN,  $Cr_2N$  등의 질화물을 석출시켜 고경도와 우수한 마모저항특성을 얻을 수 있다. 하지만 이는 오스테나이트 matrix에서 Cr의 결핍대(Cr depleted zone)를 유발하여 부식저항을 크게 저하시키는 단점이 있다.<sup>2,3)</sup> 따라서 이러한 문제점 때문에 약 400°C의 저온에서 DC 또는 펄스 플라즈마 질화장치를 이용한 플라즈마 질화처리가 시도되었으며

이 경우는 질화물과 탄화물의 형성이 억제되어 내식성을 감소시키지 않으므로 낮은 온도에서의 질화처리는 높은 경도와 좋은 부식저항을 가지는 질화층을 생성시키는 것으로 보고<sup>4,5)</sup>되고 있다. 하지만 이러한 저온 질화처리 역시 경화되어진 층은 매우 얇고 취약할 뿐만 아니라 일정한 층 두께를 얻기가 어렵다는 문제점이 있어 질소보다는 탄소를 이용하는 플라즈마 침탄이 최근 주목되어지고 있다.<sup>6,7)</sup>

오스테나이트계 스테인리스강은 침탄시 예민화온도 구간인 500~900°C에서 일정시간 유지하면  $M_{23}C_6$ 와  $M_7C_3$ 상의 탄화물이 입계에 석출되면서 석출물 인접부의 Cr을 고갈시켜 Cr량이 12%이하로 저하되어 부동태가 되지 않으나, 입내에는 부동태로 남으므로 여기에 활성태-부동태 전지가 형성되어 입계에 따라 부식이 진행되는 입계부식을 일으켜 스테인리스강 본래의 내식 특성을 잃게 된다.<sup>8)</sup> 또한 이러한 입계부식은 오스테나이트계 스테인리스강의 강도와 연성을 저하시켜 사용에 제한을 주므로 이를 방지하기 위해 균질화처리 온도에서 급랭함으로써 Cr탄화물의 생성을 억제하는 방법<sup>9)</sup>등이 제안되고 있으나 경제성이 떨어진다는 단점이 있다.

<sup>†</sup> E-mail: dmshin@hanmail.net

Table 1. Chemical composition of specimen (wt %).

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu	Ni
STS304	0.07	0.95	1.75	0.03	0.03	18.5	-	-	-	8.11
SCM440	0.409	0.197	0.676	0.013	0.019	0.928	0.155	0.017	0.157	0.076

플라즈마 침탄법을 스테인리스강에 적용할 경우 진공분위기에서 비교적 짧은 시간에 침탄이 가능하기 때문에 산화피막의 생성을 줄일 수 있고 또한 가열 초기에 생성되어진 산화피막은 플라즈마 침탄시 스퍼터 크리닝(sputter cleaning)에 의하여 제거되어진 후 침탄을 실시하기 때문에 우수한 침탄성능을 얻을 수 있다는 장점이 있다.<sup>10)</sup> 그러나 현재까지 오스테나이트계 스테인리스강의 플라즈마 침탄시 boost diffuse 방식으로 저온 침탄을 실시하였을 때 마모 및 부식특성을 확인한 보고는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 오스테나이트계 스테인리스강인 STS304를 이용하여 입계예민화 온도 (500℃ ~ 900℃)에서 boost diffuse 방식을 적용하여 플라즈마 침탄을 실시한 후 침탄부의 미세조직과 결정구조 그리고 유효경화 깊이의 변화를 살펴보고 그에 따른 마모 및 부식특성에 대한 상관관계를 알아보았다.

2. 실험 방법

2-1. 시편제조

본 실험에 사용된 강은 오스테나이트계를 대표하며, 일반적으로 18-8 스테인리스강으로 불리는 STS304 강을 사용하였다. Table 1은 시편의 화학조성이다. 침탄 표면분석을 위하여 15×8×18의 사각형 봉으로 가공하였고, 핀 온 디스크(Pin on Disk) 방식의 마모시험을 위하여 핀 시험편은 지름 9 mm, 길이 30 mm의 봉상으로 제작하고 상대 마찰체는 침탄시편의 표면경도와 유사한 경도값을 갖는 열처리된 Cr-Mo 합금강인 SCM440을 두께 8 mm, 지름 200 mm로 제작한 후 모든 시편은 표면을 silicon carbide grinding paper로 1200번까지 연마하였다.

2-2. 플라즈마침탄과 열처리

본 연구에서 사용한 플라즈마 침탄로는 반응로, 보조가열장치, 냉각장치, 전원공급장치, 진공배기계, 전기제어장치로 구성되어 있다. 반응로는 흑연전열방식이며, 플라즈마를 발생시키기 위해 시편을 음극으로 하고 로의 몸체를 양극으로 하여 양 극 간에 수백V의 DC 전압을 인가시켜 플라즈마를 발생하도록 하였다. 침탄로는 냉매가스인 질소를 이용하여 강제 냉각시키는 1실식 진공로(one chamber vacuum furnace)이다.

스테인리스강은 침탄시 생성되는 산화피막에 의해 일반적으로 쓰이는 침탄강인 저탄소 합금강에 비해 침탄속도가 현저히 떨어진다.<sup>11)</sup> 따라서 침탄효율을 높이기 위하여 반복 침탄처리인 boost diffuse 방식<sup>12)</sup>을 사용하여 플라즈마 침탄을 실시하였고, 소입공정은 질소가스를 이용하여 실시하였다.

