

플라즈마 질화처리한 GCD40의 기계적성질 및 내식성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance of GCD40 by Plasma Nitriding

김무길 · 정병호 · 김상수

M. K. Kim, B. H. Jung, and S. S. Kim

Key Words : Ductile cast iron(구상흑연주철), Plasma nitriding(플라즈마질화), Hardness(경도), Specific wear(비마멸), Corrosion resistance(내식성), Polarization(분극)

Abstract : The characteristics of corrosion resistance for the surface of ductile cast iron(GCD40) by plasma nitriding process have been studied in terms of electrochemical polarization behaviors including corrosion potential(E_{cor}), anodic polarization trends, polarization resistance(R_p), and also have been studied microstructures, hardness and specific wear of nitrated layer

Nitrated layer showed an enhanced hardness values in all the plasma nitriding condition investigated. In the result of wear test, specific wear of nitrated specimens were much decreased than that of non treated specimens. In the results of XRD, ν' phase and ϵ phase were detected in nitrated surface. And it was found that ϵ phase was decreased and ν' phase was increased respectively, as the nitriding time became longer. In the test of corrosion resistance, natural potentials in all the nitrated specimens were towards noble directions than in the case of non treated specimens. The measurement of electrode potentials revealed that corrosion resistivity of plasma nitrated specimens were higher than in the case of the non treated specimens.

1. 서론

첨단기술의 발달에 따라 우수한 특성을 지닌 새로운 소재에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 각종 신소재의 개발이 진행되고 있으며, 또한 기존 소재에 요구되는 특성을 부여하기 위한 표면개질 기술의 필요성이 점차 증대되고 있다. 금속재료에 적용되는 표면개질 방법으로는 침탄, 질화, PDT, CVD 및 PVD 등이 있다.

이들 방법 중 PDT(Plasma Diffusion Treatment)는 플라즈마의 높은 에너지를 이용하여 C, N, B 등의 원소를 금속표면에 확산, 침투시켜 내마멸성 및 내식성 등의 기계적 성질을 향상시키는 표면개질 수단으로 '열화학적 처리'라고도 한다.

PDT에 의한 표면개질 기술은 크게 plasma nitriding, plasma carburizing, plasma boronizing 등으로 구분된다^{1~5)}.

이러한 표면개질 처리기술 중 플라즈마 질화법은 비교적 저온에서 처리가 이루어지기 때문에 열영향에 의한 조직변화 또는 변형이 적고, 단시간에 균일한 표면개질층을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다⁶⁾. 또한 에너지 절약형의 무공해 표면개질 기술이라는 특징 뿐 아니라 질화속도가 종래의 가스질화보다 신속하며, 경도, 내마멸성, 내식성 등의 특성을 용이하게 부여하는 것이 가능하여 소재의 다용도, 다기능화 혹은 고급재의 고정밀도, 고기능화를 도모하는 수단으로서 연구되고 있다⁹⁾.

이와 관련된 예로, 강의 표면에 질화층을 형성시켜 내마멸, 내식성 및 내피로 특성을 개선시킨 보고들이 있다¹⁰⁾. 한편, 스테인리스강을 제외하면 탄소강, 합금강 및 주철은 종래의 질화법에 의해서도

접수일 : 2001년 9월 20일

김무길, 정병호, 김상수 : 부경대학교 재료공학부

내식성 향상이 가능하며, 이를 위해서는 내식성 향상에 밀접한 관계가 있는 것으로 알려진⁷⁾ε상의 질화물이 15~20μm이상 형성될 필요가 있으며, 반면 질화량이 낮은 ν'상은 내식성을 저하시킨다고 보고되고 있다⁸⁾. 구상흑연주철도 플라즈마 질화처리시 처리부품의 내마멸성, 내식성 및 피로강도의 향상을 기대할 수 있기 때문에, 최근 자동차부품을 시작으로 그 용도가 확대되고 있으나 플라즈마 질화에 관한 기초적 연구는 적다. 따라서, 본 연구에서는 GCD40의 구상흑연주철에 대하여 질화처리온도가 일정할 때 중요한 공정변수인 시간, 가스비율 등의 변화에 따른 표면경도, 내마멸성 및 내식특성에 대해 검토하였고, 특히 내식특성에 있어서는 미처리재와 질화처리재에 대해 양극분극시험을 실시한 후 부식전위, 부식전류밀도 및 분극저항을 각각 측정하여 비교·평가하였으며, 이와 아울러 부식시험후의 표면과 단면조직도 관찰하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용 재료 및 화학 조성

본 실험에서 사용한 시료는 시판되고 있는 구상흑연주철인 GCD40 봉재를 구입하여 사용하였으며, 그 시료의 화학성분을 Table 1에 나타내었다. 환봉 시편은 ∅20×15mm의 크기로 절단하고, 시험편을 세우기 위하여 외주에서 중심방향으로 깊이 2mm를 절단하였으며, 530℃에서 응력제거 열처리를 행한 다음 탈탄층을 제거하였다. Fig. 1은 최종 기계가공한 질화용 시편의 치수와 형태이다.

