

AISI316L 강에 저온 플라즈마침탄 및 DLC 복합 코팅처리 시 처리온도에 따른 표면특성평가

이인섭
동의대학교 신소재공학과

Influence of Treatment Temperature on Surface Characteristics during Low Temperature Plasma Carburizing and DLC duplex treatment of AISI316L Stainless Steel

Insup Lee
Department of Advanced Materials Engineering, Donggeui University, Busan, Korea

KEY WORDS: Austenitic stainless steel 오스테나이트계 스테인레스 강, Low temperature plasma carburizing 저온 플라즈마침탄, Expanded austenite 확장된 오스테나이트, Corrosion resistance 내식성, DLC Film DLC 박막

ABSTRACT: A low temperature plasma carburizing process was performed on AISI 316L austenitic stainless steel to achieve an enhancement of the surface hardness without degradation of its corrosion resistance. Attempts were made to investigate the influence of the processing temperatures on the surface hardened layer during low temperature plasma carburizing in order to obtain the optimum processing conditions. The expanded austenite (γ_c) phase, which contains a high saturation of carbon (S phase), was formed on all of the treated surfaces. Precipitates of chromium carbides were detected in the hardened layer (C-enriched layer) only for the specimen treated at 550°C. The hardened layer thickness of γ_c increased up to about 65 μm with increasing treatment temperature. The surface hardness reached about 900 $\text{HK}_{0.05}$, which is about 4 times higher than that of the untreated sample (250 $\text{HK}_{0.05}$). A minor loss in corrosion resistance was observed for the specimens treated at temperatures of 300°C~450°C compared with untreated austenitic stainless steel. In particular, the precipitation of chromium carbides at 550°C led to a significant decrease in the corrosion resistance. A diamond-like carbon (DLC) film coating was applied to improve the wear and friction properties of the S phase layer. The DLC film showed a low and stable friction coefficient value of about 0.1 compared with that of the carburized surface (about 0.45). The hardness and corrosion resistance of the S phase layer were further improved by the application of such a DLC film.

1. 서 론

오스테나이트계 스테인레스강 (300 계열) 은 우수한 성형성과 뛰어난 내식성으로 미국 스테인레스 강 총 생산량의 65~70%를 점유하고 있다. 그러나 표면경도가 낮아 쉽게 마모가 일어나고, 해수 분위기에서 공식(Pitting corrosion) 이 일어나는 단점이 있다. 그리고 마찰계수가 높아서, 소음 및 에너지 소모가 매우 크므로 수송기계부품에 적용하기에 어려움이 많았다. AISI302 강과 AISI304 강이 가장 널리 사용되고 있으며, AISI316 강은 AISI304 강에 약 2.5%의 Mo를 첨가하여 해수 또는 화학공업환경에서 공식에 대한 내식성을 더욱 개선시킨 것이다. 그리고, 원자 크기가 큰 Mo의 영향으로 결정격자의 변형이 생기고 이러한 변형은 침입형 원자의 확산을 원활하게 하는 효과가 있다 (Smith, 1981). 오스테나이트계 스테인리스강의 내식성을 저하시키지 않고, 표면경도를 증가시키기 위하여 질소 및 탄소가 과포화된 확장된 오스테나이트(Expanded austenite) 상인 S-phase를

표면에 생성시키는 기술이 지난 10년간 연구되었다(Sun et al., 1999). 이 기술은 저온 플라즈마를 이용하여 CrN 및 CrC의 석출 없이 질소 및 탄소를 오스테나이트 격자에 과용시키는 기술이다. 준안정상인 S-phase는 경도, 마모저항 및 피로특성을 향상시킬 수 있으며, 원소재보다 우수한 내식성을 가진다. 그러나 마찰계수는 여전히 원소재와 비슷한 높은 값을 보여준다(Sun, 2005a).

DLC 박막은 다이아몬드와 매우 유사한 높은 경도, 내마모성, 전기적 및 화학적 안정성, 그리고 광투과성 등의 특징을 보유한 탄소의 비정질화합물이다. 그리고 DLC 박막은 매우 낮은 마찰계수를 가지고 있어서 윤활성이 탁월하다. 그러나 박막의 두께가 매우 얇아서(통상 1~2 μm), 오스테나이트계 스테인레스 강처럼 부드러운 재료에 코팅이 된다면, 높은 응력의 발생으로 야기된 모재의 소성변형으로 인하여 박막이 벗겨질 수 있다(Ueda et al. 2007). 이러한 DLC 박막 코팅기술의 문제점을 해결하기 위하여 질화처리와 결합된 복합코팅처리기술이 도입되었다. DLC 코팅

