

플라즈마 질화처리한 중, 고탄소저합금강의 내식성에 관한 연구

김무길* · 이병찬** · 정병호* · 박화순*** · 김기준**** · 김원녕****

Characteristics on Corrosion Resistance of Medium, High Carbon Low Alloy Steels Using Plasma Nitriding Process

M.K. KIM* · B.C. LEE** · B.H. Jung* · H.S. PARK*** · K.J. KIM**** · W.N. KIM****

Key words : Plasma nitriding, Plasma softnitriding, Carbon steels, Low alloy steels, Corrosion resistance, Anodic polarization test

Abstract

The characteristics of corrosion resistance for the surface of medium, high carbon steels and low alloy steels, utilizing as manufacturing the machinery structures and machining tools and treating by plasma/ion nitriding process have been studied in terms of electrochemical polarization behaviors including corrosion potential(E_{corr}), anodic polarization trends and polarization resistance(R_p). The seven base materials showed a clear passivation behavior for the polarization tests in the ASTM standard solution, 1N H_2SO_4 . Although the treated surface by plasma nitriding for the seven test materials showed a significant increase in hardness, the treatment gave a detrimental effect in corrosion resistance. The various characteristics, including corrosion potential, polarization curves, microstructures, corrosion current, polarization resistance, among non-treated, nitriding and/or soft-nitriding treated specimens have been investigated and some of the mechanisms discussed.

1. 서 론

구조용 금속재료에 대한 내마모성이나 피로강

도를 향상시키기 위한 표면경화법은 코팅법과 표면확산침투법으로 대별할 수 있으며, 일반적으로 내박리성과 저비용 때문에 확산침투법이 공업용

* 부경대학교 금속공학과(원고접수일 : 98년 8월)

** 부경대학교 대학원

*** 부경대학교 재료공학과

**** 한국해양대학교 기관공학과

으로 널리 보급되어 있다¹⁾. 확산침투법중에서 특히 글로우(glow)방전을 이용한 플라즈마/이온질화법(plasma/ion nitriding process, 이하 플라즈마 질화법이라 함)은 종래의 가스질화법이나 염욕법에 비하여 에너지절약, 무공해 등의 우수한 특징을 가지고 있다^{1~3)}. 플라즈마질화법은 저압(대체로 수 100Pa) 분위기 중에서 글로우 방전을 이용하여 질소가스를 이온화시키고 음극의 피처리재 표면에 충돌시켜 질화처리하는 방법으로, 그 일부가 실용화되어 있는 철강재료뿐만 아니라, 최근에는 Ti, Mo, Cu, Ni 및 그 합금 등의 비철계 금속재료에 대한 적용도 주목을 받고 있다^{4~8)}.

일반 철강재료에 대하여 플라즈마질화법을 적용한 결과에 의하면, 탄소강이나 저합금강의 경우 표면경도가 대체로 Hv400~1000의 범위를, 그리고 고합금강에서는 Hv1000 이상의 경도를 얻을 수 있으며, 내마모성 및 내피로성이 현저하게 향상되는 것으로 알려져 있다^{9,10)}. 철강재료에 대한 플라즈마 질화처리는 재료의 표면경도를 증가시켜 내마모성을 향상시키기 위한 표면경화법으로 주로 이용되고 있다. 경도와 함께 질화층에 대한 내식성 변화도 실용상 중요한데 이와 관련하여 스테인리스강에 대해서는 플라즈마질화처리에 의하여 Hv1200~1300의 높은 표면경도가 얻어지는 반면, 내식성은 상당히 저하되는 것으로 알려져 있다^{11,12)}.

본 연구에서는 기계구조용 탄소강, 기계구조용 저합금강, 탄소공구강 및 고탄소 Cr베어링강으로 사용되고 있는 중, 고탄소강 및 중, 고탄소저합금강 19종에 대해 일련의 플라즈마질화특성에 대한 연구의 일부로써, 플라즈마질화 및 연질화처리에 의한 내식성 변화에 관한 것이다. 플라즈마질화 및 미처리재의 내식성에 대해서 1N H₂SO₄ 용액에서

양극분극시험을 통하여 분극전위(E), 부식전류(I_{corr}) 및 분극저항(R_p)을 측정하여 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서는 기계구조용 탄소강, 기계구조용 저합금강, 탄소공구강 및 고탄소 Cr베어링강으로 사용되고 있는 중, 고탄소강 및 중, 고탄소저합금강의 7종류를 사용하였으며, 그 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

(1) 플라즈마질화 및 연질화처리

플라즈마질화 및 연질화처리용 시험편은 직경이 15~20mm인 봉재로부터 두께 5mm로 절단한 후, 표면을 에머리페이퍼 #800으로 연마하였으며, 질화처리의 반응가스는 공칭순도 99.9999%인 고순도의 질소 및 수소가스를 사용하였다.