Table 1 Chemical composition of alloy used

Material	Chemical composition(wt.%)					
	C	Si	Mn	Mg	P	S
GCD40	3.78	2.82	0.09	0.05	0.02	0.01

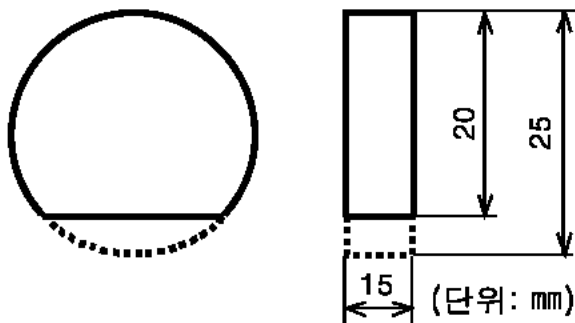


Fig. 1 Geometry of the specimen for nitriding

2.2 실험방법

2.2.1 플라즈마 질화처리

본 실험에서 질화용 PDT장치는 마이크로펄스 플라즈마 장치(Rübig, PN 50/80, Austria)를 사용하였다. 질화용 시편은 균일한 질화처리를 위해 표면에 존재하는 불순물이나 산화피막을 제거하기 위하여 표면을 연마지(#1200)로 연마하고 초음파 세척한 다음 메탄올로 최종 세정하여 건조시킨 후, 질화조에 장입하였다.

질화처리온도는 예비실험을 통하여 520℃에서 처리시간을 3, 5, 7 및 10시간, 처리압력을 265Pa, 그리고 가스비율을 H₂:N₂ 3:7, H₂:N₂ 5:5, H₂:N₂ 7:3으로 각각 변화시켜 이러한 질화조건들이 경도, 조직, 내마멸성, 내식성변화에 미치는 영향을 검토하였다.

2.2.2 미세조직 및 경도측정

각 실험 조건하에서 처리된 시편은 횡단면을 절단하고 연마한 후, 5% 나이탈(HNO₃+CH₃OH)부식액에 에칭한 다음, 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, JOEL, JSM 820)으로 시험편에 형성된 질화층을 관찰하였다. 그리고, 질화처리 후의 각 시편에 대해서는 마이크로 비커스 경도기를 사용하여 표면경도를 측정하였다.

또, 전자탐침미소분석기(EPMA, Shimazu, EPMA 1400)를 이용하여 질화층의 단면에 대하여 표면에서 중심방향으로 N, C, Fe, Mg, Mn, Si성분 등의 분포상태를 선분석(line analysis)하였다.

그리고 각각의 질화처리조건에서 생성된 질화층 표면의 화합물을 조사하기 위하여 Cu Kα/Ni를 이용한 X 선 회절시험기(X ray Diffraction, XRD)를 이용하였다.

2.2.3 내마멸시험

마멸시험에는 Ogoshi(大越)식 마멸시험기를 사용하였으며, 마멸시험의 조건은, 최종하중 31.4N, 마찰거리 100m, 그리고 마찰속도는 1.9m/sec로 일정하게 하였다. 이 시험에 의한 평가법으로 시험후의 비마멸량(W_s, mm³/kg·mm)은 다음 식으로 계산하였다.

$$W_s = B \cdot b^3 / 8 \cdot r \cdot p \cdot l$$

여기서, B ; 회전원판의 두께(0.03m), b ; 마멸흔적의 폭, r ; 회전원판의 반경(0.15m), p ; 최종하중(N), l ; 마찰거리(m)를 나타낸다.

2.2.4 내식성 시험

내식성은 분극시험용 전위차계(Potentiostat : CMS100 전기화학적 부식측정시스템)¹¹⁾를 이용하여 동전위법으로 시험을 실시하였다. 이때 기준전극으로는 포화카로멜전극(S.C.E.)을, 보조전극으로는 탄소봉(Carbon rod)을 사용하였다.

시험은 ASTM G5¹²⁾ 규정에 의거, 0.1N H₂SO₄ 용액에서 약 1시간 침지시켜 시험이 시험용액 환경에서 안정화된 후 실시하였으며, 시험전위는 개로전위(O.C.P)를 0.05V에서 +2.5V까지, 주사속도(Scan rate)는 5mV/sec로 하였다. 시험결과로서는 시험편의 자연전위측정과 더불어 분극저항법과 타펠(Tafel)법을 이용한 분극전위(E_{corr}), 부식전류(I_{corr}) 및 분극저항(R_p)을 조사하여 내식성을 각각 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 질화층의 표면경도

질화조건에 따른 질화층 표면의 경도값은 Fig. 2에서와 같이 미처리재에 비해 높은 값을 보이고 있으며, 또 가스비율을 H₂:N₂ 3:7, H₂:N₂ 5:5, H₂:N₂ 7:3으로 하고, 질화시간을 3, 5, 7 및 10시간으로 변화시켜

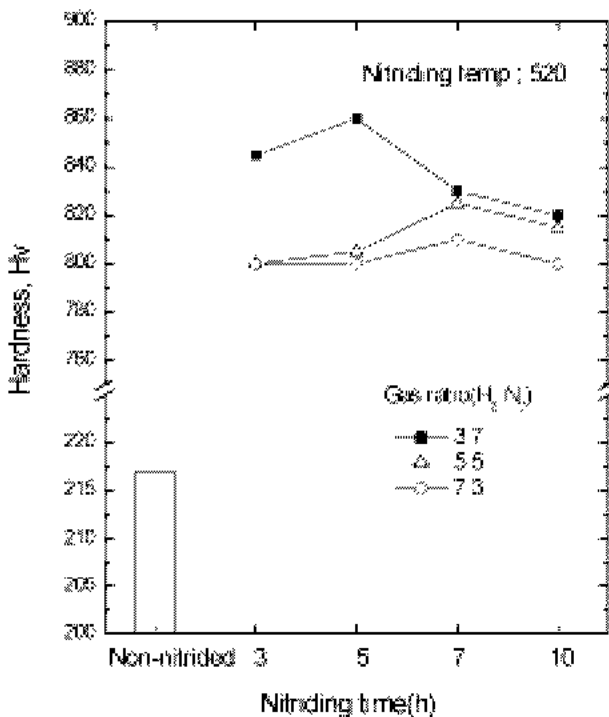


Fig. 2 Maximum surface hardness value of nitrated GCD40 at different nitriding time and gas ratio

