

## 플라즈마 질화를 이용한 저합금강의 표면경화 연구

김동원 · 정진목 · 이원종\*

경기대학교 재료공학과  
\*한국과학기술원 재료공학과

## A Study on the Surface Hardening in Low Alloy Steels using Plasma Nitriding

Dong-Won Kim, Jin-Mook Chung and Won-Jong Lee\*

Department of Materials Science and Engineering, Kyonggi University,  
Suwon, Korea, 440-760

\*Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced  
Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea 305-701

### 요 약

저합금강인 SCM415강에 대한 플라즈마 질화의 변수에 따른 질화특성을 관찰하여 최적공정을 확립한 후 기존의 질화법인 염욕질화와 가스질화 되어진 시편과 피로특성을 비교하였다. 가스조성비는 질소대 수소의 비가 3:1일 때 가장 높은 표면경도를 가지며, 온도는 높아질수록 표면경도는 낮아지고 유효경화깊이는 깊어지는 것을 알 수 있었다. 또한 질화시간이 증가될수록 표면경도는 낮아지고 유효경화깊이는 깊어졌다. 본 플라즈마 질화장비에서의 최적공정조건은 공정온도 500°C, 공정시간 4시간, 질소와 수소의 비가 3:1으로 관찰되었고, 이 때 표면경도는 1181 Hv, 화합물층의 깊이 17  $\mu\text{m}$ , 유효경화깊이 450  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 가스질화 되어진 시편의 표면경도는 945 Hv, 유효경화깊이 250  $\mu\text{m}$ 였고, 염욕질화 되어진 시편의 경우는 각 846 Hv, 300  $\mu\text{m}$ 으로 관찰되었다. 또한 플라즈마 질화공정을 거친 질화강과 가스질화, 염욕질화 되어진 질화강의 피로특성을 평가한 결과 플라즈마 질화강이 가스질화, 염욕질화 되어진 질화강에 비하여 1.5~2배의 우수한 피로특성을 나타내었다.

### Abstract

The effects of the plasma nitriding variables on the surface hardening of the SCM 415 steel were studied and the optimum nitriding process conditions were proposed. And the fatigue properties of plasma nitriding treatment were compared with other nitriding treatments such as salt-bath nitriding treatment and gas nitriding treatment. When  $\text{N}_2/\text{H}_2$  volume ratio is 3 ( $\text{N}_2:\text{H}_2=3:1$ ), the surface has the maximum hardness, and we found that surface hardness was decreased and case-depths was increased with increasing plasma nitriding temperature and time. Therefore in this study, it is proposed that the optimum process conditions of plasma nitriding treatment for SCM 415 steel are nitriding temperature of 500°C nitriding time of 4 hr. and  $\text{N}_2/\text{H}_2$  volume ratio of 3. And under this process conditions, we obtained the surface hardness of 1181 Hv and the case-depths of 450  $\mu\text{m}$ . These results were excellent when they were compared with 945 Hv and 250  $\mu\text{m}$  thickness in the gas nitriding treatment, 846 Hv and 300  $\mu\text{m}$  thickness in salt-bath nitriding treatment. Also, the results of the fatigue test showed that the plasma nitrided specimens had better fatigue property than that of gas nitrided and salt-bath nitrided specimen.