플라즈마 침탄처리는 우선 0.1 Torr의 진공상태에서 침탄온도까지 승온한 후 시험편의 균질화와 표면청정의 목적

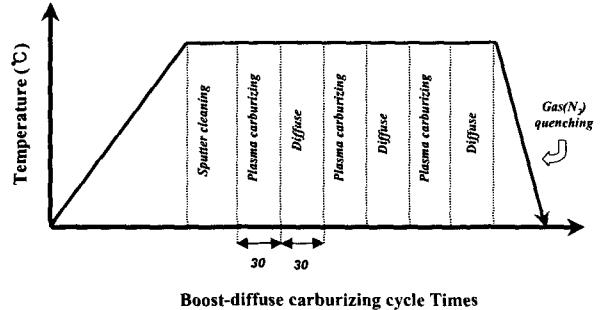


Fig. 1. Schematic diagram of the plasma carburizing process.

으로 Ar과 H<sub>2</sub>를 4:1 비율로 로내에 유입하여 30분간 플라즈마 스퍼터 크리닝(sputter cleaning) 처리를 행하였다. 침탄가스로는 CH<sub>4</sub> 99.99%를 이용하고 캐리어 가스(carrier gas)는 사용하지 않았다. 압력은 스퍼터링 공정에서는 3 torr, 침탄공정에서는 6 torr로 고정하여 침탄을 실시하였으며, 전류밀도는 침탄처리에 악영향을 미치는 Cr 산화피막<sup>11)</sup>을 제거하고 침탄효율을 높이기 위해 비교적 높은 전류밀도인 6.3 mA/cm<sup>2</sup>로 하였다. 온도는 900℃에서 크롬 산화물이 생성되지 않는 500℃까지 100℃간격으로 각 온도에 대하여 반복침탄처리인 boost diffuse 방식을 적용하여 사이클시간을 30분으로 3시간 동안 침탄을 실시하였으며, 500℃에서는 3시간과 11시간의 침탄을 실시하였다. Fig. 1에 플라즈마 침탄 열처리의 공정을 나타내었다.

2-3. 침탄특성 평가

침탄 조건에 따른 침탄시편의 경도분포, 미세조직, 탄소 농도 분포를 조사하여 스테인리스강의 플라즈마 침탄특성은 평가하였다. 경도 측정은 마이크로 비커스 경도계를 이용하여 10 grf의 하중으로 침탄부의 단면을 침탄거리별로 측정하였다. 경도 측정 위치는 침탄깊이 100μm까지는 20μm 간격으로, 이후 700μm까지는 100μm 간격으로 측정하였다. 침탄층의 유효경화깊이는 ASM (American Society for Metals)의 기준에 따라 510 Hv의 경도를 나타내는 깊이로 정하였다.<sup>13)</sup> 침탄층의 미세조직은 침탄한 시편을 다이아몬드 커팅, mounting, polishing을 거치면서 연마가 완료되면 입도 측정을 위해서는 50% 질산용액에서, 입계예민화 경향을 알아보기 위해서는 10% 옥살산에서 각각 전해 에칭을 실시한 후 광학현미경 및 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 시편표면의 미세조직은 표면에서 5~10μm까지 연마한 후 관찰하였다. 침탄층의 탄소농도 분포는 Auger Electron Spectroscopy (AES, Microlab 310D)를 이용하여 분석하였으며, 사용된 electron beam current와 voltage는 각각 60~65 nA와 10 KeV 이었다. AES 분석은 우선 line scan 방법으로 대략적인 탄소분포를 조사하고, 각 시편의 표면에서 0.05 mm 지점의 표면탄

Table 2. Condition of wear test

Material	Contact force	Contact area	Velocity	Wear distance	Relative wear material	
					Class	Hardness
STS304	400N	63.6mm <sup>2</sup>	288m/min	7Km	SCM440	520Hv

소농도와 표면으로부터 강 내부로 약 10 $\mu$ m 간격으로 AES 스펙트럼을 얻어 이를 침탄시키지 않은 기준시편과의 상대적인 치수환산을 통하여 정량적인 탄소농도를 구하는 방법으로 실시하였다. 또한 XRD 분석을 통해 침탄온도에 따른 침탄부의 결정구조 변화를 조사하였다.

#### 2-4. 마모 및 부식 실험

##### 2-4-1. 마모 실험

마모 실험은 핀 온 디스크방식(Pin on disk type)의 내마모시험기를 사용하였으며, 이때 핀 시험편에 가한 하중 및 디스크 시험편의 회전속도는 Table 2에 나타난 바와 같다. 한편 내마모 특성에는 경도값이 상당히 중요한 영향을 미치므로 상대 마찰제로서 침탄한 핀 시험편의 표면경도와 유사한 경도값을 갖는 열처리된 Cr-Mo 합금강인 SCM440을 이용하였다. 내마모실험시 고온 기어용 윤활제를 사용하여 총 마모거리는 7 Km 조건으로 실시하였고, 일정 마모 거리에 따른 마모율을 관찰하였다.