플라즈마질화처리는, 질화처리 전에 노내를 0.65Pa이하까지 배기 시킨 후 혼합탱크 내에서 일정한 가스비로 혼합한 N₂+H₂ 가스를 질화처리노내에 도입하였다. 가스압은 노내의 도입량과 배기량을 조절함으로써 소정의 압력을 유지하였으며, 질화처리 조건은 예비실험을 통하여 최적 조건으로 하였다. 반응가스는 N₂:H₂를 1:1의 체적비로 혼합한 후 0.65Pa 이하로 배기시킨 노내에 도입하고 질화처리시의 가스압력은 800Pa(6Torr)로 일정하게 유지시켰으며, 550℃에서 6시간 처리하였다.

한편 플라즈마 연질화처리의 경우는 반응가스로 H₂:(20%CH₄-80%N₂)=1:4의 체적비로 혼합한 것을 사용하였으며, 연질화처리시의 가스압

Table 1 Chemical composition of test materials

Material	Chemical composition (wt.%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	O
1 SM20C	0.21	0.23	0.42	0.014	0.008	0.05	0.09	0.01		
2 SM40C	0.39	0.25	0.70	0.026	0.028	0.02	0.12	0.01	-	-
3 STC3	1.05	0.33	0.98	0.020	0.018	0.05	0.47	-	0.0130	0.001
4 SCr420	0.20	0.31	0.81	0.025	0.018	-	1.16	-	-	-
5 SCr440	0.40	0.29	0.76	0.025	0.012	0.07	1.09	0.02	0.0120	0.004
6 SCM440	0.40	0.27	0.71	0.018	0.028	0.08	1.05	0.16	0.0100	0.001
7 SNCM439	0.39	0.28	0.73	0.012	0.012	1.72	0.69	0.17	0.0094	0.003

력은 약 267Pa로 유지하였다. 처리온도 및 시간은 질화처리의 경우와 동일하게 하였다.

(2) 양극분극시험

플라즈마질화 미처리재(이하 B로 표시함)를 비롯하여 질화(이하 N으로 표시함) 및 연질화(이하 S로 표시함)처리재에 대하여, 먼저 이들 시험편에 리드선으로 연결한 후 에폭시로 마운팅하였다. 그리고 시험편의 표면을 양극 작용면만을 남기고 절연테이프로 피복절연한 다음 동일한 노출면적을 만들기 위해 약 $2.79 \times 10^{-3} \text{mm}^2$ 의 면적을 펀치로 뚫은 후 시험장치에 부착시켰다. 양극분극시험은 potentiostat와 부속장치를 Fig. 1과 같이 연결하여 사용하였는데, 이때 기준전극으로는 포화카로멜전극(S.C.E.)을, 보조전극으로는 탄소봉(carbon rod)을 사용하였다. 시험은 ASTM G5 규정에 의거¹³⁾, 1N H₂SO₄ 용액에서 1hr 침지시켜 시험편이 시험용액 환경에서 안정화된 후 실시하였으며, 시험전위범위는 개로전위(O.C.P.)의 -0.05V에서 +3V까지, 주사속도는 5mV/sec로 하였다. 이들 시험결과를 분극저항(Polarization - Resistance)법

과 타펠(Tafel)법을 이용하여 질화 및 연질화처리된 각 시험편들의 분극전위(E), 부식전류(I_{corr}) 및 분극저항(R_p)을 조사하여 내식성을 비교하였다. 데이터 분석시 타펠방식을 기본으로 하여 개발된 소프트웨어를 이용하였으며, 타펠구간이 명확하지 않은 데이터는 분석전위구간을 조정하여 실시하였으며 부식속도의 평가는 타펠상수 β_a와 β_c를 0.12V/decade로 설정한 후 분극저항법을 이용하여 수행하였다.

(3) 기타

미처리재, 플라즈마질화 및 연질화 시험편에 대하여 마이크로 빅커스(Hv, 하중 1N)경도기로 표면경도값을 측정하였으며, 분극시험 전·후의 시험편에 대하여도 질화층 단면의 경도분포를 측정하여 비교하였다. 질화층의 미세조직은 부식시험 전후의 단면을 경면연마 및 에칭하여 광학현미경 및 주사식전자현미경(SEM)으로 비교 관찰하였으며, 부식시험후에도 SEM으로 관찰하였다. 한편, 부식시험전의 질화층 표면에 대한 질화물의 분석은 X-선 회절시험기(CuKα)를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 질화층의 미세조직 및 경도

Fig. 2는 부식시험전의 플라즈마질화 및 연질화처리한 시험편의 단면 미세조직을 나타낸 것이다. 질화층의 화합물층(compound layer)은 에칭이 되지 않아 확산층(diffusion layer)과 쉽게 구별되고 있다. 이러한 화합물층의 두께는 재료의 종류에 따라 다소 차이는 있으나 본 연구의 질화처리 조건에서는 약 7~15μm의 범위로 나타났다. 그리고 질화층 표면에 형성된 질화물에 대한 X-선 회절 시험결과에 의하면, 플라즈마질화 및 연질화처리에 의하여 주로 γ'-Fe₄N, ε-Fe₂₋₃N 및 Fe₂₋₃(C, N)의 혼합상을 나타내었으며, 확산층에서는 γ'-Fe₄N으로 생각되는 침상의 질화물이 관찰되었다. Fig. 3에 플라즈마질화처리한 SM40C재의 표면에 대한 XRD시험결과의 예를 나타내었다.