도 표면경도는 약 800~850Hv 범위의 값을 나타내고 있다. 따라서 질화 처리시간과 가스비율에 따른 표면경도의 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 질화시간이 증가되면 다소 표면경도값이 감소하는 경향을 보이는 것은 질화 초기에 형성되었던 화합물층의 미세한 질화물들이 조대화되어 격자변형이 완화된 것이기 때문인 것으로 추정된다.

또한 Fig. 2에서 표면경도값이 가장 크게 나타난 것은 H₂:N₂의 가스비율이 3:7이고, 5시간동안 질화 처리하였을 때의 경우이다. 이것은 모재의 페라이트가 증가하여 질화층의 경도가 높아졌으며, 특히 γ' 상보다 경도가 높은 ϵ 상이 주로 형성되었거나, 탄소에 의한 격자 스트레인의 증가로 질화층의 결정립이 더욱더 미세하게 나타났기 때문이라고 사료된다.

3.2 질화층의 미세조직 및 생성상

질화처리시간에 따른 시험편의 SEM 미세조직은 질화처리온도와 가스비율이 일정할 때 처리시간이 길어짐에 따라 기지조직인 페라이트 입계와 입내에 강재에서 통상적으로 관찰되는 질화물보다 비교적 조대한 질화물이 형성되었다¹³⁾.

그리고, 일정한 질화처리온도에서 시간이 증가할수록 질화층(화합물층+확산층)의 두께가 증가되었으며, 또 표면부근은 백색의 화합물층이 존재하고 있고, 화합물층과 모재사이에 위치하는 확산층 중에는 γ' Fe₄N상으로 생각되는 조대한 침상의 질화물이 관찰되는 경향은 질화온도 520℃에서 시간 및 가스조성의 변화에 관계없이 동일하게 관찰되었다^{14,15)}.

Fig. 3은 이러한 현상들을 확인하기 위하여 질화처리온도 520℃에서 3시간동안 질화처리한 경우, 질화층 표면에서 내부로 주성분원소인 C, N, Fe, Mg, Mn 및 Si의 분포를 EPMA를 사용하여 선분석한 결과를 나타낸다. Fig. 3에서와 같이 화합물층에 인접한 확산층에서 N와 Si성분의 특정한 분포변화는 거의 관찰되지 않았다. 그러나 Fe, Mg 및 Mn의 경우에는 화합물층에서 상대적으로 높은 회절강도를 나타내는 부분(대체로 페라이트 영역에 해당함)에 비해 낮은 X 선 회절강도가 나타나 있다. 그리고 C의 경우는 확산층에서 상대적으로 회절강도가 낮은 부분(대체로 페라이트 영역에 해당함)과 대체로 유사한 X 선 회절강도가 나타나 있다. 이러한 경향은 표면부근에서 질화물의 화합물층이 형성되면서 Fe 및 C의 양이 상대적으로 저하하였다는 것을 의미한다.

한편, 표면부근의 화합물층이 형성된 부분에서 질소가 많이 분포되어 있는 것을 확인할 수 있는데, 이와 같은 질소의 농도가 나타나는 영역은 SEM에서 관찰한 바와 같이 표면부근의 화합물층을 의미한다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 질화처리시간에 따른 질화층 표면의 X 선 회절분석 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 질화처리에서의 대표적인 생성상은 화합물층인 표면 부근에서 γ' Fe₄N상과 ϵ Fe₂₋₃N의 혼합상으로 질화시간이 증가할수록 ϵ 상이 증가하고 γ' 상이 감소하는 경향을 나타낸다. 그리고 질화가스중 질소가스의 함량이 증가할수록 ϵ 상이 증가하고 γ' 상이 감소하는 경향으로 나타난다¹⁶⁾.