##### 2-4-2. 부식 실험

침탄재의 부식특성은 potentiostat를 이용하여 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에서의 양극분극곡선(anodic polarization curve)을 구하여 평가하였다. 이와 같은 potentiostat를 이용한 potentiodynamic polarization 시험은 자체 제작한 부식전지(corrosion cell)에서 행하였으며, 이때 시험편은 working electrode로 작용한다. 상대전극은 백금을 사용하였고 기준전극으로는 포화칼로멜 전극(Saturated Calomel Electrode)을 사용하여 ASTM규정에 따라 위치시켰다.<sup>14)</sup> 실험에 사용한 전해액은 고순도 Ar 가스로 1시간 30분 동안 bubbling 시켜 용존 산소를 제거한 후 실시하였으며 이때 용액의 온도는 30 $^{\circ}$ C로 고정하였다. 침탄된 시험편의 표면에 존재하는 그을음을 0.5  $\mu$ m 알루미나 분말로 polishing하여 제거한 뒤, silicon rubber를 이용하여 시험편의 표면적 중 0.8cm 0.8cm 만을 노출되도록 한 뒤 시험편을 장입하였다. 장입한지 15분이 경과한 후 일정속도로 전위차를 양극분극시켰으며 실험 결과치는 X-Y recorder에 동시 기록하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 플라즈마 침탄 특성

Fig. 2는 각 침탄 조건에 따른 침탄층의 거리별 경도분포를 나타내고 있다. 표면부(20 $\mu$ m 부위)의 경도 및 510 Hv를 기준으로 하는 유효경화깊이는 침탄온도의 증가와 함께 증가함을 알 수 있다. 500 $^{\circ}$ C에서 침탄시간을 11시간으로 침탄한 시험편에서는 표면경도가 약 750 Hv, 유효경화깊이가 약 70 $\mu$ m로서 800 $^{\circ}$ C에서 3시간 침탄한 시험편과 거의 유사한 결과를 나타내었으나 표면에서부터 거리가 증가함에 따라 보다 급격한 경도의 감소를 보였다. 한편, 500 $^{\circ}$ C와

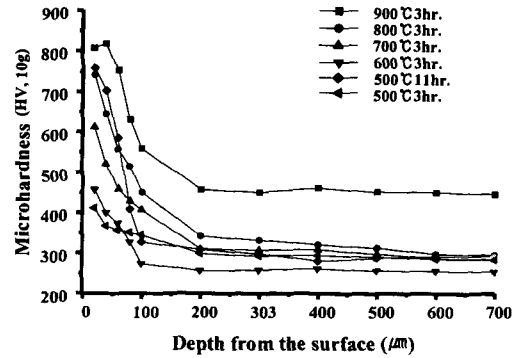


Fig. 2. Comparison of hardness of plasma carburized steels according to carburizing time and temperature.

600 $^{\circ}$ C 3시간 침탄한 시험편은 표면경도가 유효경화깊이의 기준경도보다도 작았다.

각 침탄조건에 따른 침탄층의 경도분포는 그 미세조직과 탄소농도에 의존하기 때문에 저온 장시간(500 $^{\circ}$ C, 11시간) 침탄시의 경도분포 지배요인을 파악하기 위해 침탄층 표면부(약 10 $\mu$ m 부위)의 미세조직 및 50 $\mu$ m까지의 탄소농도 분포를 조사하였다.

Fig. 3은 침탄온도 및 시간에 따른 미세조직의 변화를 측정하기 위해 시험편을 50% 질산 수용액으로 전해 에칭한 각 시험편들을 관찰한 것이다. 침탄온도가 600 $^{\circ}$ C까지는 침탄시간에 관계없이 거의 유사한 결정입도를 갖는 오스테나이트 조직을 나타내었다. 즉, 500 $^{\circ}$ C 11시간 실시한 시험편에서도 500 $^{\circ}$ C 3시간 시험편에 비하여 입자의 조대화는 나타나지 않았다. 700 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서는 마르텐사이트 상을 보이고 있었다.

현재까지 플라즈마 침탄시의 스테인리스강의 상변태에 관한 연구는 미미한 상태이며, 특히 600 $^{\circ}$ C 이하의 저온 플라즈마 침탄시 내마모성 향상의 원인은 미세조직의 변화가 아닌 탄소의 과포화에 의한 강화로 해석하였다.<sup>7)</sup> 그러나 본 실험에서는 700 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서 플라즈마 침탄을 실시하였을 때에는 표면에 마르텐사이트가 형성되었고, 500 $^{\circ}$ C 3시간에서는 관찰되지 않았던 마르텐사이트 상이 500 $^{\circ}$ C 11시간에서는 관찰이 되었다. 이를 더 명확하게 규명하기 위해 XRD를 통해 각각 시험편의 상을 분석하였다.

Fig. 4는 각 침탄조건에 대한 XRD 상분석 결과이다. 이 결과에서 보듯이 700 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서 침탄한 시험편에는 마르텐사이트 peak이 관찰되었으며 500 $^{\circ}$ C 11시간 침탄을 실시한 시험편에는 오스테나이트상의 peak이 우세하지만 500 $^{\circ}$ C 3시간의 침탄을 실시한 시험편과 달리 마르텐사이트 peak이 혼재된 양상을 나타내고 있었다. 또한 500 $^{\circ}$ C 3시간을 침탄한 시험편과 500 $^{\circ}$ C 11시간 침탄을 실시한 시험편의 peak을 비교해 보면 그 폭이 더 증가되었음을 알 수 있는데