전에 플라즈마질화처리를 하면 모재에 높은 경도와 압축잔류응력이 발생하여, DLC 코팅층과 밀착성이 향상되고 Load bearing 능력이 증가한다. 종래의 질화기술과 결합된 DLC 코팅처리에 대한 연구는 비교적 많으나, S-phase 기술과 결합된 DLC 복합코팅기술에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있고, 국내에서는 전무한 실정이다. 그리고 저온 플라즈마질화 처리를 통해 표면에 형성되는 경화층은 장시간 처리하여도 두께가 얇고, 경화층과 모재사이에서 경도의 급격한 감소가 일어나므로 Load bearing capacity가 떨어진다. 그리고 표면에 형성된 경화층 두께의 균일성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점은 질소대신 탄소를 이용하여 저온 플라즈마침탄 처리를 하면 해결될 수 있다. 동일한 온도의 오스테나이트 상에서 탄소의 확산 계수가 질소보다 높으므로, 탄소가 과포화된 확장된 오스테나이트 (γ_N) 영역은 질소가 과포화된 확장된 오스테나이트 (γ_C) 영역에 비교하여 두꺼운 경화층을 비교적 짧은 시간에 얻을 수 있다. 그리고 경화층 두께의 균일성도 저온 플라즈마질화 처리에 비해 매우 우수하다(Sun, 2005b). 따라서 본 연구는 AISI316L 강에 저온 플라즈마질화 대신에 저온 플라즈마침탄 처리를 하여 형성된 S-phase 위에 DLC 코팅 처리를 하여 Load bearing 능력 및 내부식성이 탁월하고, 마찰계수가 낮은 표면특성을 얻고자 시도하였다. 본 실험에서는 먼저 처리시간 (15시간), 공정압력 및 가스조성을 일정하게 유지하고 저온 플라즈마침탄 처리를 실시하여, 표면경화층의 미세조직, 표면경도 및 내식성에 미치는 처리온도 (300°C~550°C) 의 영향을 체계적으로 조사하였다. DLC 코팅후 표면경도, 마찰계수 및 내식성에 미치는 침탄처리온도의 영향을 체계적으로 연구하여 복합코팅기술의 양산화 기술개발을 위한 기초자료로 활용이 가능하도록 하였다.

2. 실험방법

이 실험에 사용된 AISI316L 강의 시편의 조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of AISI316L stainless steel

Material	Fe	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	S	P
AISI316L	Bal	0.03	2.00	16.0 -18.0	10.0 -14.0	2.0 -3.0	1.0	0.03	0.045

디스크 형태의 시편 ($\Phi 20\text{mm} \times h 3\text{mm}$) 을 SiC 연마지를 이용하여 1200번까지 순차적으로 연마 후 알루미늄 슬러리로 경면 처리 하였다. 아세톤에서 초음파 세척하여 Plused-DC 플라즈마 질화 장비에 넣고, 대기 공기의 영향을 최소화하기 위해 초기배기를 50mTorr 이하까지 실시하였다. 플라즈마침탄을 실시하기 전 300°C에서 공정온도까지 상승하는 동안 (약 40분) 질량이 크고 화합물을 형성하지 않는 Ar가스와 플라즈마를 안정화시키는 역할을 하는 H₂가스 분위기에서 스퍼터링 처리함으로써 스테인리스 강 표면에 산화막을 제거하고, 표면 Fe원자의 결합력을 저하시켜 침탄공정에서 C원자의 재료내부로의 확산을 원활하게 하였다. 저온 플라즈마침탄 처리는 스퍼터링 처리가스를 50mTorr이하까

지 배기하고, H₂, CH₄, Ar가스를 주입하여 4 Torr로 처리압력을 고정하고, 300°C~500°C의 에서 15시간 동안 실시하였다. 모든 시편은 진공로 내에서 냉각되었다. 공정 변수를 Table 2에 상세하게 나타내었다. DLC 코팅은 (주) 국민진공에서 처리온도 150°C, 처리시간 2hr, 처리압력 3mTorr, 바이어스 전압 150V 등의 조건에서 아세틸렌 (C₂H₂) 가스를 사용하여 증착하였다.

Table 2 Experimental parameters for plasma carburizing process

Temp.	Time	Discharge voltage	CH ₄ /H ₂ /Ar gas ratio	working pressure
300°C-550°C	15h	500 V	5/75/20	4 Torr