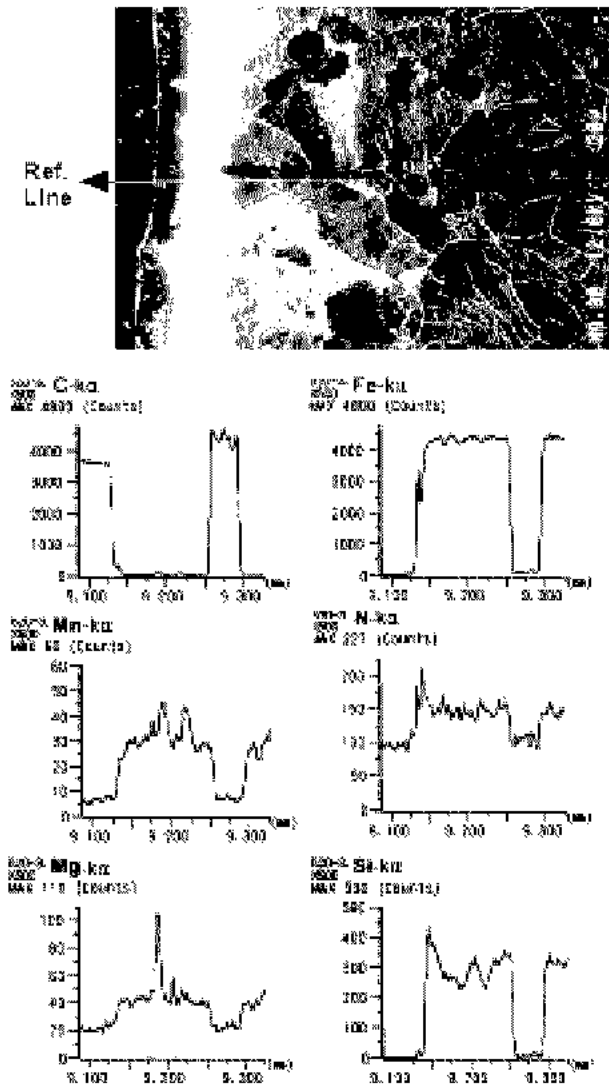


Fig. 3 EPMA line profiles for various elements on cross section of GCD40 nitrided at 520°C for 3h

이러한 경향은 플라즈마 질화처리가 열화학적 확산열처리이기 때문에 확산속도에 관계되는 인자인 온도와 시간에 의해 생성상들이 변화되기 때문인 것으로 생각되며 본 실험의 GCD40에서도 이러한 경향과 일치하는 결과가 Fig. 3에서 확인되었다.

즉, Fig. 4에서 알 수 있듯이 3시간 동안 질화처리한 시편에서는 γ' Fe₄N상의 회절강도가 ϵ Fe₂₋₃N상의 회절강도보다 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 처리시간을 3, 5, 7 및 10시간으로 증가시켜 질화처리한 시편에서는 γ' Fe₄N의 회절강도보다 ϵ Fe₂₋₃N의 회절강도가 다소 높게 나타나고 있다. 즉 질화처리시간이 길수록 ϵ 상이 증가하고, γ' 상이 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 그 이유는 질화처리시간이 길어짐에 따라 많은 양의 질화물이 표면에 흡착하여 상대적으로 γ' 상 보다 질소함량이 높은 ϵ 상이 많이 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 경향들은 가스비율을 변화시켜도 거의 동일한 형태를 나타냄이 확인되었다.

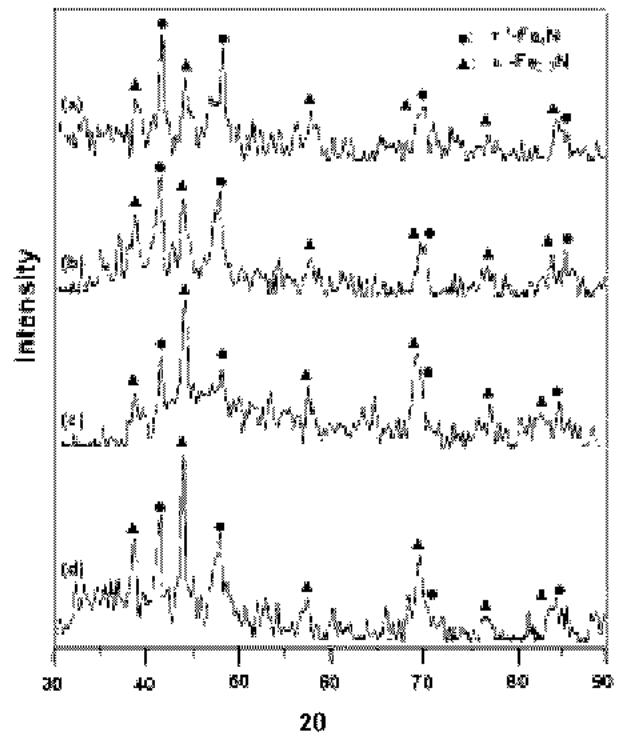


Fig. 4 X ray diffraction pattern from the surface of GCD40 nitrided at 520°C for various nitriding times
(a) 3h (b) 5h (c) 7h (d) 10h

3.3 질화층의 내마멸특성

Fig. 5는 질화처리하지 않은 시료와 처리온도 520°C에서 시간 및 가스비율을 변화시켜 플라즈마

질화처리한 시편의 비마멸량(W_s)을 나타내었다. 그림에서 미처리재의 경우에는 비마멸량이 217×10^{-5} ($\text{mm}^3/\text{kg} \cdot \text{mm}$)로 크게 나타났다. 그러나, 질화처리한 경우에는 비마멸량이 $6 \times 10^{-5} \sim 14 \times 10^{-5}$ ($\text{mm}^3/\text{kg} \cdot \text{mm}$)의 범위로 미처리재의 경우보다 비마멸량이 크게 감소함을 나타내고 있다.

그리고, 질화시간을 3시간, 5시간 및 7시간으로 하고, $\text{H}_2:\text{N}_2$ 의 가스비율을 달리한 경우, 가스비율이 3:7 일 때가 비마멸량이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다. 특히 동일한 가스비율로 질화처리해도 5시간 처리한 시험편에 비해 7시간 처리한 것의 내마멸성이 약간 우수하게 나타났다. 이상과 같은 마멸시험 결과를 볼 때, 질화처리한 경우가 미처리재의 경우보다 비마멸량이 현저하게 감소하여, 질화처리에 의하여 내마멸성이 크게 향상한다는 것을 알 수 있으나, 질화처리시의 각 조건에 따른 내마멸성의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