### 1. 서 론

재료의 고강도화를 이루기 위해서는 재료, 가공, 표면경화 열처리기술 및 설계를 포함한 총괄적인 검토가 필요하지만 무엇보다도 적절한 재료의 개발과 그 재료의 용도와 성능에 적합한 기계적 성질을 부여하는 표면경화법이 중요하다고 할 수 있다. 표면경화법 중 질화법은 침탄법보다 표면경도가 높고, 경화에 의한 변형이 적으며 고온으로 가열되어도 경도값의 변화가 없으므로 새로운 질화법의 개발이 중요하다고 할 수 있다. 현재 많이 사용되는 질화법의 종류에는 암모니아 가스 분해법, 염욕질화법 등이 있지만 염욕질화의 경우 공정후 시안화염의 배출로 인한 심각한 환경오염을 유발시키며, 암모니아 가스 분해법 역시 다량의 NH<sub>3</sub> 가스의 배출로 인하여 이 방법 또한 환경에 악영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 플라즈마 질화법은 이와 같은 기존 질화법의 문제점인 배기, 폐수 배출 등의 문제가 없으며, 가열과정에서도 전기로를 사용하기 때문에 공해물질의 배출이 거의 없다. 또한 이온화된 가스의 sputtering 작용을 이용하기 때문에 종래의 질화처리보다 처리시간을 현저히 단축시킬 수 있고, 질소이온이 음극강화에 따른 전위차에 의하여 가속되므로 질화능력이 타 질화법보다 월등히 높다.<sup>2)</sup> 또한 미세구조적인 면에서 타 질화법에 의한 질화층보다 조밀하고 다공층이 없는 조직을 얻을 수 있고 피처리물을 진공로 안의 지그에 장착한 뒤 간단한 조작으로 시간, 온도, 압력 등의 변수를 조절하여 모든 공정을 자동으로 처리할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 저합금강인 SCM415강의 표면에 질화층을 형성하는데 있어서 중요한 변수들에 대한 최적 공정조건을 확립하여 실제 공정조건에 적용할 수 있도록 하고, 염욕질화나 가스질화되어진 SCM415강의 피로특성을 플라즈마 질화강과 비교하여 플라즈마 질화법의 우수성을 입증하고자 한다.

### 2. 실험방법

Table 1. Chemical composition of SCM415 steel

Element	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
wt.%	0.15	0.21	0.72	0.013	0.023	0.10	0.97	0.17	0.13	bal.

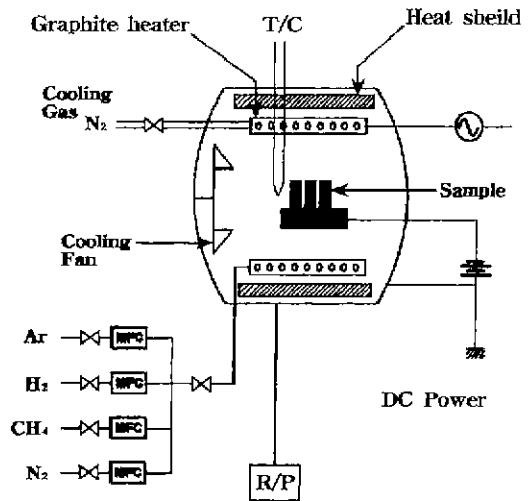


Fig. 1. Schematic diagram of plasma nitriding system.

#### 2-1. 시편 제작

본 실험에 사용되어진 SCM415 저합금강은 화학성분이 Table 1과 같으며, 지름 8.2 mm의 봉형상을 길이 70 mm로 절단 하고 플라즈마 발생시의 아크를 줄이기 위하여 양단을 연마한 후 플라즈마 질화를 하였다.

#### 2-2. 플라즈마 질화장비

실험에 사용되어진 플라즈마 질화로의 개략도는 Fig. 1과 같다. 이 질화로는 크게 반응로, 보조가열장치, 냉각장치, 전원공급장치, 진공배기계, 전기제어장치로 구성되어진다. 반응로는 graphite 전열방식으로 최대 승온온도는 1200°C이고, 플라즈마를 발생시키기 위하여 시편지대대를 음극으로 하고 chamber를 양극으로 하여 양 극간에 수백볼트의 DC 전압을 인가시킬 수 있도록 구성되어있다. 또한 chamber 내의 가스분위기를 고르게 하기 위하여 chamber의 상하좌우에서 가스가 flow되어지도록 설계가 되었으며, 냉각가스는 N<sub>2</sub> 가스를 고압으로 chamber에 주입시켜 강제순환시키도록 되어있다.