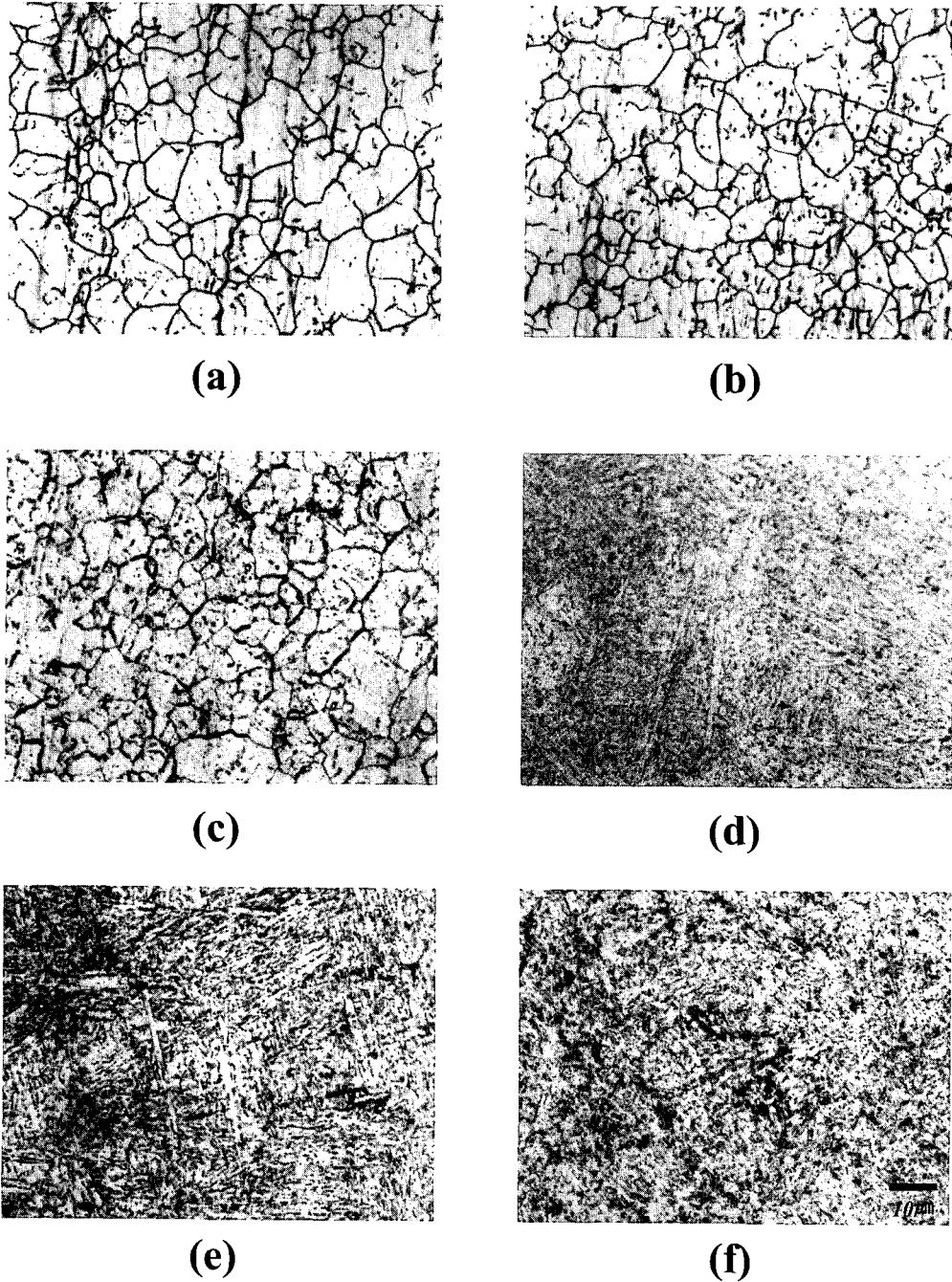


Fig. 3. Optical micrographs on the surface of specimens with plasma carburizing time and temperature. (a) 500°C 3hr (b) 500°C 11hr (c) 600°C 3hr (d) 700°C 3hr (e) 800°C 3hr (f) 900°C 3hr

이는 표면에서 부분적인 마르텐사이트의 상변태로 인해 strain이 증가하였다고 해석할 수가 있다.<sup>11)</sup> 비록 같은 마르텐사이트상을 가지더라도 탄소의 농도에 따라 그 경도의 차이가 생기고 그 탄소량의 증가에 따른 경도의 증가는 오스테나이트상에서 탄소의 영향에 따른 경도의 변화보다 강한 경향을 나타낸다.<sup>15)</sup> 오스테나이트계 스테인리스강에서 마르텐사이트 상을 보이는 것은 표면부의 침탄처리에 의한 탄소농도의 증가에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 AES를 이용해 측정된 깊이에 따른 탄소농도를 나타내고 있다. 침탄온도가 증가함에 따라 표면탄소농도는 증가하였으나 표면에서부터 10 $\mu$ m 깊이의 탄소농도는 800,

900°C에서 침탄을 실시한 시편을 제외하면 500°C 11시간 시편이 가장 높은 농도를 보였다. 그 결과 작은 분율이지만 마르텐사이트 상의 형성이 가능하였던 것으로 사료된다.

