

論 文

플라즈마 질화처리된 중탄소합금강의 내마모특성에 관한 연구

조효석·노용식·신호감\*·이상윤

동아대학교 금속공학과

\*삼락산업

Study on the Wear Resistant Characteristics of Medium Carbon Alloy Steel Plasma-Nitrided

H.S.Cho, Y.S.Roh, H.K.Shin\* and S.Y.Lee

Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University

\*Sam Lak San Eup

ABSTRACT

This study has been performed to investigate into some effects of temperature, gas mixing ratio and time on the optical microstructure, hardness and wear characteristics of medium carbon alloy steel treated by plasma nitriding. The results obtained from the experiment are summarized as follows :

(1) Optical micrographs of AISI 4140 steel plasma-nitrided by the double stage technique have revealed that the nitrided layer is composed of the compound layer and the diffusion layer. The variation in temperature at the first stage gives effects, on the formation of compound layer and the growth rate is shown to be relatively fast at 460°C .

(2) The thickness of compound layer has been found to increase with increasing nitrogen percentage in the gas mixture and the holding time. It is therefore recommended that a shorter holding time and a lower nitrogen percentage are more effective to produce a tougher compound layer and a diffusion layer only.

(3) X-ray diffraction analysis for AISI 4140 steel has shown that the compound layer consist of  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N and  $\alpha$ -Fe and that tough compound layer diffusion layer only can be obtained by the double stage plasmanitriding process.

(4) There is also a tendency that the total hardened layer depth increases with increasing temperature, time and nitrogen percentage in the first stage during the double stage plasma nitriding.

(5) The wear resistance of plasma nitrided specimens has been found thobe considerably increased compared to the untreated specimens and the amount of increment has appeared to increase further with increasing nitriding temperature, holding time and notrogen percentage of gas mixture in the first stage treatment.

## 1. 서 론

기어나 동력전달축과 같이 동적인 하중을 받는 부품의 피로 및 마모저항을 개선하기 위해 표면경화가 요구되며 침탄, 고주파, 질화등과 같은 표면경화 열처리가 적용되고 있다<sup>1)</sup>.

표면경화 방법의 채택은 요구되는 경화층의 깊이, 즉 요구되는 하중으로 결정된다. 화학열처리(thermochemical treatment)는 얇은 경화층이 요구되는 부품적용에 한정되며, 반면에 깊은 경화층은 보통 고주파경화로 얻는다. 그러나 이같은 방법은 처리온도가 높고 급냉을 요하므로, 부품이 변형될 수 있어 처리 후 연마 및 교정작업이 필요하다<sup>2)</sup>.

페라이트 화학열처리(ferritic thermochemical treatment)인 질화처리는 특히 Cr-Mo 강 부품의 피로와 마모저항 개선에 효과적이며 부품의 변형을 일으키지 않는 저온처리법이다<sup>3)</sup>. 질화는 일반적으로 가스분위기에서 실시되지만 가스 질화 방법보다 플라즈마 질화처리는 1967년부터 유럽을 중심으로 실용화된 무공해 처리법으로 훨씬 더 효과적인 처리법으로 주목을 받고 있다<sup>4)</sup>. 플라즈마 질화처리는 다른 열처리와 비교할 때 비교적 얇은 경화층 깊이(0.5mm)로 한정되는 경우가 많지만, 기어의 회전 피로강도 기어 뿌리의 피로강도, 미끌림과 마모성질, 마멸에 대한 저항이 감소하는 것이 아니고, 다른 방법으로 표면 경화처리된 기어보다 우수하거나 같다<sup>5,6)</sup>. 결과적으로 다양한 부품으로 플라즈마 질화이용을 확장시키는 것은 매력적이다.

충격, 비틀림 및 굽힘과 같은 복합적인 하중을 받는 기계부품은 마모저항에 대한 높은 경도와 스포링(spalling)에 대한 저항인 인성이 동시에 요구되는 표면경화법이 필요하다. 일반적으로 질화층은 마모저항을 개선시키는 최표면부의 화합물층과 스포링저항에 대한 화합물층 아래의 확산층으로 이루어진다. 마모저항과 인성이 동시에 요구되는 부품의 성질을 얻기 위해서는 질화처리시 화합물층이 없는 순수한 확산층으로만 이루어져야된다. 이같은 성질을 얻기 위해 가스질화법을 이용하여 실험적으로 가능한 방법을 제시하였지만, 산업적 조건하에서는 화합물층의 전적인 억제 불가능하였다<sup>7)</sup>. 그러나 플라즈마 질화법을 이용하여 처리조건을 변화시킴으로 이같은 문제는 해결될 수 있다. Edenhofer 는<sup>8)</sup> 이같은 연구를 위해 우선적으로 화합물층을 생성시킨 후 분해시키는 2단계 처리방법과, 플라즈마의

질소농도 제어방법으로 가능하다고 제의하였으며, 두번째 방법으로 얻은 순수한 확산층의 경도곡선은 화합물층을 갖는 통상적인 처리법에 의한 질화층의 경도곡선과 유사한 분포를 나타내고, 저합금강에서 순수한 확산층을 얻기 위해서는 플라즈마상태에서 질소농도는 낮아야 되며, 반면에 고합금강의 경우는 높은 질소농도가 요구된다고 하였다.