#### 2-3. 미소경도 측정

미세경도 측정은 일본 Mitutoyo사의 vickers hardness tester MVK-H1을 이용하여 시간 10초 동안 하중 50 g으로 경도를 측정하였다. 본 장비는 Akashi사의 TV camera를 이용하여 모니터에서 입입자극을 측정하도록 설계되어져 있어 기존의 광학현미경의 눈금보다 정밀하게 압흔의 길이를 측정할 수 있기 때문에 정확한 경도값을 측정할 수 있었다. 미세경도는 시편의 표면에서 시편내부로 0.003 mm, 0.02 mm, 0.05 mm, 0.1 mm부터 0.1 mm 간격으로 시편의 중심부인 4 mm까지 시편의 상하좌우 각 4곳을 측정을 하여 평균값으로 정하였다. 또한 유효경화깊이 관찰은 모재의 경도보다 50Hv 높은 경도값으로 정하는 것을 기준으로 하였다.<sup>3)</sup>

2-4. 미세조직 관찰

질화되어진 시편을 5 mm로 절단하여 마이크로 연마를 한 후 니탈용액(3% 질산 수용액)으로 약 15 초간 에칭을 하여 50, 100, 200, 400배의 광학현미경 및 주사전자현미경으로 미세조직을 관찰하였다.

2-5. 성분분석

성분분석은 AES(Auger Electron Spectroscopy, 5 kV)를 사용하여 플라즈마 질화되어진 정도를 관찰하기 위해 시편 단면의 깊이에 따른 질소농도의 변화를 측정 하였다.

2-6. 기계적 성질 규명

질화처리된 SCM415강의 기계적 성질을 비교하기 위하여 각각 다른 질화법으로 질화처리된 시편의 피로특성을 평가하였다. 사용된 장비는 Tokyo testing machine MFG. Co. LTD사의 Torsee's rotary bending fatigue testing machine으로 3500 rpm의 회전속도에서 플라즈마 질화되어진 시편을 원 시편 및 기존의 다른 질화법(염욕질화, 가스질화)으로 질화된 시편을 같이 비교하였다. 피로시험용 시편의 규격은 JIS Z

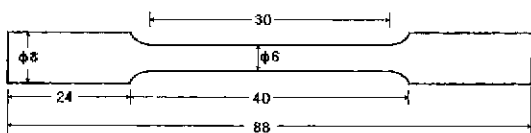


Fig. 2. Specimen geometry for the fatigue test (dimension : mm).

2274에 준하여 제작하였다(Fig. 2).<sup>4)</sup>

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 플라즈마 질화에 미치는 변수의 영향

플라즈마 질화처리된 SCM415강의 표면경화 및 유효경화깊이에 영향을 미치는 여러 가지 공정변수들 중에 질화 특성에 크게 영향을 주는 것으로 여겨지는 질소와 수소의 상대적인 가스비, 공정온도, 공정시간을 공정변수로 하여 실험을 진행한 후, 각각의 변수들이 플라즈마 질화공정에 미치는 영향을 고찰 하였다.

첫번째의 변수로 가스조성비를 조절하면서 플라즈마 질화를 하였는데 질소대 수소의 비(vol.%)를 각각 1:3, 1:1, 3:1로 하여 실험을 하였다. 수소가이온들은 질소가이온에 비해 질량이 작으므로 운동에너지가 낮아 이온 충돌이나 온도 상승에 기여하는 바는 작지만 음극표면의 산화물을 환원시키거나 글로우 방전을 쉽게 발생시키고, 공정중의 챔버내 글로우 방전 상태를 안정시키는데 기여하는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup> 따라서 질소가스만으로는 플라즈마 질화효과를 얻을 수 없으며 수소의 첨가가 질화공정에 반드시 필요한 것으로 알려져 있으므로 본 실험에서 질소와 수소의 비를 조합하여 이들에 의한 질화공정에 미치는 영향을 고찰하였다. Fig. 3은 공정온도 500°C, 노내압력 6 Torr., 공정시간 4시간으로 공정변수들을 고정하고 가스조성의 변화에 따른 질화 특성을 관찰한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 질소가스 양의 증가는 표면경도를 증가시키는 것으로 나타났고, 최대 표면

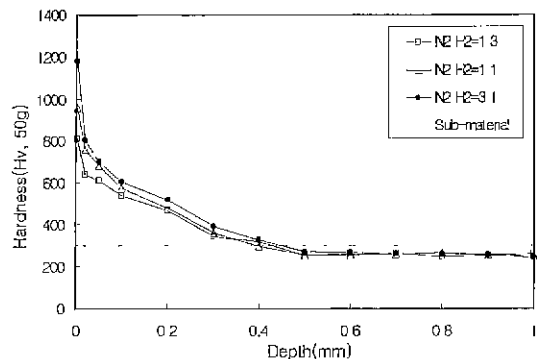


Fig. 3. Influences of gas composition on the microhardness of SCM415 steel (500°C, 6Torr., 4 hrs.).