### 3-2. 마모 특성

Fig. 6은 STS304강의 마모실험후 각각 침탄 조건에 따른 마모량을 나타내고 있다. 마모량은 유효경화깊이가 깊을 수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 그 결과 유효경화 깊이가 비슷하였던 800°C 3시간을 실시한 시편과 500°C 11시간을 실시한 시편이 거의 동일한 마모량을 보이고 있었다. 본 실험에서는 이러한 마모율의 향상과 침탄온도에 따른 조직 변화와의 관계를 알아보기 위하여 각각의 시편의 미세조

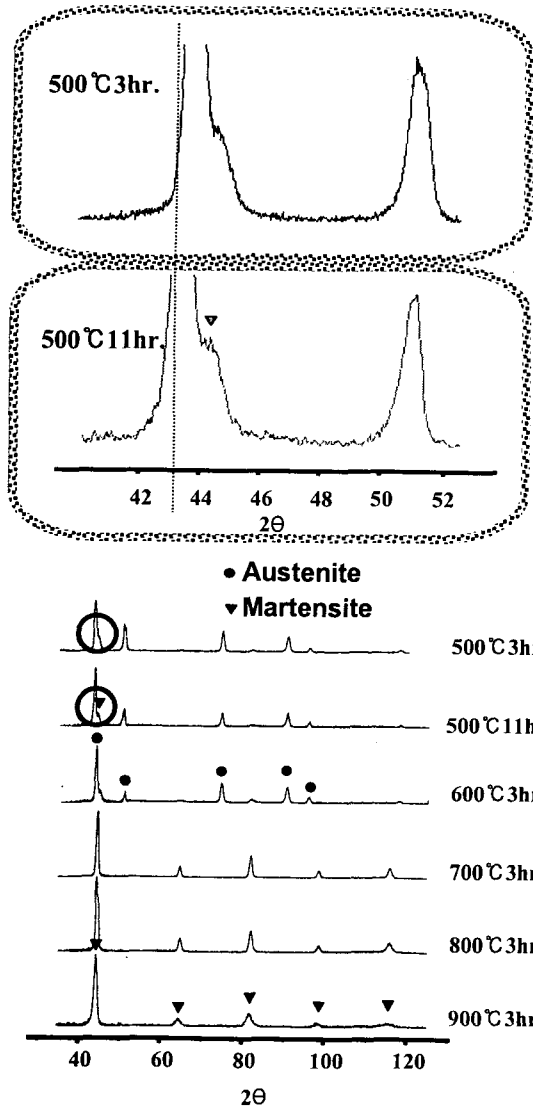


Fig. 4. X-ray diffraction patterns with plasma carburizing time and temperature.

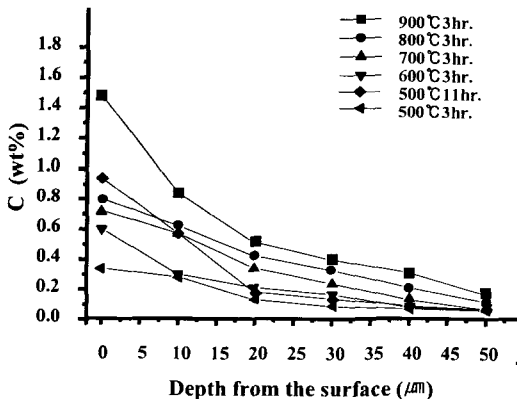


Fig. 5. Comparison of carbon content of plasma carburized steels according to carburizing time and temperature.

직을 TEM을 통해 관찰하였다.

Fig. 7은 TEM으로 관찰한 미세조직을 보여주는 그림이다. 500°C 3시간, 600°C 3시간의 침탄을 실시한 시편에서는 모든 조직이 오스테나이트 상을 나타냈다. XRD 분석결

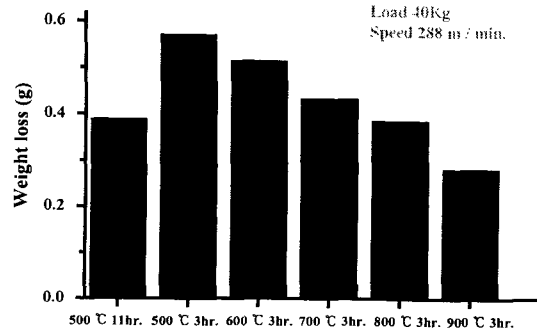


Fig. 6. Result of pure sliding (pin on disk) test for plasma carburized STS304 steels.

과 마르텐사이트 상을 나타냈던 700°C 이상에서 제조된 시편의 경우는 전체적으로 마르텐사이트 구조를 보였으며 XRD 분석에서 마르텐사이트 상 피크의 관찰이 쉽지 않았던 500°C에서 11시간 플라즈마 침탄된 시편에서 부분적으로 bct 구조의 제한시아회절 패턴을 보이는 조직이 관찰되었다.

따라서 본 마모 실험에서 500°C 11시간동안의 플라즈마 침탄을 실시한 시편의 마모특성향상은 11시간의 침탄 시간 동안 부분적으로 오스테나이트 상이 마르텐사이트로 변화가 일어났기 때문이다. 이에 대한 원인은 오스테나이트계 스테인리스강이 냉간가공 중 마르텐사이트 변화가 일어나듯이 플라즈마 침탄시 이온들의 강한 충격에너지에 의해 상변태가 나타난 것으로 사료된다. 또 다른 원인으로는 이렇게 상변태된 마르텐사이트 상이 높은 탄소농도를 함유하고 있어 다른 온도에서 실시한 시편보다 더 경도가 높은 마르텐사이트 상이 형성되었기 때문이라고 해석할 수 있다.