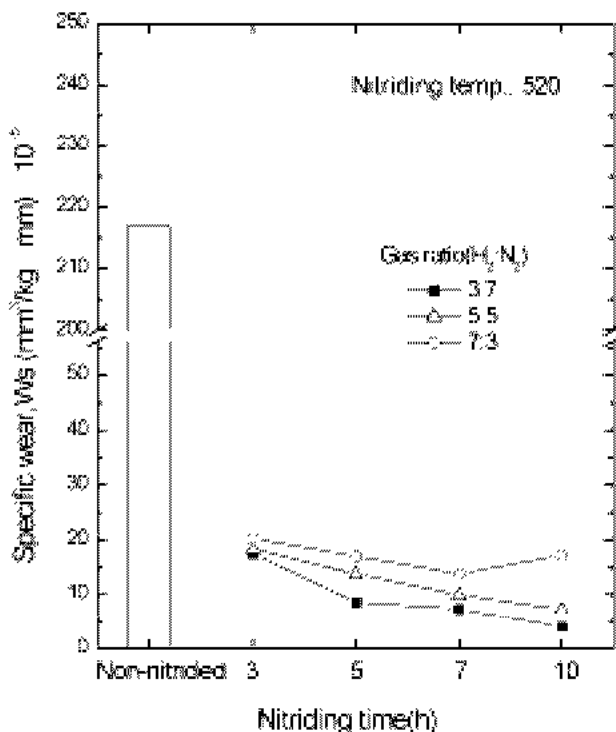


Fig. 5 Specific wear of nitrided GCD40 at different nitriding time and gas ratio

3.4 질화층의 내식성

3.4.1 자연전위에 의한 내식성

Fig. 6은 미처리재 및 플라즈마 질화처리재에 대한 자연전위(E_{corr})를 질화시간과 가스비율에 따라 비교한 것으로 미처리재의 경우는 약 680mv 정

도의 전위 분포를 나타내고 있으나, 각 조건에 따라 플라즈마 질화처리한 시편의 자연전위는 미처리재에 비하여 상당히 높은 350~200mV의 범위를 나타내고 있다.

이것은 플라즈마 질화처리가 모재의 전위를 귀(noble)한 방향으로 상승시킨다는 것을 의미한다. 즉, 질화처리한 시편이 미처리재에 비해 상대적으로 귀한 전위를 나타낸다는 것은 질화층이 열역학적 측면에서 부식발생확률이 감소되는 것으로 추정할 수 있다.

3.4.2 양극분극곡선에 의한 내식특성

Fig. 7은 $\text{H}_2:\text{N}_2$ 의 가스비율이 3:7로 일정할 때 시간을 변화시켜 질화처리한 시편과 미처리재에 대한 양극분극곡선을 조합하여 나타낸 것이다.

분극곡선에서 나타난 바와 같이 미처리재의 경우 부동태 영역이 존재하지 않고 활성구역으로만 이루어진 반면에, 질화처리한 시편의 경우는 모든 조건에서 +0.1V 부근에 뚜렷한 부동태 거동을 보이고 있으며 부동태화 되는 구간의 특성이 거의 유사하다.

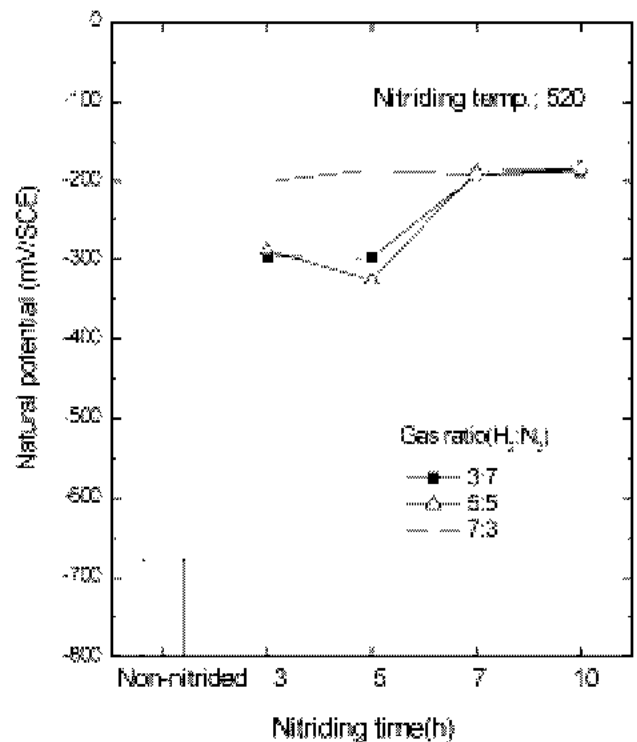


Fig. 6 Natural potential of nitrided GCD40 at different nitriding time and gas ratio

또 Fig. 7에서 알 수 있듯이 처리시간을 변화시켜도 양극분극곡선은 거의 유사한 경향을 나타내고

있지만, 처리시간이 길어질수록 부동태 구간이 약간 증가되어 나타나 있다.