Table 2는 각 재료의 질화층의 표면경도값을 나타낸 것이다. 질화 및 연질화처리에 의하여 경도가

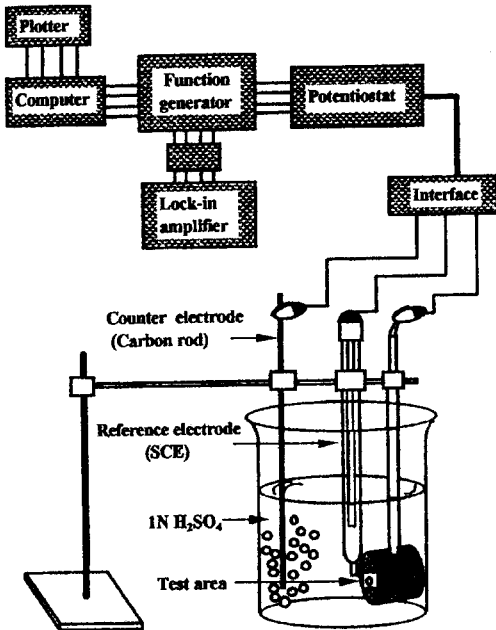


Fig. 1 Polarization test equipments and specimen set - up

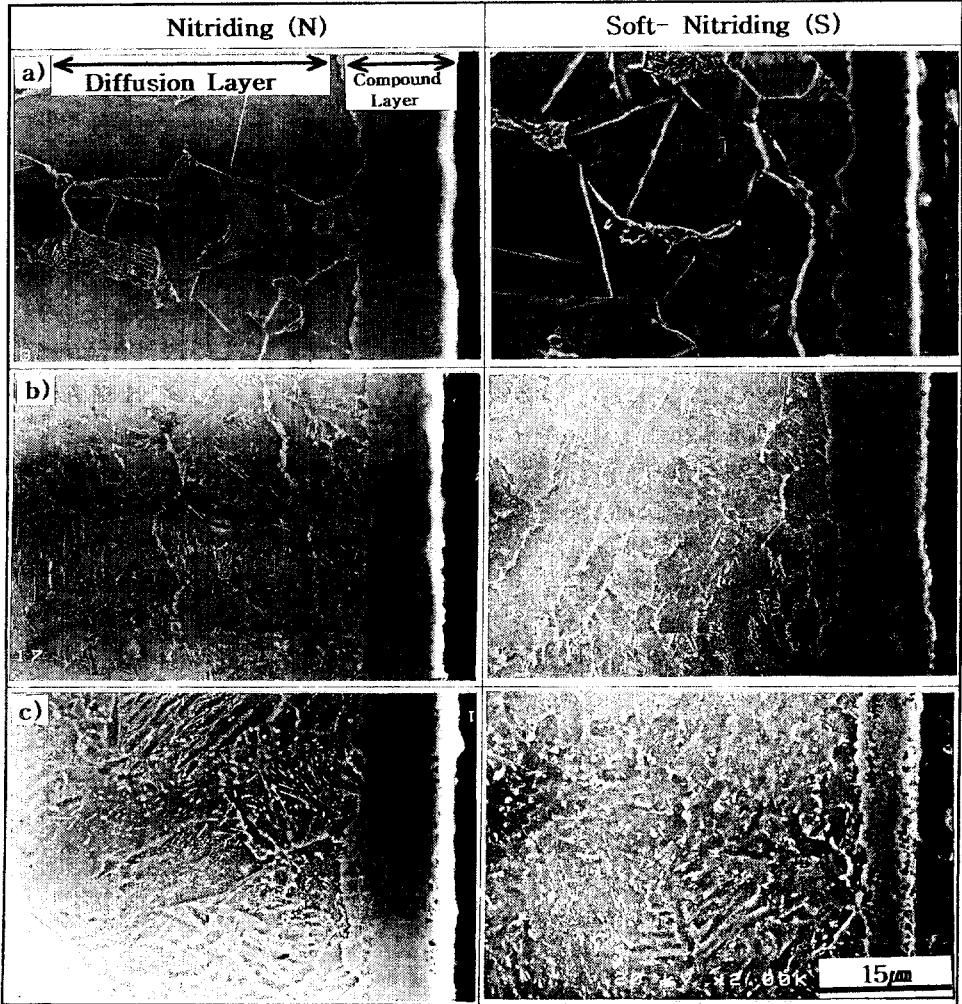


Fig. 2 Cross - section microstructures of specimens with plasma nitriding treatment at 550°C for 6 hrs, (a) SM20C, (b) SCM440 and (c) SNCM439

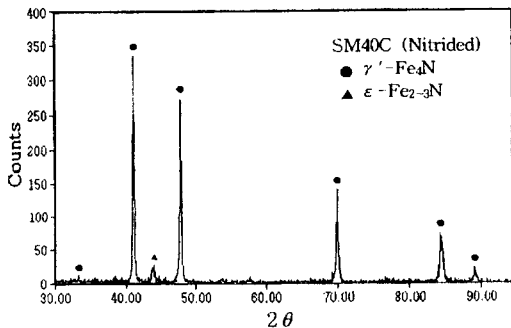


Fig. 3 X - Ray diffraction result of the specimen surface for SM40C after plasma nitriding treatment

Table 2. Surface hardness(Hv) of specimens after plasma nitriding treatment

Materials	Non-treatment(B)	Nitriding(N)	Soft-nitriding(S)
SM20C	144	550	717
SM40C	169	637	734
STC3	205	658	782
SCr420	165	640	756
SCr440	257	671	781
SCM440	317	666	832
SNCM439	197	594	769

현저하게 증가하였으며, 연질화처리한 경우가 질화처리에 비하여 더욱 높은 값을 나타내었다.