3-3. 부식 특성

스테인리스강은 열처리에서 의해 부식특성이 쉽게 저하된다. 침탄처리도 일종의 열처리이므로 시편 부식 특성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 실험 온도에 따른 시편의 부식특성을 각각 조사하였다.

우선 광학 현미경을 통한 미세조직관찰로 입계예민화 유무를 판단하였으며 양극분극곡선을 통해 부식거동을 살펴 보았다.

입계예민화 관찰은 10% 옥살산 수용액으로 전해 에칭을 실시할 경우 Cr 탄화물은 검은색으로 부식이 되는데 이 부식된 조직의 관찰여부를 중요한 판단 근거로 하였다. Fig. 8은 옥살산으로 전해 에칭을 실시한 시편들의 조직사진이다.

500°C에서 3시간 플라즈마 침탄을 실시한 시편에서는 Cr 탄화물이 관찰되지 않았고 그 이상의 온도에서 실시한 시편에서는 많은 양의 탄화물이 관찰되었고 탄화물의 종류는 TEM의 제한시아회절 패턴으로 확인한 결과 대부분 Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>였다. 그러나 500°C 11시간의 장시간 침탄에서는 Cr 탄화물로 인해 그 주위의 Cr의 고갈현상으로 발생하는 입계산화가 일어나지 않았다.

좀더 명확한 부식특성을 알아보하고자 potentiodynamic polarization 시험을 통해 양극분극곡선을 작성하였다. 이때 시편은 내마모성이 가장 높은 900°C에서 3시간 플라즈

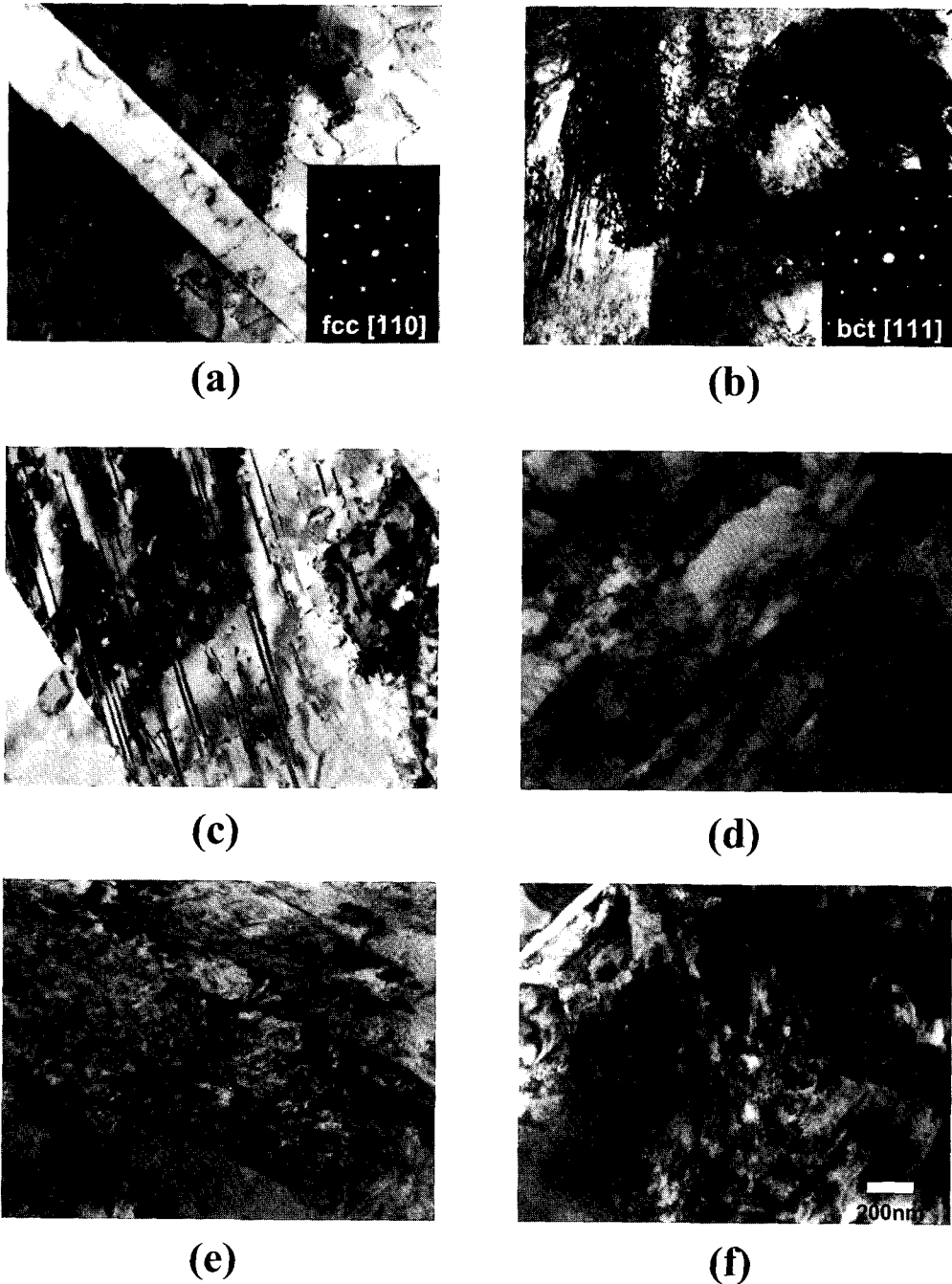


Fig. 7. TEM micrographs on the surface of specimens with plasma carburizing time and temperature. (a) 500°C 3hr (b) 500°C 11hr (c) 600°C 3hr (d) 700°C 3hr (e) 800°C 3hr (f) 900°C 3hr

마 침탄한 시편과 입계예민화 현상이 발생되지 않은 500°C에서 3시간, 11시간 플라즈마 침탄한 시편 그리고 원시편을 각각 비교하였다.