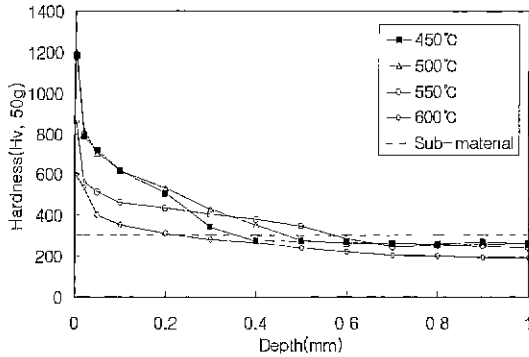


Fig. 4. Influences of temperature on the microhardness of SCM415 steel (6Torr, N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=3:1, 4 hrs.).

경도값은 질소대 수소의 비가 3:1일 경우에 나타났다. 이와 같이 질소의 비가 높은 경우에 높은 표면경도값을 나타내는 이유는 질소가 이온화되는 충분한 온도에서 질소 공급량의 증가가 모재표면에 충분한 양의 질소를 공급하여 표면에서 강한 화합물층의 형성이 다른 가스 조건들에 비해 유리하기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 4는 공정온도를 450°C~600°C로 변화시켜 질화공정 온도가 질화특성에 미치는 영향을 고찰한 결과를 나타낸 그림이다. 질화온도 450°C, 500°C, 550°C, 600°C일 때 표면경도의 값은 각 1190 Hv, 1180 Hv, 860 Hv, 600 Hv로 측정되었다. 이와 같이 공정온도가 증가할수록 표면경도가 감소하는 것은 질소의 내부확산이 온도증가에 따라 용이해지기 때문에 공정온도가 증가할수록 모재표면에서의 질소의 농도가 감소하여 높은 표면경도를 나타내주는 화합물층의 형성이 어려워지기 때문이다. 또한 질화온도가 600°C 이상이 되면 annealing 효과에 의해 생성된 질화물의 조대화와 격자 strain의 해소에 의하여 질화처리하지 않은 모재의 경도값과 가까워져 질화처리의 효과가 나타나지 않음을 알 수 있다.<sup>6)</sup> 또한 Fig. 4의 결과에서 공정 온도가 증가될수록 질화층의 깊이가 깊어짐을 알 수 있었는데, 이와 같은 현상은 공정온도가 높아질수록 SCM415강의 내부로 질소의 확산이 열활성화과정으로 온도에 따라 지수함수적으로 증가하기 때문이다. 또한 확산층은 화합물층과는 달리 화합물층과 확산층의 경계 부분에서 모재방향으로 질소가 확산함으로써 형성되는 것으로 보고되어 있다.<sup>7)</sup>

따라서 질화층의 깊이에 따라 존재하게 되는 질소

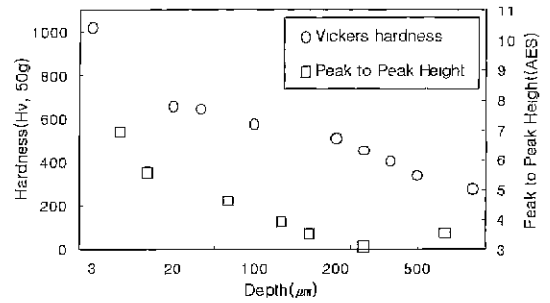


Fig. 5. The depth profiles of a relative nitrogen peak-to-peak height compared with vickers hardness.

의 농도는 질화층의 특성을 규명하는데 큰 역할을 하므로 그에 관한 연구가 필요하였다. Fig. 5는 플라즈마 질화처리 후의 시편의 깊이에 따른 질소농도의 변화를 AES로 관찰하여 질화층의 깊이에 따른 질소농도의 변화를 관찰하고 이를 경도값의 변화와 비교한 그림이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 질소의 농도는 시편의 표면에서 높게 관찰되었고, 시편의 내부로 갈수록 질소 농도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 모재표면에 침투되어진 질소가 모재 내부로의 확산 과정에 의하여 시편의 내부로 확산되어 점차 농도가 작아지게 되는 것을 설명하여 주고 있다. 이러한 질소 농도의 변화는 경도값에 직접적으로 영향을 미쳐 시편내부로 갈수록 질소농도가 낮아지면 경도값 역시 그에 따라 감소한다는 것을 보여주고 있다.