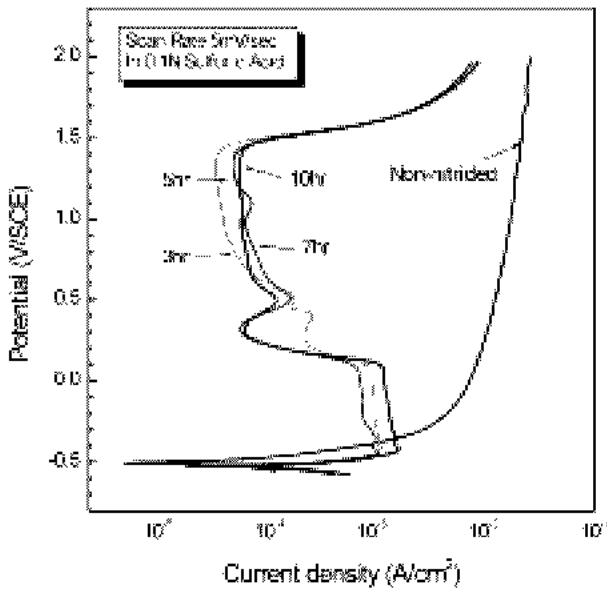


Fig. 7 Effect of nitriding time on polarization curves of GCD40 specimens nitrided at 520°C (H₂:N₂ 3:7)

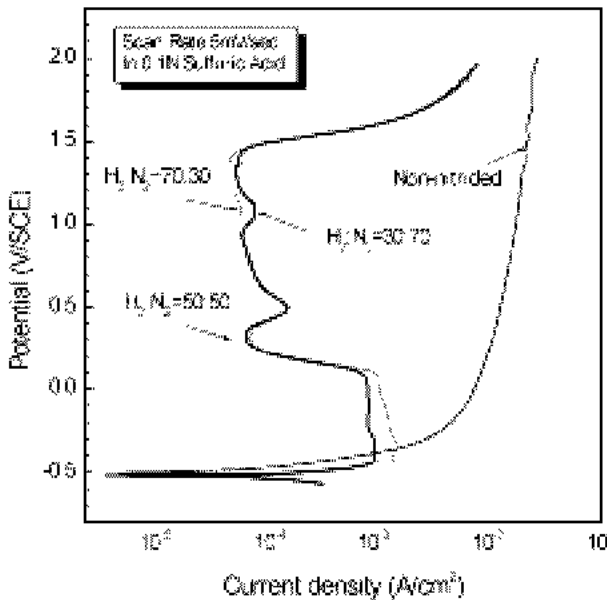


Fig. 8 Effect of gas ratio on polarization curves of GCD40 specimens nitrided at 520°C for 5h

Fig. 8은 가스비율을 변화시켜 5시간 질화처리한 시편과 미처리재의 양극분극곡선을 나타낸 것으로 앞의 결과와 유사하게 +0.1V 부근에서 뚜렷한 부동태 거동을 보이고 있다. 그리고 가스비율을 변화시켜도 양극분극 특성은 큰 차이를 보이지 않고

있지만, H₂:N₂ 7:3에서 처리한 시편의 경우가 부동태 영역이 비교적 넓게 나타나 있다.

이렇게 Fig. 7 및 Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 미처리재의 시편은 부동태 구역이 존재하지 않고 활성구역만 있는 반면에 플라즈마 질화처리한 시편은 전체적으로 처리공정변수에 크게 의존하지 않고 거의 유사한 양극분극특성과 부동태 거동을 나타내며, 미처리재에 비해 부식전류밀도(I_{corr})값이 훨씬 적어 우수한 내식특성을 나타낸다고 볼 수 있다.

이와 같이 플라즈마 질화처리에 의해 내식성이 증가되는 이유는 화합물층을 구성하고 있는 내식성이 강한 $\epsilon(\text{Fe}_2\text{-}_3\text{N})$ 상이 상대적으로 내식성이 약한 모재쪽을 보호하는 피막작용을 하기 때문인 것으로 생각된다.

3.4.3 부식시험후의 미세조직

Fig. 9는 미처리재와 더불어 520°C에서 처리시간에 따른 플라즈마 질화처리재의 양극분극 시험후 표면의 대표적인 SEM 조직이다.

미처리재의 경우는 기지조직인 페라이트가 부식에 의해 상당히 심하게 손상된 것을 관찰할 수 있다. 그러나 질화처리한 시편의 경우는 일부 화합물층이 부식에 의해 용해되어 없어지고 미세한 피팅

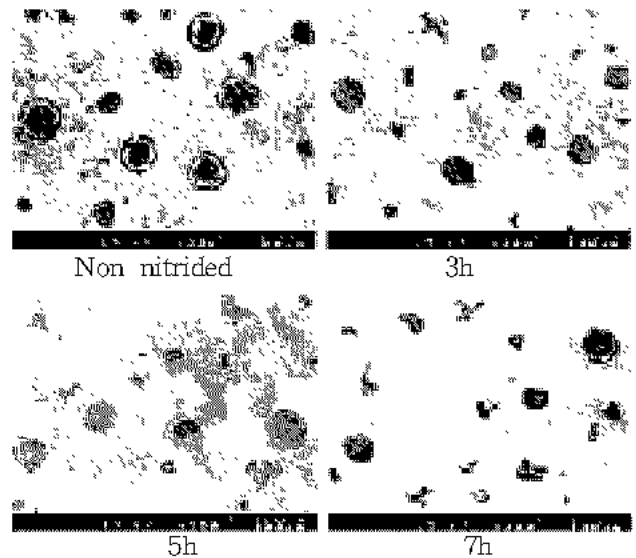


Fig. 9 Surface morphology of specimens after anodic polarization tests in 0.1N H₂SO₄ (nitriding temp.; 520°C, H₂:N₂ 3:7)

(pitting)이 표면 전체에 분포되어 있는 것이 관찰되고 있으나 미처리재에 비해서는 표면상태가 상당히 양호하게 나타나 있다. 그리고 처리시간에 따른 큰 차이는 보이지 않으나 처리시간이 짧은 3시간이나 5시간의 시편이 처리시간이 긴 7시간보다 표면 부식상태가 좋지 않게 관찰되었다.