본 부식 실험에서는 각시편의 부동태 영역인 0mV<sub>SCR</sub>에서 400mV<sub>SEC</sub>까지의 구역에서 부동태 전류밀도를 비교함으로써 그 부식특성을 평가하였다. Fig. 9는 원시편, 900°C 3시간, 500°C 3시간과 11시간동안 플라즈마 침탄을 실시한 양극분극곡선을 나타낸다. 우선 부식특성을 나타내는 부동태의 전류밀도는 원시편과 500°C에서 3시간, 11시간 플라즈마 침탄을 실시한 시편과 거의 동일하였으나 900°C에서 3시간 플라즈마 침탄한 시편은 가장 큰 부동태 전류밀도를 나타내고 있다. 또한 500°C에서 플라즈마 침탄한 시편

은 침탄 시간에 관계없이 원시편과 거의 동일한 부식 특성을 나타내고 있었다. 따라서 앞서 조사한 침탄 온도에 따른 입계예민화현상의 발생유무에서와 같이 500°C에서 플라즈마 침탄을 실시한 시편에서는 침탄시간에 관계없이 부식성 저하를 나타내지 않았으며 900°C 3시간 플라즈마 침탄한 시편에서는 큰 부식성 저하를 나타내고 있었다. 900°C에서 3시간 플라즈마 침탄을 실시한 시편에서는 I<sub>c</sub>가 높고 E<sub>p</sub>가 더 귀한(noble) 것으로 나타나 부동태화가 되기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

STS304강의 부식 실험에서는 500°C에서 11시간의 플라즈마 침탄을 한 시편에서 내마모성의 향상과 함께 부식성의 저하가 없었다.