3.2 내식성의 시험결과

Fig. 4은 미처리재, 질화 및 연질화처리재에 대한 자연전위(E_{corr})를 비교한 것이다. 미처리재의 경우는 각 재료에 따라 약간의 차이를 보이고 있지만 대체로 +150~+200mV 범위에서 거의 유사한 전위의 분포를 나타내었다. 한편 질화 및 연질화처리한 시편의 자연전위는 질화처리의 종류에 관계없이 모재에 비하여 상당히 높은 +500~+600mV의 범위를 나타내었다. 이것은 플라즈마 질화처리는 모재의 전위를 귀(noble) 방향으로 상승시키며, 또한 질화 및 연질화처리가 미처리재 즉 모재의 자연전위 변화에 미치는 영향은 거의 동일하다는 것을 의미하고 있다. 그러므로 질화 및 연질화처리가 모재에 비하여 상대적으로 귀한 전위를 나타내는 것은 질화층이 열역학적 측면에서 부식발생 확률이 감소된다는 것으로 추정할 수 있으나, 자연전위의 값은 단지 부식의 발생여부만 국한되기 때문에 정확한 부식속도의 평가는 어렵다고 할 수 있다.

Fig. 5는 7종의 미처리재에 대한 양극분극곡선을 조합하여 나타낸 것이다. 이들 결과에 의하면, 양분극시 모든 재료들이 +1.0V 부근에서 뚜렷한 부동태 거동을 보이고 있으며, 부동태화 되는 구간의 특성이 거의 유사하다. 그러나 +1.0V 이상의 부동태 구간에서는 재료에 따라 상당한 부동태 전류밀도의 차이를 나타내었다. 특히 SM20C, STC3, SNCM439의 모재는 타재료에 비해 부동태

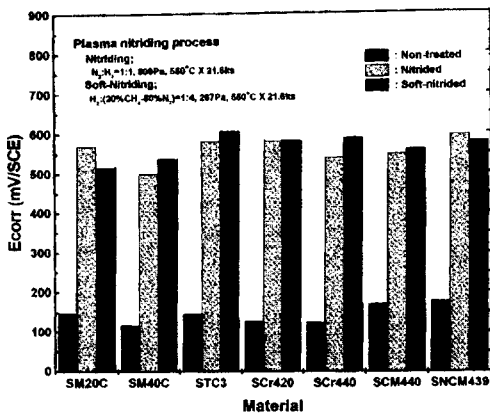


Fig. 4 Comparison of corrosion potential for 7 materials treated with nitriding, soft nitriding and non-treated

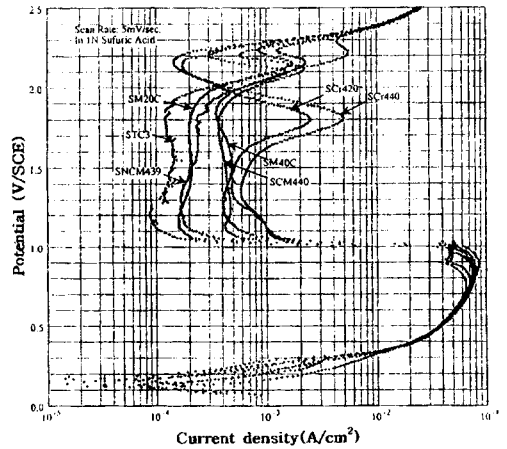


Fig. 5 Comparison of polarization curves for the base metals of 7 materials used

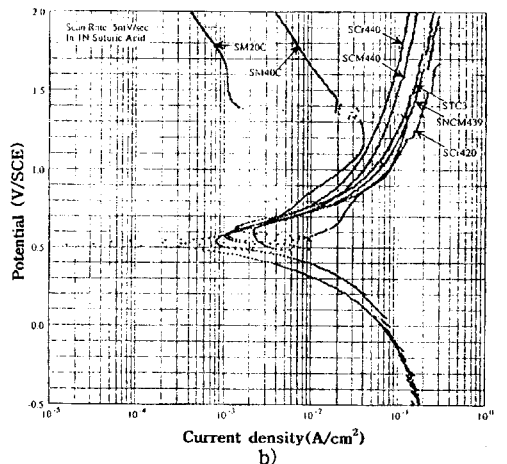
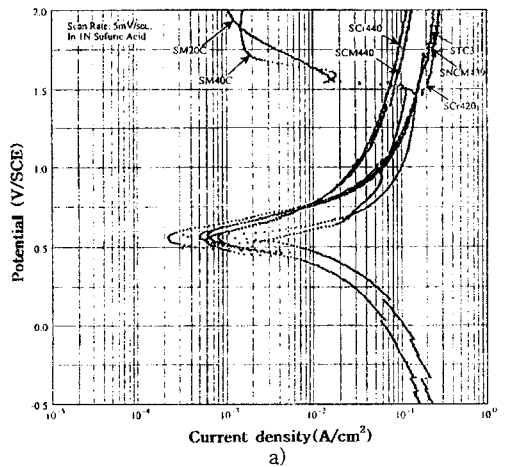