저온 플라즈마침탄 처리 및 DLC 복합처리된 시편의 단면 미세구조를 관찰하기 위해 SiC 연마지와 알루미늄 슬러리를 이용하여 경면처리 후 왕수 (50% HCl+30% HNO₃+20% H₂O) 에 약 1간 부식시켜 광학현미경 (Olympus) 을 이용하여 관찰하였다. X-선 회절시험기(Rigaku D/Max-200) 를 이용하여 저온 플라즈마 침탄처리한 시편의 상 분석을 실시하였다. 시험조건은 Cu-K α 의 단색광 필터를 이용하였으며, 40kV 30mA의 Power에서 FT 모드로 0.01°를 1 스텝으로 하여 정지시간을 1초로 설정하였으며, 회절 각은 30~75°로 하였다. 표면에서 깊이에 따른 N 및 C의 농도분포를 확인하기 위해 GDS(Glow discharge spectrometer) 분석을 실시하였으며, 분석 방법은 Zn 도금 층 정량분석 프로그램인 Zn method를 이용하였으며, 700V, 20mA로 측정하였다. 경도측정은 마이크로비커스 경도계(Mitutoyo knoop 하중 50g, 하중시간 15sec) 로 시편의 표면경도를 측정하였다. 경도는 표면에서 8회 측정하여 최대값과 최소값을 뺀 나머지 값을 산술 평균값으로 하였다. 마모 실험은 AISI52100 ball을 상대재질로 사용한 Ball-on-disc 법으로 하중은 500g을 인가하고, 마모트랙의 지름은 10mm, 10,000cycle 동안 마찰계수의 변화를 측정하였다. 시편의 내식성을 평가하기 위하여 동전위 분극실험을 실시하였다. 실험장치는 3극 Cell 내에서 PC로 제어되는 Potentiostat(Princeton applied research 273A)를 이용하여, 기준전극(Reference electrode) 으로는 3.5% KCl Ag/AgCl 전극을 사용하였다. 상대전극(Counter electrode) 으로 Pt 망을 사용하고 스캔속도는 0.017mV/s로 고정하였다. 상온의 3.5% NaCl 수용액을 전해액으로 사용하였으며, 노출면적은 1cm²으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 공정압력, 가스조성, 처리시간(15h)을 고정하고, 처리온도를 300°C~500°C로 변화시키면서 저온 플라즈마침탄 처리된 시편의 XRD 결과이다. 미처리재의 오스테나이트 피크에 비해 처리된 시편의 피크는 모두 2-Theta 값이 작은 쪽으로 이동하였고, 피크의 폭도 넓게 나타났다. 이 결과는 외국 논문에서 발표된 결과와 일치하며 탄소 (C) 의 격자내 고용에 의해 오스테나이트 상의 격자팽창이 일어나 면간거리가 증가하여 2-Theta 값이 작은 쪽으로 피크가 이동하였다. 이와같이 탄소가 과포화된 상을 Expanded austenite (γ_C) 또는 S-phase라고 부른다. 모든 방향으

로 격자가 똑같은 비율로 확장이 일어나지 않고, 피크의 폭이 넓게 나타나 결정성이 원소재와 비교하여 저하되었다. 이동된 2-Theta 값은 처리온도의 변화와 거의 무관하게 일정하게 나타났다. 이것은 X-선이 감지할 수 있는 영역인 표면 1~2 μm 이내에 형성된 Expanded austenite인 γ_c가 저온 플라즈마침탄으로 고용할 수 있는 고용한계(Solubility limit)가 있는 것으로 생각되며 향후 보다 세밀한 연구가 필요하다. 그리고 이러한 격자변형은 표면경도를 높이는 역할을 한다. 300°C에서 처리된 시편은 처리온도가 낮아서 오스테나이트가 S-phase로 완전히 변태하지 않아서 오스테나이트 피크가 존재한다. 350°C~ 400°C에서도 이 피크가 미량으로 나타나고 있으며, 450°C에서는 완전히 사라졌다. 550°C에서 처리한 경우 탄화물 Cr₇C₃ 피크가 발견되었다. 이것은 격자가 수용할 수 없을 정도로 탄소의 고용량이 증가하여 격자

외부로 방출된 여분의 탄소가 Cr과 결합하여 생성된다고 사료된다. Cr₇C₃ 석출물이 생성되면 그 주변에 Cr이 고갈된다. 고용된 Cr이 충분하지 않으면 표면에 부동태 피막인 아주 얇은 Cr₂O₃ 피막의 생성에 지장을 준다. 즉 불안정한 Cr₂O₃ 피막이 존재하면 내식성이 저하되어 부식이 쉽게 잘 일어난다.

Fig. 2는 플라즈마침탄 처리된 시편의 단면 광학현미경 조직 사진이며, 처리온도 (300°C~550°C) 변화에 따른 미세조직의 변화양상을 보여주고 있다. 모든 시편에서 탄소가 과포화된 확장된 오스테나이트 (Expanded austenite, γ_c) 영역이 표면층에 생성되어서 모재와 뚜렷하게 구별된다. 이 영역은 부식액인 왕수 (50% HCl+30% HNO₃+20% H₂O)에 대해 내식성이 모재보다 우수하여 전체적으로 모재에 비하여 밝게 나타난다. 이 영역의 두께는 300°C에서 약 3μm이고 550°C에서 약 65μm에 도달한다. 온