플라즈마 질화 시간 변화에 따른 경도값의 변화를 Fig. 6에 나타내고 있다. 질화시간이 길어짐에 따라 표면경도는 감소하였고, 확산층의 깊이는 깊어지는 것으로 나타났다. 이는 표면에서의 질소가 시편내부

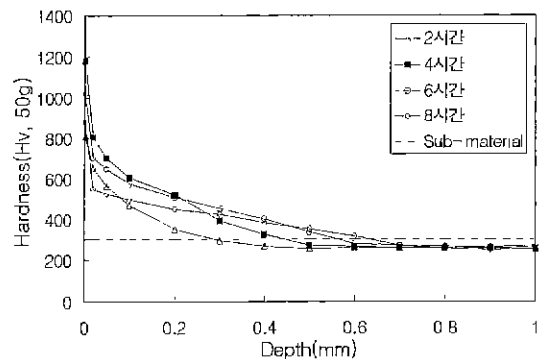


Fig. 6. Influences of nitriding time on the microhardness of SCM415 steel (500°C, 6Torr, N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=3:1).

로 확산되기에 충분한 시간이 주어질수록 그 확산층의 형성이 보다 유리하여 전체 질화층의 깊이가 깊어지고, 그에 따라 공급되어지는 질소의 양이 고정되어 있는 조건에서 표면경도의 값이 감소하게 되는 것으로 설명될 수 있다. 그러나 2시간의 질화공정시 시편의 표면경도값이 낮게 측정되어진 것은 모재표면에 충분히 질소가 공급되어지기에 시간이 부족하기 때문인 것으로 사료된다.

Jack 등은 Cr, Ti, W, Mo, V, Al 등의 여러 가지 원소가 함유된 강을 이용하여 질화에 대한 실험적 연구를 통하여 다음의 실험식을 발표하였다.<sup>8)</sup>

$$d = \left( \frac{2NDt}{RX} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (식1)$$

(여기에서 d는 확산층의 두께, N은 표면질소농도(at.%), X는 합금원소의 농도(at.%), R은 질화물에서의 질소와 합금원소의 비, D는 ferrite 내의 질소의 확산계수, t는 질화시간)

식(1)에 의하면 질화층의 깊이는 시간의 제곱근에 비례하는데 본 연구의 결과들과 일치하는지를 살펴보기 위하여 질화시간과 질화특성과의 관계를 보이고 있는 Fig. 6에서 질화시간에 따른 유효경화깊이를 따로 관찰하여 시간의 제곱근에 대한 유효경화깊이 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7의 결과에서 공정시간의 증가에 따라 질소의 확산에 의하여 확산층이 증가되어 유효경화깊이는 증가하게 되는데 이러한 유효경화깊이의 증가는 시간의 제곱근에 대하여 식(1)의 결과와 잘 부합되고 있음을 알 수 있었다.

따라서 지금까지의 연구결과들에 의해 본 플리즈

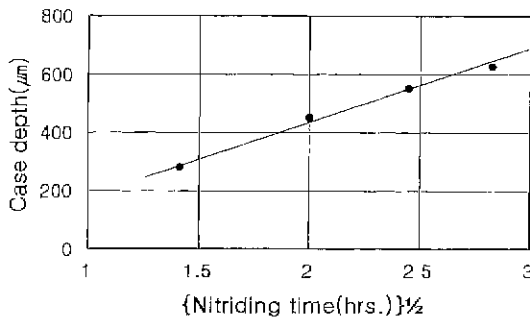


Fig. 7. Variations of the case depth with the square root of nitriding time (hrs.).

마 장비에서의 최적공정조건은 공정온도 500°C, 공정시간 4시간 및 질소와 수소의 가스비가 3:1으로 질화된 강 표면경도와 유효경화깊이가 우수하였다.