Fig. 6 Comparison of polarization curves of the nitrided(a) and soft-nitrided(b) specimens

영역에서 안정된 부동태막을 유지하는 것으로 보이나 SCr440이나 SCM440 등의 경우는 부동태 유지전류가 상대적으로 높고 일정치 않은 전위-전류밀도 경향으로 보아 취약한 특성을 갖는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 질화 및 연질화처리한 시편들의 양극분극 곡선을 각각 비교한 것이다. Fig. 4에서 질화 및 연질화처리한 시편의 자연전위가 미처리재에 비하여 상대적으로 높아 열역학적으로 모재에 비해 부식발생 가능성이 작다는 것을 언급하였다. 그러나 Fig. 6에서 보는 바와 같이 속도론적 측면에서는 질화처리한 시편의 교환전류밀도가 높아 일단 부식이 발생하면 질화처리된 시편이 훨씬 빠르게 부식될 수 있음을 보여 주고 있다. 그리고 미처리재의 경우에서와 마찬가지로 질화처리한 시편의

양극분극 특성은 질화 및 연질화에 관계없이 모두 대체로 유사한 경향을 보였다. 그러나 SM20C나 SM40C에서는 다른 5개의 재료에 비하여 비교적 뚜렷한 부동태 특성을 보였는데, 이는 미처리재의 양극분극시험 결과와 유사하게 개로전위(O.C.P.)를 기준으로 하여 +1.0V 양극분극시 부동태 특성이 나타나는 경향을 보였다.

이러한 이유로 양분극에 시편표면의 질화피막이 파괴된 후 내부 모재내에 남아 있는 확산층에 의해 부동태 특성이 나타났거나, 또는 부식시험 후에도 화합물층의 피막이 일부 잔존하기 때문으로 생각된다. Fig. 4~6을 종합해 보면 미처리시험편(Fig. 4)은 뚜렷한 부동태 경향을 보인 반면 질화 및 연질화처리된 시험편은 두 시험편을 제외하고는 부동태 거동을 나타내지 않았다. 질화와 연질화에 의해

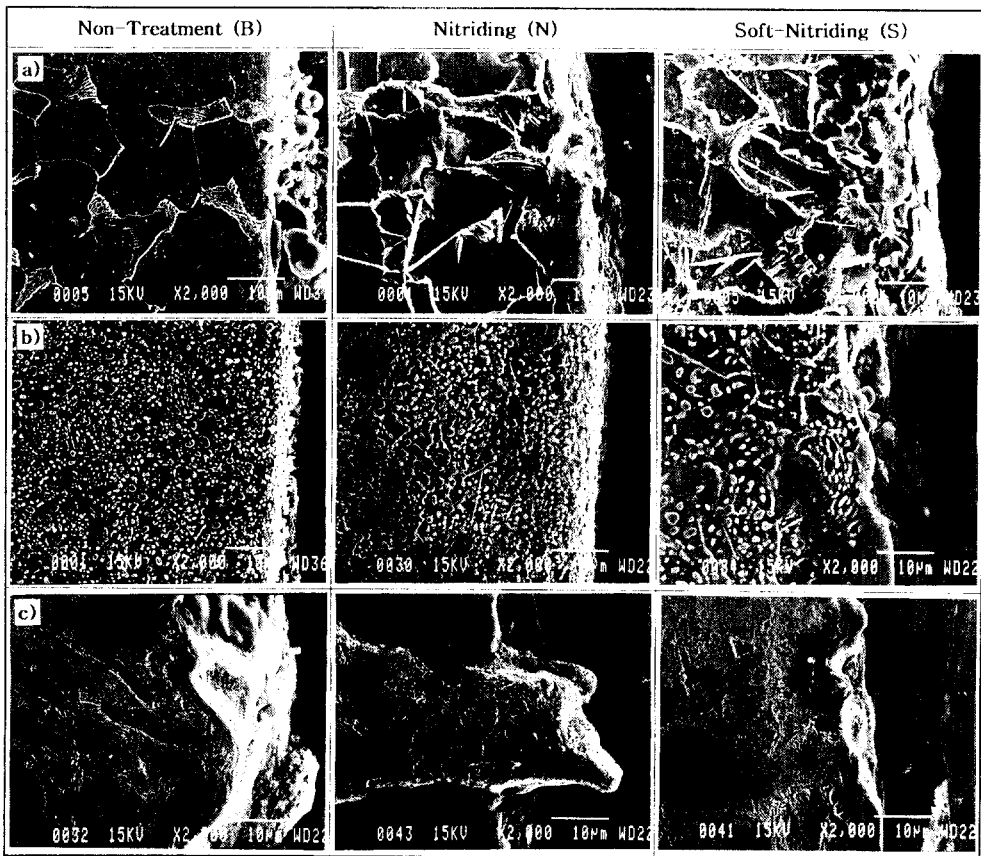


Fig. 7 Cross - section microstructures of specimens after tests in 1N H₂SO₄, (a) SM20C, (b) STC3 and (c) SCr440