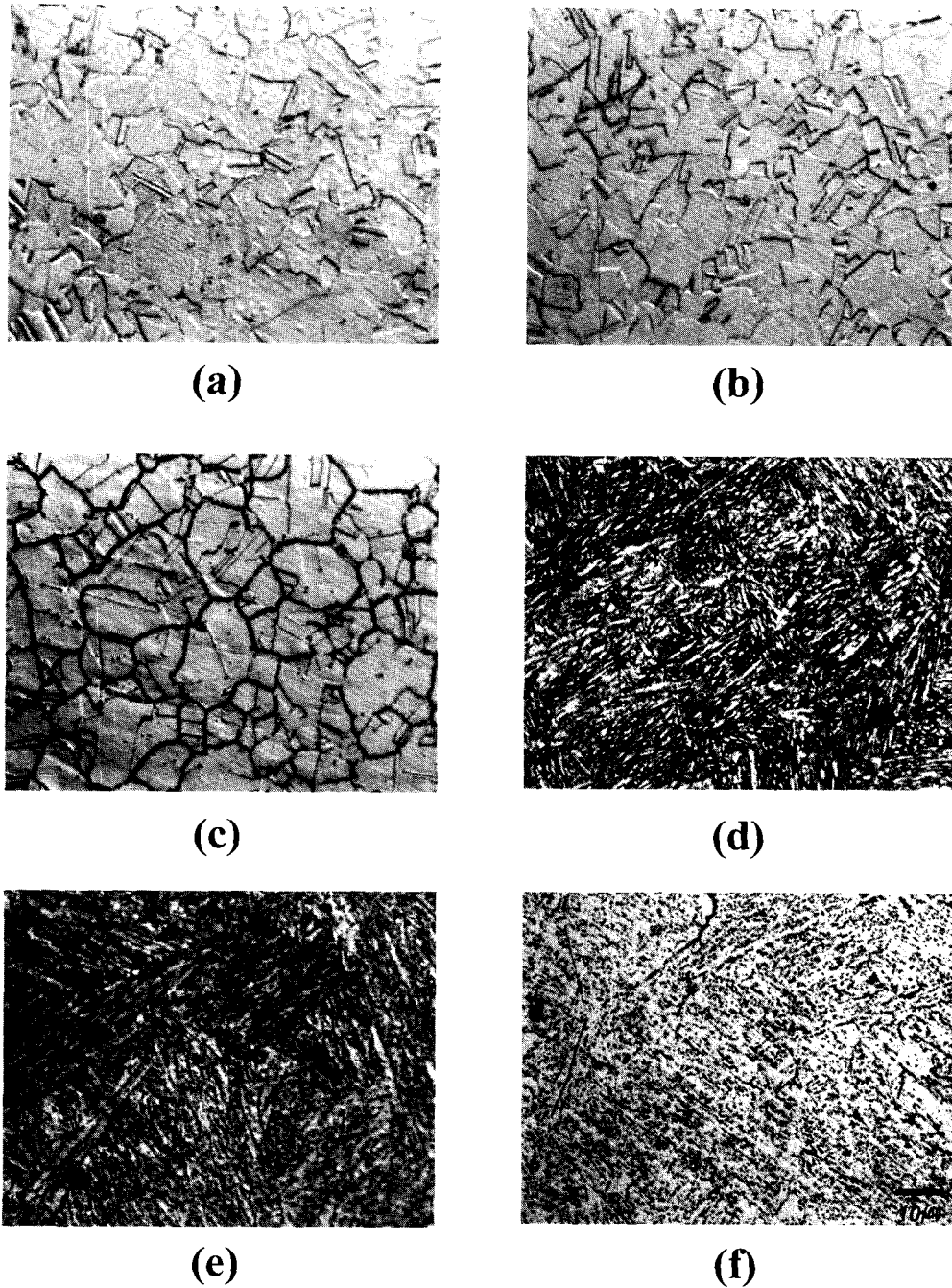


Fig. 8. Optical micrographs on the surface of specimens with plasma carburizing time and temperature. (a) 500°C 3hr (b) 500°C 11hr (c) 600°C 3hr (d) 700°C 3hr (e) 800°C 3hr (f) 900°C 3hr

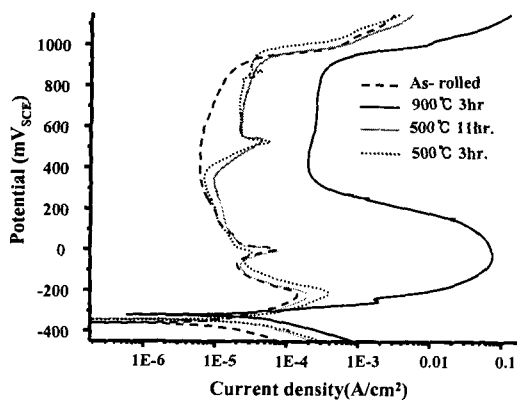


Fig. 9. Anodic polarization curves tested in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution.

따라서 본 연구의 결과에서 보듯이 플라즈마 침탄법은 기존의 고온에서 장시간 침탄처리를 해주어야 하는 가스 침탄의 문제점을 해결함과 동시에 질화처리와 같은 Cr 질화물에 의한 표면강화방법<sup>2,3)</sup>이 아니므로 Cr의 고갈현상 또한 없어 앞으로 스테인리스강의 표면처리에서 중요한 위치를 차지하리라 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 오스테나이트계 스테인리스강인 STS304 강을 이용해 플라즈마 침탄시 침탄온도와 시간에 따른 마모 및 부식특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 500°C에서 11시간 플라즈마 침탄된 시편의 표면경도와 유효경화깊이는 800°C에서 3시간 실시한 시편과 유

사하였으며 그 결과 800°C에서 3시간 플라즈마 침탄된 시편과 비슷한 내마모성을 보였다.

2) 700°C 이상에서 3시간이상 플라즈마 침탄된 시편에서 완전한 마르텐사이트 변태가 관찰되었으며 500°C에서 11시간 플라즈마 침탄된 시편의 표면에서 500°C에서 3시간 플라즈마 침탄된 시편에서 관찰되지 않았던 마르텐사이트 상이 부분적으로 관찰되었다.

3) 500°C 11시간 침탄시편의 내마모성 향상의 주된 이유는 500°C 3시간의 시편에서는 형성되지 않은 높은 경도를 가지는 마르텐사이트 상이 부분적으로 형성되어 파괴인성이 좋은 오스테나이트상과 혼재되어 있는 침탄층이 형성되었기 때문이다.

4) 온도별로 침탄한 시편의 부식특성은 500°C에서 3시간, 11시간 침탄한 시편이 원시편과 가장유사한 특징을 보였으며 입계 예민화 현상은 600°C 이상에서 침탄을 실시한 시편에서 나타났다.

참 고 문 헌

1. ASM hand book, 5, 741 Ohio, USA, (1994).
2. E. Rolinski, Surface Engineering 3, 35 (1987).
3. Z.L. Zhang and T. Bell, Surface Engineering, 1, 131 (1985).

4. K. Ichii, K. Fujimura, and T. Takase, Technol. Rep. Kansai Univ., 27, 135 (1987).
5. E. Menthe, K.T. Rie, J.W. Schultze, and S. Simson, Surf. Coat. Tech., 74/75, 412 (1995).
6. T. Bell and Y. Sun, Proc. conf. "Surface science and engineering", Beijing, China, 9. (1995).
7. Y. Sun, X. Li and T. Bell, Surface Engineering, 45, 4 9 (1999).
8. K. Akutsu, M. Nakamura, Ion nitriding and ion carburizing, ASM International, 249 (1989).
9. M.G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw-Hill Book Co., NY, 76 (1982)
10. T. Kimura and K. Namiki : DenkiSeiko, 61, 32 (1990).
11. Y. Sun, X. Li and T. Bell, Surface Engineering, 15, 54 (1999).
12. K.B. Park, D.M. Shin, C.Y. Lee, K.S. Lee, Korean Journal of Materials Research, 10 (7), 509 (2000).
13. ASM Hand book, 4, 454, Ohio, USA, (1991).
14. ASTM wear and Erosion, Metal corrosion section 3, 97 (1988).
15. R. Honeycombe, H.K.D.H. Bhadeshia, Steels, Edmond Arnold, 2nd Eds., 108 (1995).