### 3-2. 플라즈마 질화와 타 질화법으로 질화된 강의 미세구조 및 기계적 특성 비교

Fig. 8은 플라즈마 질화처리 되어진 질화강과 가스 질화, 염욕질화강의 단면을 에칭 후 SEM으로 관찰한 결과이다. Fig. 8의 (a)는 500°C, 4시간의 플라즈마 질화처리 후의 미세구조이고, (b), (c)는 가스질화와 염욕질화를 각각 550°C, 565°C에서 4시간30분 동안 질화처리한 후의 미세구조이다. 기존의 가스질화나 염욕질화법보다 짧은 4시간의 플라즈마 질화처리 후의 화합물층의 깊이는 17 μm으로 10 μm 미

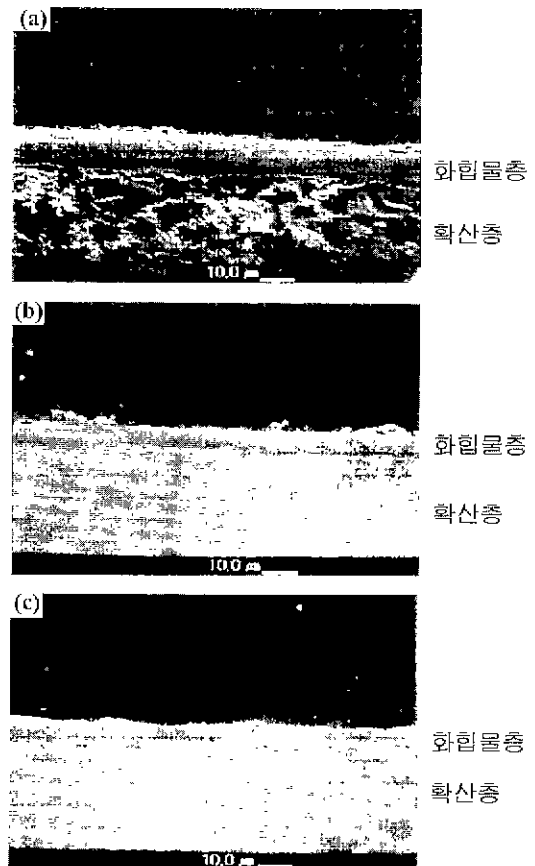


Fig. 8. Cross-sectional SEM photographs of nitrided specimen. (a) Plasma Nitriding (500°C, 4 hrs.) (b) Gas nitriding(550°C, 4.5 hrs.) (c) Salt-bath nitriding (565°C, 4.5 hrs.)

만의 깊이를 나타내는 가스질화나 염욕질화의 경우 보다 깊은 화합물층을 나타내었다. Fig. 8의 (a), (b), (c)를 비교하여 볼 때 플라즈마 질화처리한 시편의 화합물층의 깊이가 비교적 짧은 시간의 공정에도 불구하고 타 질화법보다 깊이가 나타나는 것은 플라즈마의 음극강하현상으로 인하여 질소가 이온화 된 상태에서 모재의 표면에 침입을 하기 때문에 타 질화법으로 질화된 강보다 질소의 침입이 용이하기 때문인 것으로 사료되어진다. 이러한 질화층의 화합물층은 제품의 내마모성과 관련이 있다. 플라즈마 질화처리된 강은 기존의 질화법이 갖지 못하는 우수한 내마모성을 갖게 되는데 이는 모재 표면에 침입되어진 질소가 철질화물(Fe<sub>4</sub>N) 및 크롬질화물(CrN)로 구성된 질화층을 형성하여 높은 표면경도와 낮은 마찰계수를 갖게 되므로 그 결과 내마모성이 우수한 것으로 나타난다.<sup>9)</sup> Fig. 9의 각 질화법으로 질화되어진 강의 깊이에 따른 경도분포를 보면, 플라즈마 질화가 염욕질화나 가스질화에 비하여 높은 표면경도와 깊은 질화층을 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 염욕질화나 가스질화로는 550~565°C, 4시간30분의 질화공정으로 약 0.3 mm의 확산층을 얻을 수 있는데 비하여 플라즈마 질화처리를 하였을 경우에는 타 질화법보다 낮은 온도(500°C), 짧은 공정시간(4시간)으로 0.45 mm의 확산층을 얻을 수 있는 것으로 보아 타 질화법에 비하여 약 150%의 확산층 깊이의 향상 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 깊은 질화층은 강의 기계적 성질 중 피로특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup> 이와 같이 플라즈마