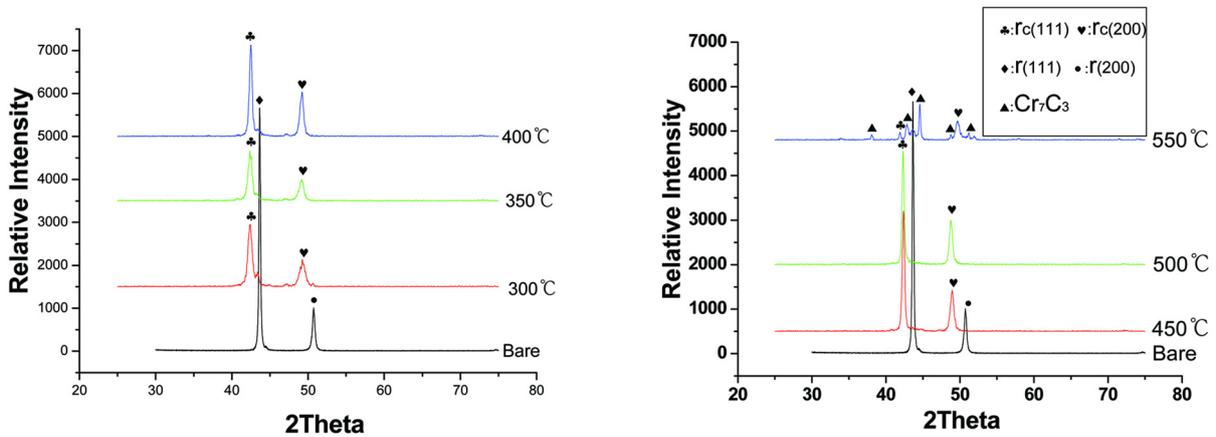


Fig. 1 XRD patterns of carburized layers produced on AISI316L austenitic stainless steel at various treatment temperatures

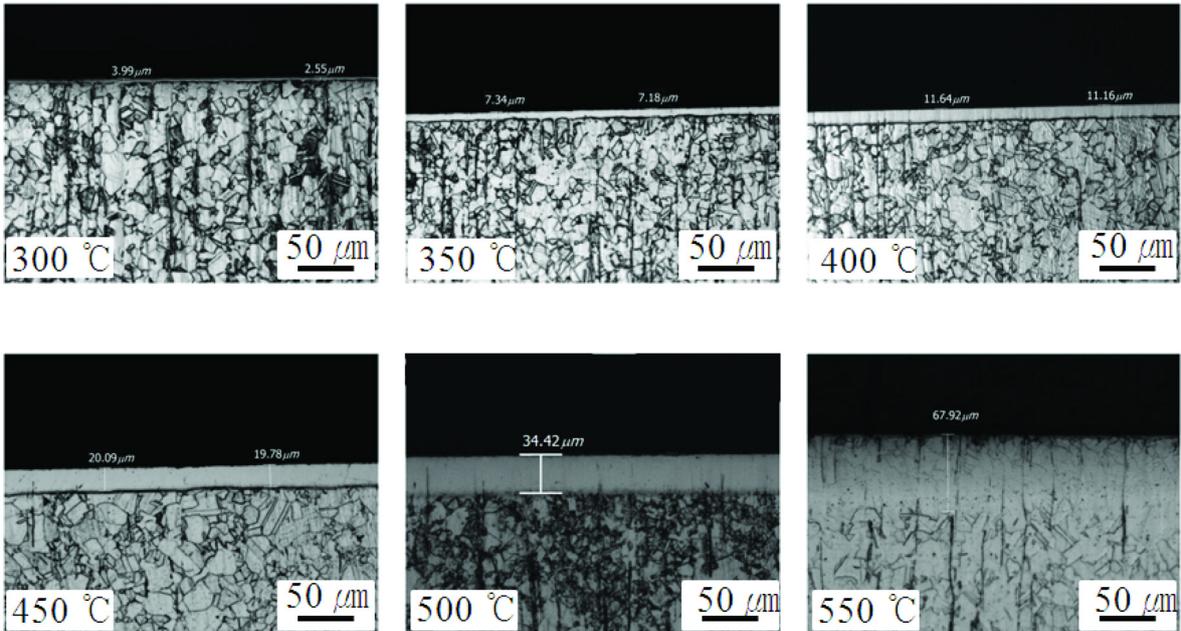


Fig. 2 Optical micrographs of cross-sections of plasma treated AISI316L austenitic stainless steel at various temperatures

도가 증가함에 따라서 이 경화층의 두께가 증가하는 것은 탄소의 확산속도가 결정적으로 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그리고 XRD데이터 (Fig. 1)에서 확인되지 않았지만, 조직사진에서 검은 색의 가늘고 긴 선은 원소재에 존재하는 마르텐사이트로 판단이 되며, 오스테나이트 기지조직에서 압연방향과 평행하게 생성된 것을 알 수 있다. 그리고 플라즈마 처리후 생성된 경화층에도 마르텐사이트 상의 일부는 사라지고, 나머지는 국부적으로 계속 존재함을 알 수 있다. 550°C에서 처리된 시편은 표면에 어두운 영역이 비교적 많이 존재하였고, 이것은 Cr₇C₃ 석출물이 생성되어서 그 주변에 Cr이 고갈이 일어나서 불안정한 Cr₂O₃ 피막이 존재하여 부식이 쉽게 잘 일어나서 발생한 것으로 사료된다.