내식성이 떨어지는 원인이 구체적으로 밝혀지지는 않았으나 질화와 연질화처리에 의한 표면 화합물층의 작용과 침투된 모재금속의 표면변질층이 미처리 금속과 같은 치밀한 부동태피막을 형성하기에 부적합한 어떤 원인이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 양극분극시험후의 표면부근의 단면조직을 촬영한 사진이다. 질화 및 연질화처리에 의해 형성된 질화층조직은 부식에 의해서 화합물층이 거의 없어진 것을 제외하고는 재료나 질화처리의 상이에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다. 그리고 상대적으로 양호한 내식성을 보였던 SM20C와 STC3재의 경우에는 타 재료에 비하여 화합물층이 국부적으로 잔존해 있는 부위가 다수 관찰되었으며, 또한 화합물층에 인접한 확산층에서의 입계부식의 흔적도 거의 관찰되지 않았다.

Fig. 8은 미처리재, 질화 및 연질화처리재의 부식시험후 표면상태를 나타낸 것이다. 모든 시험편의 표면에서 피팅(pitting)이 표면 전체에 분포되

어 있는 것이 관찰되었으며, 내식성이 나쁜 것으로 평가된 SCr440 시편 등의 경우는 내식성이 상대적으로 양호한 것으로 판단된 시편보다 이 피팅이 더욱 크고 깊게 나타나는 것이 확인되었다.

Fig. 9는 부식시험후의 단면에 대한 경도분포를 상대적으로 양호한 내식성을 보였던 SM20C와 내식성이 나빴던 SCr420의 경우를 비교하여 대표적으로 나타낸 것이다. SM20C의 경우, 질화 및 연질화처리의 경우가 처리전 경도(Table 2)의 550과 710에 비해 현저히 감소된 255와 280정도를 나타내고 있으며, SCr420의 경우도 표면처리전 640(Table 2)과 756에서 현저히 감소된 220과 240정도를 나타내고 있다. 이와 같은 현상으로 분극시험중 경도가 높은 표면층의 일부 또는 거의 대부분이 용해되었음을 의미하는 것이며, 표면의 높은 경도층이 상대적으로 내식성은 매우 약한 것으로 판단된다. 또한 표면경도가 높을수록 표면 근처에서의 경도구배가 더 큰 것으로 생각되며 이러한

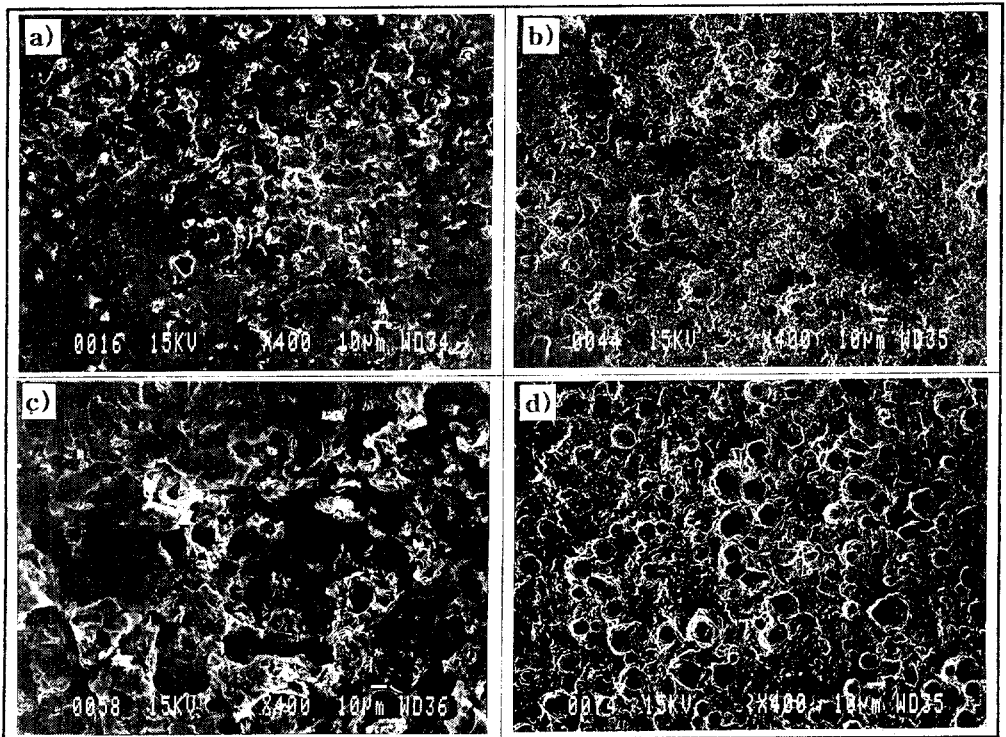


Fig. 8 Surface morphology of specimens after polarization tests in 1N H₂SO₄, (a) SM20C, (b) STC3, (c) SCr440 and (d) SNCM439