질화의 경우 낮은 온도 및 짧은 공정시간으로 충분한 질화효과를 얻을 수 있는 이유는 플라즈마 발생 시 energetic ion flux에 의해 표면 충돌효과가 증대되어 sputter 효과 증진(산화막 제거), 표면가열 효과(질소 확산 증진) 및 점결합 농도증가(질소 확산 속도 증가)되기 때문이며 이러한 현상들은 질소의 확산효과를 크게 증대시켜 조밀하고 깊은 질화층을 얻을 수 있기 때문으로 볼 수 있다.<sup>8)</sup>

Table 2에서 각 질화법에 따른 표면최고경도, 화합물층 두께 및 유효경화깊이를 비교하였다. 이 결과로부터 플라즈마 질화되어진 강이 타 질화법으로 질화되어진 강보다 약 1.5배의 유효경화깊이를 가지며 약 2배의 화합물층 두께를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 표면최고경도도 기존의 질화법보다 우수한 것으로 나타났다.

플라즈마 질화법의 우수성은 앞서 설명한 비와 같이 내마모성에 기여하는 화합물층과, 내피로성에 관여하는 확산층이 기존의 질화법보다 우수하기 때문에 나타나는 것으로 여겨진다. 플라즈마 질화처리된 시편의 확산층이 나타내는 내피로성이 다른 질화법에 비해 우수함을 알아보기 위하여 본 연구에서 기

Table 2. The comparison of nitriding properties as the type of nitriding treatment

질화법종류	질화특성 (Hv)	표면최고경도 (μm)	화합물층 두께 (μm)	유효 경화깊이
플라즈마질화	1181	17	450	
가스질화	945	9	250	
염욕질화	846	7.5	300	

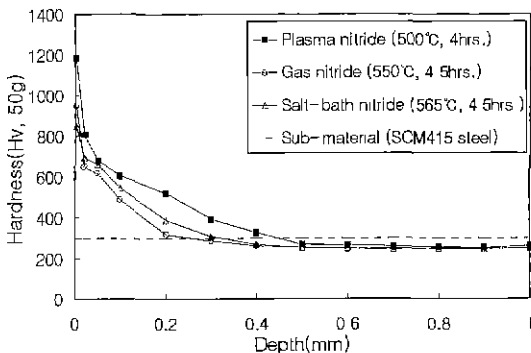


Fig. 9. The variations of micro-hardness as the type of nitriding treatment. (a) Plasma nitriding (b) Gas nitriding (c) Salt-bath nitriding.

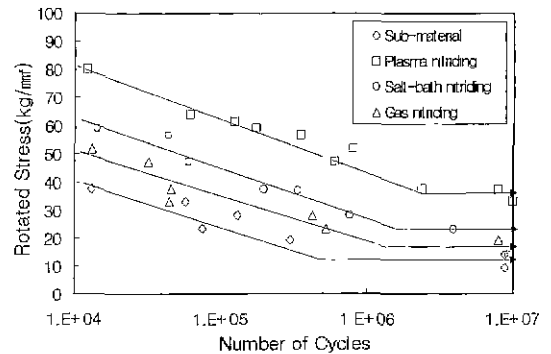


Fig. 10. The comparison of fatigue properties as the type of nitriding treatment.

존의 질화법인 염욕질화와 가스질화처리를 한 시험편과 플라즈마 질화처리를 한 시험편의 피로특성을 관찰하였다. 원시편(SCM415), 염욕질화, 가스질화, 플라즈마 질화의 피로성질을 Fig. 10에서 S-N curve로 나타내었다. 이들 결과를 살펴보면 원시편의 피로강도는  $11 \text{ kg/mm}^2$ 으로 나타났으며, 염욕질화한 시험편의 피로강도는  $23 \text{ kg/mm}^2$ , 가스질화의 경우에는  $16 \text{ kg/mm}^2$ 이었으나, 플라즈마 질화한 시험편의 피로강도는  $35 \text{ kg/mm}^2$ 으로 원시편의 3.5배, 염욕질화의 1.5배, 가스질화의 2배 만큼 향상된 결과를 가져왔다. 이는 Table 2에 비교되어진 각 질화법의 유효경화깊이와 잘 일치됨을 알 수 있다. 따라서 플라즈마 질화법은 기존의 질화법에 비해 낮은 온도에서도 조밀하고 깊은 질화층을 나타낼 뿐만 아니라 피로 특성으로 살펴본 기계적 특성도 우수하므로 재료의 기능성을 강화시킬 수 있는 바람직한 표면경화 처리기술로 여겨진다.