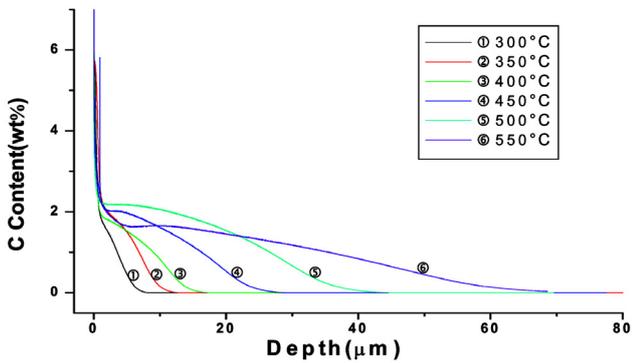


Fig. 3 Carbon concentration profiles of carburized layer produced on AISI316L austenitic stainless steel

Fig. 3은 GDS 분석 결과로 얻은 저온 플라즈마침탄 처리된 시편 단면의 탄소 (C) 농도 분포 그래프이다. 표면층으로부터 스퍼터링하면서 측정하므로 정확한 경화층의 깊이를 알 수 있다. 처리온도가 증가할수록 탄소가 확산된 깊이가 증가하여 550°C에서 약 70μm까지 도달하였으며, 고용량도 550°C에서 처리된 시편은 오스테나이트 상에서 탄소(C) 고용한계인 0.03% (Sedriks, 1996) 를 훨씬 넘어 최대 약 2%까지 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 처리온도가 너무 낮아 석출물의 핵생성 및 성장이 원활하지 않은 상태에서 전기적 바이어스로 플라즈마 상태로 탄소(C) 를 주입하여 과포화 상태에 이른 것으로 생각되며, 비교적 에너지가 높은 결정립계에 형성된 석출물 또한 전체 탄소(C) 양을 증가시키는 역할을 하였다. 온도가 증가하면서 확산계수가 지수함수적으로 증가하게 되고 이로 인해 같은 시간 (15h) 동안 처리하였지만, 온도가 증가함에 따라 확산층도 깊어지게 된다. 시편 내부로의 확산이 일어나기 위해서는 탄소 원자가 시편 표면으로의 침투가 우선적으로 일어나야 한다. 이러한 침투가 일어나기 위해서는 높은 에너지의 충돌이 필요하다. 탄소(C) 원자는 Ar 및 H₂가스 분위기를 이용한 프리스퍼터링 시 완전히 제거되지 않은 Cr₂O₃막을 파괴하거나 통과해야 하며, 시편을 이루는 금속원자간의 결합력을 저하시키거나 상쇄시켜야만 침투가 가능하기 때문이다. Ar가스의 원자량은 탄소(C) 보다 약 3배 이상 크므로 같은 바이어스 내에서도 충돌시 에너지가 훨씬 크다. 즉 침탄시 주입된 Ar이온은 잔류하고 있는 Cr₂O₃막의 추가적인 제거 및 모재의 표면에 결합을 형성시킨다. 따라서 Ar이온의 주

입은 탄소 (C) 의 확산이 유리한 환경을 만들어 주어 탄소 (C) 의 확산을 원활하게 하여 두꺼운 경화층의 형성을 쉽게 한다. 표면처리 온도에 따른 경화층의 깊이 및 표면경도를 Fig. 4에 나타내었다. 석출물이 형성되는 온도까지 실험을 실시하였으며, 경화층의 두께는 확산에 의해 지배되고, 확산은 온도에 지수 함수적으로 증가하므로 온도가 증가함에 따라 경화층의 깊이도 크게 증가하여 550°C에서 처리된 시편의 경우 약 65μm까지 증가한 것을 알 수 있다. 저온 플라즈마침탄 처리한 시편의 표면경도는 모재에 비하여 약 4배 이상 증가 하였으며, 약 900 HV_{0.05}에 근접하였다. γ상은 오스테나이트상에 다량의 탄소(C) 가 침입형 원자로 존재하여 격자변형이 크게 일어나 표면경도를 크게 증가시킨다. 따라서 경도분포는 침입형 원자의 농도 분포와 일치하는 경향이 있다. 그리고 경화층의 두께가 증가할 때 경도 또한 같이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 처리온도가 높을수록 경화층의 두께가 증가하면서 모재부의 영향을 감소시켜 경도가 증가하는데 기여하였다. Fig. 4에 나타낸 경화층의 두께는 Fig. 2의 조직사진에서 얻은 값이며, Fig. 3의 GDS 분석 결과와 약간 차이가 난다. GDS 분석 결과 얻은 경화층의 두께는 조직사진에서 얻은 두께 측정결과보다 약 5μm 정도 두껍게 나타난다.