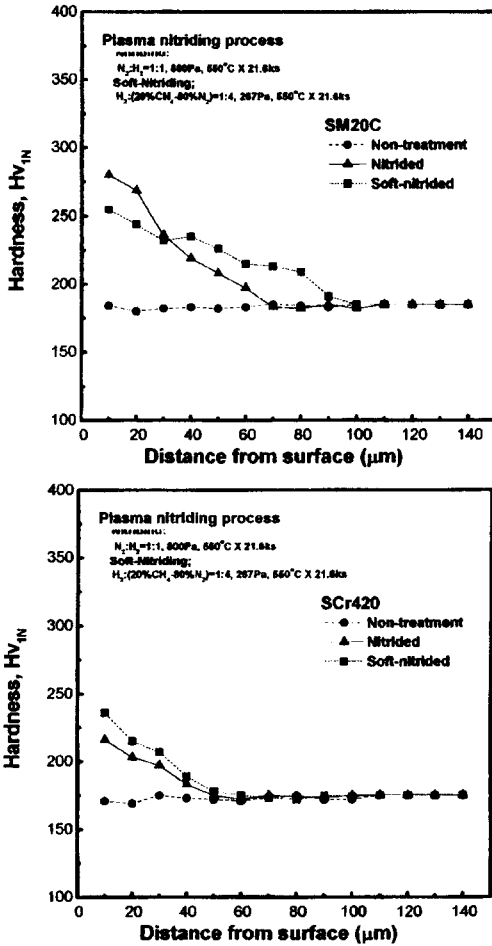


Fig. 9 Cross-section hardness distribution in nitrided layer after corrosion test in 1N H₂SO₄

급격한 경도변화에 의한 응력변화가 내식성을 떨어뜨리는 원인 중의 하나라고 추정된다.

Fig. 10은 미처리재 및 질화처리재의 부식속도를 비교하기 위하여 7종의 시험편에 대해 타펠법 및 분극저항법을 이용하여 구한 부식전류밀도(I_{corr}) 및 분극저항(R_p)을 비교한 결과를 종합적으로 나타낸 것이다. Fig. 10에서 나타낸 바와 같이, 미처리재의 부식속도(전류밀도, I_{corr})는 SM40C를 제외하고는 모두 질화 및 연질화처리재에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었으며 그 차이도 비교적 적은 유사한 경향을 보였다. 따라서 여기에서도 질화 및 연질화처리에 의해 내식성이 현저하

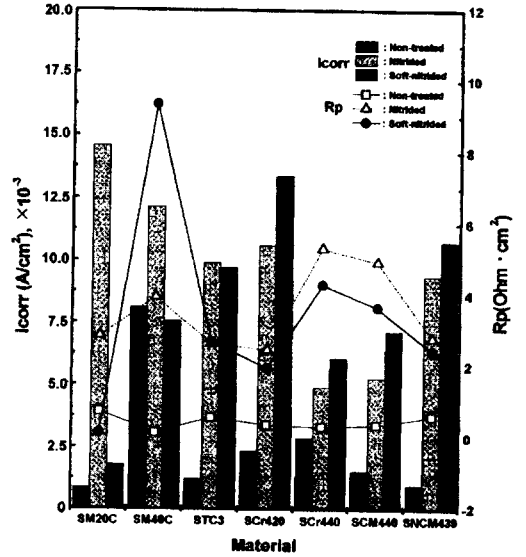


Fig. 10 Comparison of both I_{corr} and R_p

게 저하함을 확인할 수 있었다. 여기에서 질화방법과 재료에 따라 I_{corr}값에 차이를 보인 것은 질화처리중 질화물 생성거동의 변화와 재료의 화학성분 등이 복합적으로 영향을 미쳐서 나타난 것으로 생각된다^{14~15)}. 또한 Fig. 10은 내식성을 함축하는 분극저항(R_p)값을 비교한 것으로 그림에서 알 수 있는 바와 같이 미처리재의 분극저항이 질화 및 연질화처리재의 경우에 비하여 상당히 큰 것을 알 수 있고, 또한 연질화처리재의 경우 모재금속의 종류에 따라 분극저항이 상당히 달라지는 반면 질화처리한 것은 7종의 재료에서 거의 유사한 낮은 분극저항값을 나타내었다.

특히 SM20C, STC3, SNCM439 등의 모재는 R_p 값이 다른 모재들에 비하여 상대적으로 큰 값을 나타내었으며, 질화처리재의 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 대체로 낮은 유사한 값을 나타내었다.