#### 4. 결 론

저합금강인 SCM415강에 대한 플라즈마 질화공정을 이용한 질화특성은 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 플라즈마 질화의 중요한 변수 중 질소 대 수소비는 3:1에서, 공정온도  $500^\circ\text{C}$ 에서, 질화시간 4시간일 때 1181 Hv의 표면경도와  $450 \mu\text{m}$ 의 유효경화 깊이를 갖는 우수한 최적공정조건인 것으로 판별되었다.

2) 플라즈마 질화 공정 변수로 질소 대 수소비를 변화시켜 공정을 실행한 결과 3:1의 가스비에서 최고의 표면경도를 얻을 수 있었다. 이는 질소가 이온화되는 충분한 온도에서 질소 공급량의 증가가 모재표면에 충분한 양의 질소를 공급하여 강한 화합물층을 형성하기 때문이다.

3) 온도변화에 따라서는 온도가 증가함에 따라 표면경도는 감소하였고, 유효경화깊이는 증가하였는데  $450^\circ\text{C}$ 와  $500^\circ\text{C}$ 의 경우를 비교하여 보면 표면경도의 차이는 거의 없으나  $500^\circ\text{C}$ 일 때가  $450^\circ\text{C}$ 일 때보다 유효경화깊이가 월등히 증가함을 보여주고있다.

4) 질화시간의 증가에 따라 표면경도는 낮아지고 유효경화깊이는 깊어지는 것으로 나타났다. 4시간의

질화시간에서 가장 우수한 표면경도를 나타내었다.

5) 플라즈마 질화처리된 시험편의 표면경도와 유효경화깊이를 기존의 가스질화법이나 염욕질화법으로 질화처리한 시험편과 비교한 결과, 플라즈마 질화법으로 질화처리된 시험편의 표면경도값이 보다 높고, 유효경화깊이는 깊다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 타 질화법에 비해 깊은 유효경화깊이를 가지는 플라즈마 질화강의 피로한도는 염욕질화의 1.5배, 가스질화의 2배 가량 우수하였다. 이와 같은 결과로부터 플라즈마 질화법이 염욕질화법이나 가스질화법에 비하여 우수한 특성을 가진 표면경화 처리기술임을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 산학협력연구(95-2-06-02-01-3)지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

#### References

- 1) Kim, Y. H., Sun, C. C. and Kim, H. G., J. of the Korean Society for Heat Treatment, 7, 184-189 (1994).
- 2) Shin, D. H., Choi, W. and Inn, H. M., J. of the Korean Inst. of Met. and Mater., 35 (1997).
- 3) 日本熱處理技術協會規格 JSHS 1001.
- 4) Japan Industrial Standard. Z 2274.
- 5) Wilhelmi, H., Stramke, S. and Pohl, H. C., *Hart-Tech. Mitt.*, 37, 263 (1882).
- 6) Lee, J. I., Shin, Y. S. and Kim, M. I., *J. of the Kor. Soc. for Heat Treatment*, 1, 1-7 (1988).
- 7) Yoon, J. H., Son, M. S. and Lee, G. H., *J. of the Korean Inst. of Met. and Mater.*, 35 (1997).
- 8) Meletis, E. I. and Yan, S., *J. Vac. Sci. Technol.*, 11, 25-33 (1993).
- 9) Park, J. R., J. of the Korean Society for Heat Treatment, 8, 255-265 (1995).
- 10) X. Luan, Z. Li, B. Wang, Proceedings of ASM's 2nd International Conference on ion nitriding/carburizing cincinnati. Ohio, USA 18-20 September 1989, 257-259 (1989).