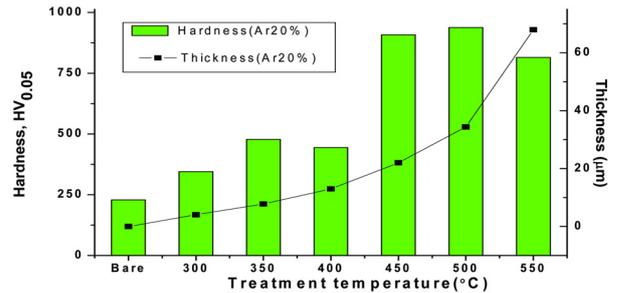


Fig. 4 Thickness and surface hardness of carburized layer produced on AISI316L austenitic stainless steel

Fig. 2의 조직사진에서 경화층이 전체적으로 모재에 비하여 밝게 나타나 에칭 용액에 대한 내식성은 증가한 것으로 보이나, Fig. 5의 동전위 분극실험 결과에서 모든 온도에서 처리된 시편이 미처리재에 비하여 비록 부식전위가 높으나, 부식전류가 높아서 전체적으로 내식성이 저하된 것을 알 수 있다. 특히 550°C 이상의 온도에서 처리된 것은 스테인레스 강의 고유성질인 부동태 영역이 사라지고 이것은 Fig. 1의 XRD 분석에서 확인한 바와 같이 경화층에 형성된 석출물의 영향으로 공식이 심하게 일어나 내식성이 매우 감소하였다(안석환 등, 2009). 즉 저온 플라즈마 처리로 인하여 미세한 석출물(Cr₇C₃) 이 형성되고, 이 석출물 주변에 Cr 결핍영역이 발생하여 표면의 Cr₂O₃막이 손상이 일어나서 내식성이 현저하게 감소하였다. 300°C~450°C에서 처리된 시편은 전체적으로 거의 유사한 부식특성을 보여준다. 즉 스테인레스 강의 고유성질인 부동태영역을 보여주고 있으나, 미처리재에 비하여 부식전압이 증가하였으나, 부식전류밀도가 약 10배 증가하여 내식성이 미소하게 감소하였다. 이는 XRD 및 SEM에서 관찰되지 않는 아주 미세한 탄화물이 경화층(Expanded austenite, γ_c)에 석출되어서 내식성이 저하되었다고 사료된다.

500°C에서 처리된 시편은 공식이 비교적 많이 진행되다가 다시 부동태 피막이 생성되어서 부식이 다소 지연되었다.

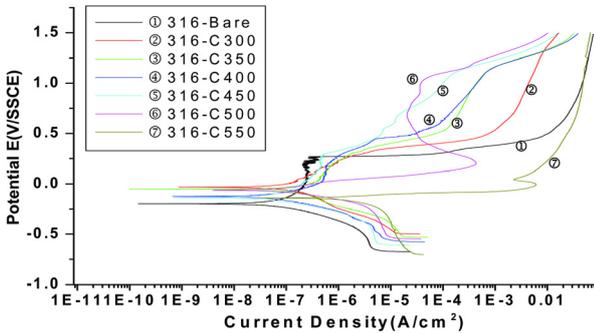


Fig. 5 Anodically potentiodynamic polarization curves of carburized layer produced on AISI316L austenitic stainless steel

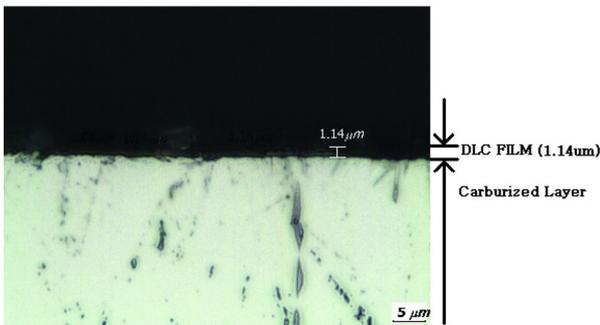


Fig. 6 Optical micrographs of cross-sections of duplex treated (plasma carburizing + DLC coating) layer produced on AISI316L austenitic stainless steel