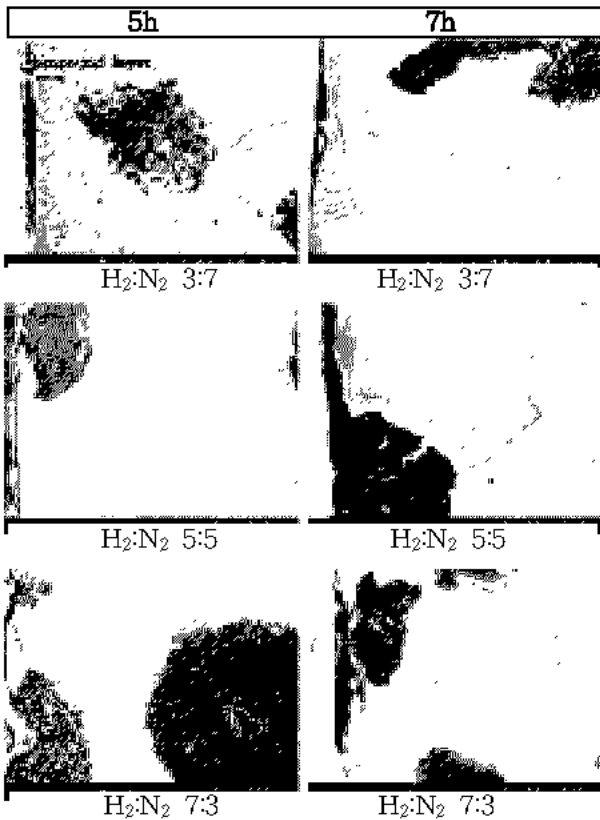


Fig. 10 Crosssection microstructures of specimens nitrided at various gas ratio after anodic polarization tests in 0.1N H₂SO₄(nitriding temp.; 520°C)

Fig. 10은 520°C에서 가스비율을 달리하여 5시간 및 7시간동안 질화처리한 시험편을 양극분극시험 후, 표면부근의 단면에 대한 SEM 조직이다.

화합물층은 부식에 의해 많이 용해되어 없어지고 부식표면도 평활하지 못한 상태를 나타내고 있는데, 이러한 상태는 나타내지는 않았으나 질소가스 함량이 낮거나 질화온도가 낮은 경우가 더 심하게 나타남이 확인되었다. 그러나 화합물층 내부의 확산층이나 모재쪽은 어떤 영향도 나타나지 않았다.

3.4.4 부식전류 및 분극저항에 의한 내식성 평가

Fig. 11~Fig. 12는 미처리재 및 각각의 처리조건을 달리하여 질화처리한 시험편에 대하여 부식속도를 비교하기 위해 타펠법 및 분극저항법을 이용하여 구한 부식전류밀도(I_{corr}) 및 분극저항(R_p) 값을 비교한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 11~Fig. 12에서 질화처리한 시편들에 비해 미처리재의 전류밀도(I_{corr})가 매우 높게 나타남을 알 수 있다.

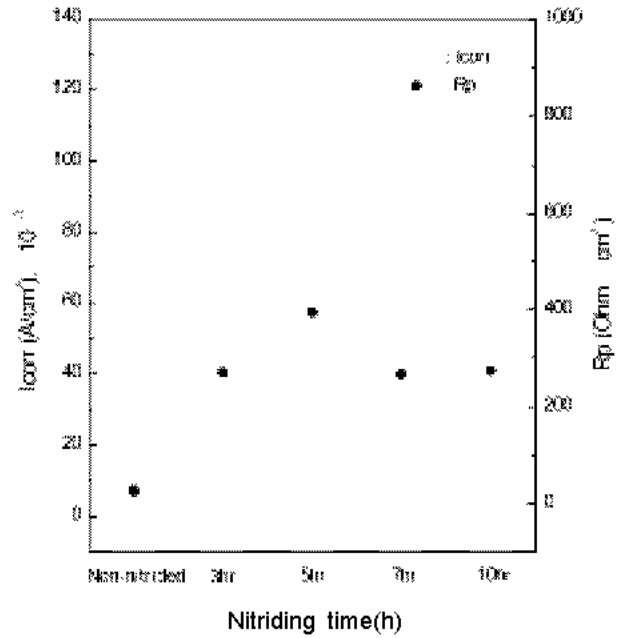


Fig. 11 Effect of nitriding time on I_{corr} and R_p value of specimens nitrided at 520°C (H₂:N₂ 3:7)

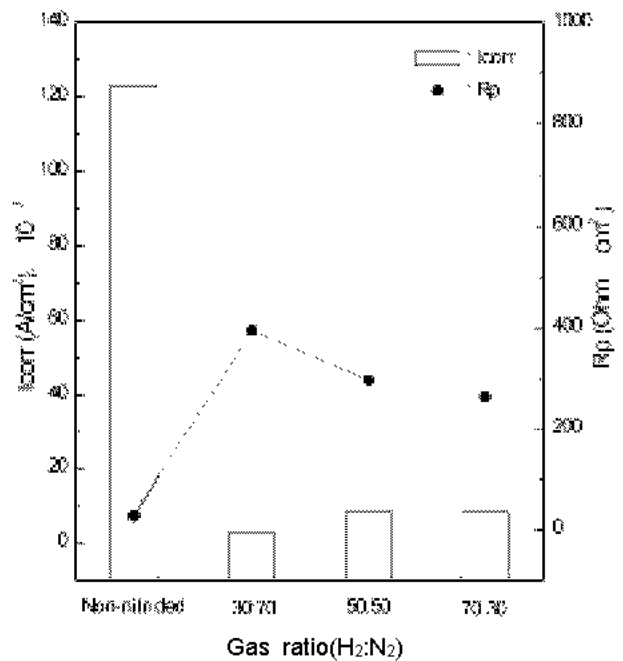


Fig. 12 Effect of gas ratio on I_{corr} and R_p value of specimens nitrided at 520°C for 5h

따라서 플라즈마 질화처리에 의해 내식성이 현저하게 증가되었음을 알 수 있다. 그러나 질화처리 조건인 처리시간(Fig. 11), 가스비율(Fig. 12)에 따라서는 I_{corr} 값이 약간씩 차이를 보이고 있는데, 이것은 질화처리중 질화물 생성거동의 변화와 재료

의 화학성분 등이 복합적으로 영향을 미쳐서 나타난 것으로 생각된다.