4. 결 론

기계구조용 탄소강, 기계구조용 저합금강 및 탄소공구강으로 사용되고 있는 중, 고탄소강 및 중, 고탄소저합금강 7종에 대한 플라즈마질화특성에 대하여, 플라즈마질화 및 연질화처리에 의한 표면층의 내식성에 대하여 ASTM 표준시험법에 따라

- 양극분극시험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.
- 1) 550℃, 6시간의 질화처리에 의하여 표면경도는 미처리재에 비하여 현저하게 높은 값을 나타내었으며, 연질화처리의 경우가 더욱 높은 경도값을 나타내었다. 질화에 의한 화합물층의 두께는 약 7~15 μm 의 범위로 형성되었으며, 주로 γ - Fe₄N, ϵ - Fe₂₋₃N 및 Fe₂₋₃(C, N)의 혼합상을 나타내었다. 또한 확산층에서는 γ - Fe₄N으로 생각되는 침상의 질화물이 관찰되었다.
 - 2) 미처리재의 경우, SM20C, STC3, SNCM439는 비교적 안정된 부동태 특성을 갖는 반면, 나머지 4종은 부동태유지전류가 상대적으로 높거나 불안정한 부동태특성을 나타내었다.
 - 3) 질화 및 연질화처리는 미처리재에 비하여 상당한 내식성의 저하를 보였으나, 질화와 연질화에 의한 내식성의 차이는 거의 없었다.
 - 4) 양극분극시험후의 표면부근의 단면조직에 대한 관찰결과, 질화 및 연질화처리에 의한 질화층조직은 부식에 의해서 화합물층이 거의 없어진 것을 제외하고는 재료 및 질화처리 자체에 따른 변화는 거의 관찰되지 않았다.

참고문헌

1. A. Fry, "Stickstoff in Eisen, Stahl and Sonderstal", Kruppsche Monatshefte, 43, p. 137, 1923
2. 赤況ら, 鐵と鋼, 49-10, p. 1494, 1963
3. 박화순, 강정윤, 中田一博, 대한용접학회지, 14-2, p. 1, 1996
4. H. Bennek, Arch. Eisenhüttenw., 18, p. 61, 1944
5. H. Knuppel, Stahl. U. Eisen., 78, p. 1897, 1958
6. 松田福久ら, 溶接學會論文集, 10-3, p. 378, 1992
7. 中田一博ら, 表面技術, 44-11, p. 944, 1993
8. 박화순, 조희정, 박봉규, 강정윤, 中田一博, "플라스마질화처리에 의한 13Cr 스테인리스강의 표면경화 특성에 미치는 질화물형성원소첨가의 영향", 대한용접학회지, 16-1, pp. 88-97, 1998
9. 喜多ら, 日本金屬學會誌, 38-7, p. 854, 1974
10. 喜多ら, 金屬材料, 15-7, p. 26, 1975
11. Fils et al., "Corrosion behaviour of stainless steel after plasma and ammonia nitriding", Surface Engineering, 5-2, p. 151, 1989
12. 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
13. ASTM, Annual Book of ASTM Standards G5, Vol. 03,02. p. 73, 1994
14. 山中久彦, "イオン窒化法", 日刊工業新聞社, pp. 11~15, 1976
15. N. Dingremont, E. Bergmann, M. Hans and P. Collignon, "Comparison of the corrosion resistance of different steel grades nitrided, coated and duplex treated", Surface and Coatings Technology, 76-77, pp. 218-224, 1995

저 자 소 개



김무길(金武吉)

1946년. 1972년 인하대학교 공과대학 금속공학과 졸업. 1985년 한국해양대학 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 박사수료. 1979년~현재 부경대학교 금속공학과 교수, 당학회 회원.



박화순(朴和淳)

1956년 4월 1982년 부산대학교 공과대학 재료(금속)공학과 졸업. 1984년 부산대학 대학원 금속공학과 졸업(석사). 1988년 Osaka University 졸업(박사). 1984, 1988 Osaka University 웅집연구소 연구원. 1992년 미국 M.I.T 재료공학과 객원 연구원. 1989년~현재 부경대학교 재료공학과 부교수, 당학회 회원.



이병찬(李秉燦)

1961년 8월생. 1994년~현재, 광주·전남 열처리기술연구회 위원. 1996년 한국방송통신대학 행정학과 졸업. 1998년 부경대학 대학원 금속공학과(석사과정), 1990년~현재 울산직업전문학교 금속과학과장, 당학회 회원.



김기준(金基俊)

1956년 8월생. 1979년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1981년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(석사). 1992년 미국 Florida Atlantic University 졸업. 1981년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(석사). 1992~1992 미국 Florida Atlantic University 연구원. 1982년~현재 한국해양대학교 기관공학과 부교수, 당학회 회원.



정병호(鄭炳琥)

1950년 9월생. 1973년 부산대학교 공과대학 졸업. 1978년 부산대학 대학원 금속공학과 졸업(석사). 1989년 동대학원 졸업(박사). 1985년~현재 부경대학교 금속공학과 교수, 당학회 회원.



김원님(金埴寧)

1934년 4월생. 1959년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1965년 전북대학 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1981년 한국해양대학 대학원 기관공학과(박사), 1994~1996년 한국박용기관학회 회장. 1996~1998년 한국해양대학 대학원장. 1968년~현재 한국해양대학교 기관공학과 교수, 당학회 고문.