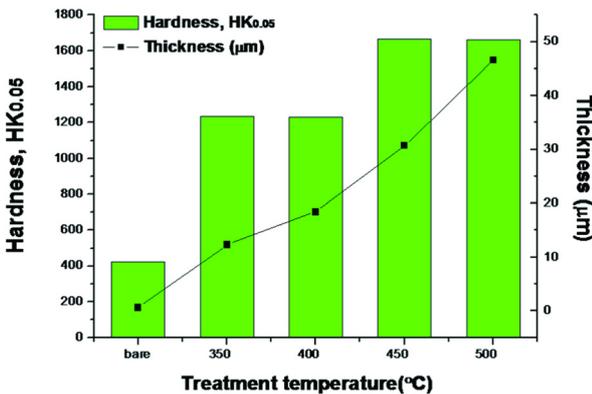


Fig. 7 Thickness and surface hardness of carburized + DLC film produced on AISI316L austenitic stainless steel.

Fig. 6은 500°C에서 침탄처리된 시편에 형성된 S-phase 위에 코팅된 DLC 박막을 광학현미경으로 관찰된 미세조직을 보여주고, Fig. 7은 침탄온도 변화에 따른 S-phase와 DLC 박막이 결합된 복합 코팅층의 경도변화를 보여주고 있는 실험자료이다. DLC 박막은 S-phase에 비하여 검게 보이고 두께는 약 1µm정도이고, 전체적으로 S-phase 위에 균일하게 코팅되어 있음을 알 수 있다. 저온에서 플라즈마침탄 처리후 DLC 코팅처리하면 침탄처리 없이

모재에 바로 DLC 코팅처리(400 HK_{0.05})에 비하여 경도는 적어도 3배 이상(1200-1600 HK_{0.05})으로 증가되었다. 이 경도치는 DLC 박막이 높은 경도를 보유하므로, 침탄후 최대경도값인 900 HV_{0.05}에 비하여 매우 높게 나타난다. 그리고 DLC 박막의 경도가 일정하더라도, 표면경도는 모재의 경도에 의하여 다르게 나타나고, 또한 모재의 경화층인 S-phase의 두께에 따라 변하는 것이 관찰되었다. 즉 모재의 경화층의 두께가 증가할 때 표면경도 또한 동시에 증가하는 것을 알 수 있고, 경화층의 두께가 30µm이상이면 표면경도는 모재의 영향을 거의 받지 않는 것을 알 수 있다. 모재의 경화층은 DLC 박막의 높은 경도와 모재의 낮은 경도 사이에 완충역할을 하여 밀착성을 향상시켜준다고 알려져 있으므로, S-phase와 DLC 박막이 결합된 복합 코팅층은 DLC 박막의 고유 특성인 높은 경도치를 보유하고 있고, 모재와 밀착성도 매우 좋아서 Load-bearing 능력을 획기적으로 향상시킬 수 있는 것으로 사료된다. 따라서 저온 플라즈마침탄 처리를 하여 형성된 S-phase 위에 DLC 코팅 처리를 하는 복합코팅기술의 양산화 가능성이 매우 높다고 사료된다.

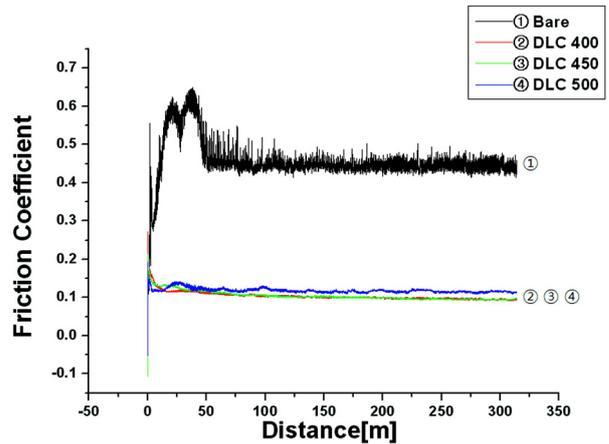


Fig. 8 Variation of the friction coefficients of carburized + DLC film sliding against a AISI 52100 slider

Fig. 8은 마모거리에 따른 마찰계수의 변화를 보여준다. S-phase위에 코팅된 DLC 박막은 마찰계수가 침탄온도에 관계 없이 일정한 값인 약 0.1을 유지하고, 미처리재의 0.45값에 비교하여 낮아서 마찰특성이 향상되었다. 즉 복합코팅층의 마찰계수는 DLC 박막의 하부조직인 침탄층의 두께의 영향을 거의 받지 않고, 고유의 DLC 박막의 마찰계수값과 거의 유사한 것을 알 수 있다. 따라서 플라즈마 침탄후 DLC 코팅처리는 S-phase의 높은 마찰계수를 획기적으로 낮추고, S-phase에 의한 높은 Load-bearing 능력이 동시에 작용하므로 매우 탁월한 표면특성을 보여주므로, 향후 다양한 분야에 적용이 될 것으로 사료된다.