그리고 내식성을 함축하는 분극저항(R_p) 값도 그림에 비교하여 나타내었는데, Fig. 11~Fig. 12에서 알 수 있는 바와 같이 질화처리재의 분극저항(R_p) 값은 $2.48 \times 10^2 \sim 3.95 \times 10^2 (\Omega \cdot \text{cm}^2)$ 범위를 나타내는데 비해, 미처리재는 $2.57 \times 10 (\Omega \cdot \text{cm}^2)$ 으로 질화처리재의 경우 상당한 내식성 향상을 보이고 있다.

이와 같이 질화처리한 시편들의 분극저항이 미처리재의 분극저항보다 상당히 큰 것을 알 수 있으나, 질화처리조건의 변화에는 분극저항값에 큰 차이가 없어, 처리조건의 변화에 따른 내식성 차이는 적다고 판단된다.

4. 결 론

플라즈마 질화처리한 구상흑연주철(GCD40)에 대하여 질화시간, 온도 및 가스비율에 따른 기계적 성질 및 내식성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라즈마 질화처리재의 표면경도는 미처리재의 경우와 비교하여 크게 증가되었다.
- 2) XRD 분석결과, 질화층 표면인 화합물층에 γ -Fe₄N상과 ϵ -Fe₂₋₃N상이 형성되었으며, 처리시간이 길수록 ϵ 상이 증가하고, γ 상이 감소하였다.
- 3) Ogoshi식 마멸시험 결과, 미처리재에 비해 질화처리재는 내마멸성이 크게 향상되었다. 그러나 처리시간 및 가스비율에 따른 내마멸성의 차이는 적었다.
- 4) 양극분극시험 결과, 질화처리재의 자연전위는 귀(noble)한 방향으로 상승되었으며, 분극저항(R_p)값은 미처리재에 비해 상당히 높게 나타나 우수한 내식성을 나타내었다. 그러나 처리조건 변화에 따른 내식성의 차이는 적었다.

참고 문헌

1. A. Fry, "Stickstoff in Eisen, Stahl und Eisen", Kruppsche Monatshefte, 43, p. 76, 1923
2. 赤況ら, "鐵と鋼", Vol. 49, No. 10, p. 1494, 1963
3. H. S. Park, C. Y. Kang and K. Nakata, "Surface Modification of Iron alloy Steels by Plas-

- ma Nitriding Process(in Korean)", Journal of KWS, Vol. 14, No. 2, pp. 1~9, 1996
4. 中田一博, 國見宣明, 朴 和淳, 松田福久, "窒化物形成元素添加19Crステンレス鋼のプラズマ窒化による表面硬化特性", 熱處理, 35 5, pp. 288 294, 1995
5. 박화순, 조희정, 박봉규, 강정운, 中田一博, "플라즈마질화처리에 의한 13Cr 스테인리스강의 표면경화특성에 미치는 질화물형성원소첨가의 영향", 대한용접학회지, 16 1, pp. 88 97, 1998
6. Fils et al., "Corrosion behaviour of Stainless Steel after Plasma and Ammonia Nitriding", Surface Engineering, Vol. 5, No. 2, p. 151, 1989
7. N. Dingremont, E. Bergmann, M. Hans and P. Collignon, "Comparison of corrosion resistance of different steel grades nitrided, coated and duplex treated", Surface and Coatings Technology, Vol. 76, No. 77, pp. 218~224, 1995
8. 高瀬孝夫, "鋼の表面硬化法としての窒化", 鐵と鋼, Vol. 9, pp. 1423~1434, 1980
9. 山中久彦, "イオン窒化法", 日刊工業新聞社, pp. 5~62, 1984
10. R. Baboian, "Electrochemical techniques for corrosion engineering", NACE, 24, pp. 81~92, 1986
11. "CMS100 Framework Software", Operator's Manual, Gamry Instruments, Inc., pp. 1~6 1994
12. ASTM, Annual Book of ASTM Standards G5, Vol. 03, No. 02, American Society for Testing and Materials, pp. 63~73, 1994
13. M.K. Kim et al., "Characteristics of Hardness and Wear Resistance of Plasma Nitrided and Nitrocarburized Carbon Steels", Journal of the Korean Society for Heat Treatment, 12 2 (1999), pp. 166~173 Vol. 12, No. 2, pp. 166~173, 2000
14. G. R. Booker, J. Norbury and A. L. Sutton, J. Iron Steel Inst., p. 205, 1957
15. 大黒 貴, 金子 最, "PHACOMP", 日本金屬學會誌, Vol. 33, p. 673, 1969
16. 金武吉, "中, 高炭素低合金鋼의 플라즈마窒化特性에 관한 研究", 韓國海洋大學校 大學院, pp. 1~190, 1999