Fig. 9는 미처리재, 450°C에서 침탄처리된 시편, 그리고 이 온도에서 형성된 S-phase 위에 코팅된 DLC 박막들의 부식특성평가를 위하여 실시한 동전위 분극시험 자료이다. 미처리재 및 침탄처리시에 비하여 S-phase와 DLC 박막이 결합된 복합 코팅층의 부식전류밀도가 100배 이상으로 낮아짐으로 부식특성이 획기적으로 향상된 것을 알 수 있다. 이 이유는 DLC 박막 자체의 우

수한 내식특성과 S-phase 위에 형성된 미세한 기공들을 DLC 박막이 채워주는 역할을 하여 부식속도를 100배 이상으로 지연시키고 있다고 사료된다.

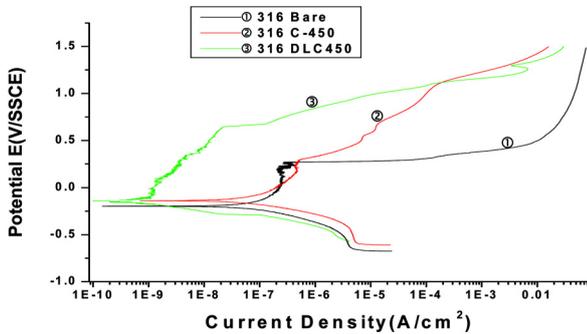


Fig. 9 Anodically potentiodynamic polarization curves of carburized + DLC film produced on AISI316L austenitic stainless steel

4. 결 론

- (1) 모재와 구별되는 Expanded austenite (γ_c) 층이 처리온도 ($300^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$) 구간에서 모두 형성되었고, 550°C 에서 처리된 시편에서 Cr_7C_3 석출물이 생성되었다.
- (2) 경화층은 처리온도가 증가할수록 두께가 증가하여 550°C 에서 약 $65\mu\text{m}$ 까지 도달하였고, 시편의 표면경도는 모재에 비하여 약 4배 이상 증가 하였으며 약 $900\text{ HK}_{0.05}$ 에 근접하였다.
- (3) $300^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ 에서 처리된 시편은 전체적으로 거의 유사한 부식특성을 보여주고 스테인레스 강의 고유성질인 부동태영역을 보여주고 있으나 저온 플라즈마침탄 처리로 미세한 탄화물이 석출되어, 미처리재보다 내식성이 미소하게 저하되었다. 550°C 이상에서 처리된 것은 부동태 영역이 사라지고 내식성이 크게 저하되었다.
- (4) S 상위에 코팅된 DLC 박막은 마찰계수가 침탄층의 0.45값에 비하여 낮고 일정한 값인 0.1을 유지하여서 마찰특성이 향상되었다. 그리고 약 $1\mu\text{m}$ 두께의 DLC 박막의 코팅은 S상의 표면경도를 $1700\text{ HK}_{0.05}$ 로 증가시켰다.
- (5) DLC 박막은 부식전류밀도가 S 상에 비하여 $1/100$ 로 낮추어져서 부식특성을 향상시켰다.

후 기

이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지역대학우수과학자 사업(20110006121) 지원, 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00042888)의 연구수행의 결과 및 동의대학교 2010년도 학술연구조성비(2010-AA195)로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Sedriks, J. (1996). *Corrosion of stainless steels, 2nd ed.*, John Wiley & Sons, New York.

Smith, W.F. (1981). *Structure and properties of engineering alloy, 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York.

Sun, Y., (2005a). "Enhancement in Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steels by Surface Alloying with Nitrogen and Carbon", *Mater. Lett.*, Vol 59, pp 3410-3413.

Sun, Y., (2005b). "Kinetics of Low Temperature Plasma Carburizing of Austenitic Stainless Steels", *Mater. Proc. Tech.*, Vol 168, pp 189-194.

Sun, Y., Li, X.Y., Bell, T. (1999). "Low Temperature Plasma Carburizing of Austenitic Stainless Steels for Improved Wear and Corrosion Resistance", *Surf. Eng.*, Vol 15, No 1, pp 49-54.

Ueda, N., Yamauchi, N., Sone, T., Okamoto, A. and Tsujikawa, M. (2007). "DLC Film Coating on Plasma-carburized Austenitic Stainless Steel", *Surf. Coat Technol.*, Vol 201, pp 5487-5492.

안석환, 강홍주, 서현수, 남기우, 이진찬 (2009). "0.2% N을 첨가한 수퍼 2상 스테인리스강의 열처리 조건에 따른 특성 평가-제3보: 부식특성", *한국해양공학회지*, 제23권, 제5호, pp 85-91.

2011년 8월 10일 원고 접수
 2011년 11월 8일 심사 완료
 2011년 12월 23일 게재 확정