Staines 은<sup>9)</sup> 질화처리시 처리온도가 상승할수록 표면경도가 감소하게 되는 것은 경화층내에 보다 조대한 질화물(nitride)의 생성에 기인하며, 이같은 표면 경도의 감소는 2단 질화 사이클을 적용함으로써 보완 할 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 중탄소합금강을 사용하여 플라즈마 질화처리시 인성이 있는  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N을 제외한 화합물 생성을 억제시키고, 화합물층이 전연 없는 즉 순수한 확산층만 생성될 수 있는 조건을 설정하기 위해 1단계에서 온도, 시간 및 가스조성을 변화시키고, 2단계에서의 조건은 동일하게 하여 현미경 조직, X-선 회절, 경도변화, 마모특성을 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 시료 준비

#### 2.1.1. 시료

본 실험에 사용된 시료는 중탄소 합금강인 AISI 4140을 사용하였으며 시료의 화학 조성은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2. 마모 시험편

마모 시험은 Amsler 형 마모시험기(Amsler-type wear testing machine, 일본 shimadzu 사 Model EFM-III-E)를 사용하여 건식마모시험을 행하였으며, 시험편은 Fig.1과 같이 시험기에 적합한 치수 및 형태로 제작하였다.

### 2.2. 열처리

시료의 표준화된 조직을 얻기 위해 노말라이징처리를 실시한 후 시험편을 제작하였으며, 시료의 퀴칭처리를 위해 오스테나이트화 온도 860°C에서 40분간 유지 후 유냉 처리하였다.

오스테나이트화 처리중 시료 표면의 탈탄을 방지하기

Table 1. Chemical Composition of Specimen(wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 4140	0.42	0.25	0.70	0.02	0.01	1.03	0.17

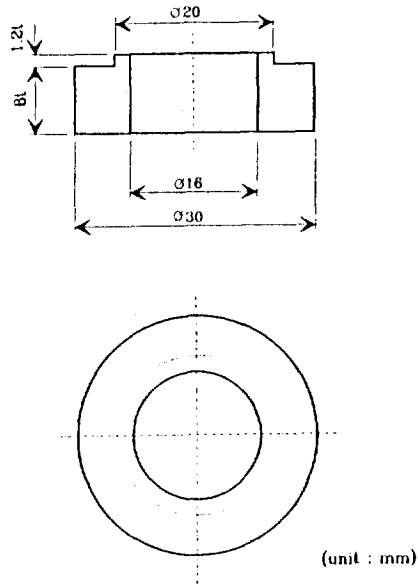


Fig. 1. Wear test specimen

위하여  $10^{-3}$ mmHg의 진공도로 유지된 수직형 진공 관상로(vertical vacuum tube furnace, tube size  $\phi 35 \times 900$  mm, 5Kw)에서 시편을 장입하기 전에 먼저 고순도의 Ar 가스로써 2~3차례 퍼징(purging)한 다음 Ar 가스가 충전된 상태에서 시편을 장입하였으며, 진공도는  $10^{-3}$  mmHg로 유지가 가능하였고, 온도측정은 디지털 멀티미터(digital multimeter, Takeda 사 model 6855)를 사용하였으며 온도의 정확도는  $\pm 2^\circ\text{C}$  이내로 유지하였다. 퀘칭된 시편에 대해 변형을 방지하고 퀘칭응력을 제거하기 위해  $600^\circ\text{C}$ 에서 1시간 유지 후 유냉하였다.

### 2.3. 플라즈마 질화처리

플라즈마 질화처리를 위해 최대출력 100Kw, 직류전압 800V, 전류 130A의 플라즈마 질화로(Nippon Denshi Kogto 사, JIN-10SB형)를 사용하였으며, 실험 장치의 개략도는 Fig.2와 같다. 노내의 압력을 약 0.1 torr로 감압한 후,  $\text{H}_2$  및  $\text{N}_2$  가스를 노내로 도입하였으며, 배기 밸브의 조절에 의해 노내의 압력을 8 torr로 일정하게 유지하였다. 2단 플라즈마 질화처리시 가스는 질소와 수소의 혼합 가스를 사용하였으며, 1단계 조건 중 유지온도( $430^\circ\text{C}$ ,  $460^\circ\text{C}$ ,  $490^\circ\text{C}$ )변화, 유지시간(2시간, 4시간, 6시간)변화 및 유지조건에서의 질소분율(20%, 50%, 80%)을 변화시키고, 2단계 조건은 유지온도  $540^\circ\text{C}$ , 유지시간 4시간, 질소분율 10%, 노내압력

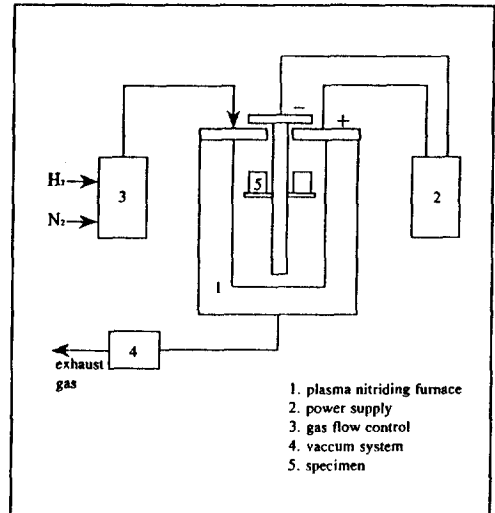


Fig. 2. Schematic of experimental apparatus for plasma nitriding

8 torr로 일정하게 유지된 2단계로 승온시켜 확산 처리를 실시하였다. 또 통상 처리방법인 1단 플라즈마 처리 조건과의 비교를 위해  $530^\circ\text{C}$ 에서 4시간 동안 노내압력을 8 torr로 일정하게 유지시키고, 질소분율 50%인  $530^\circ\text{C}$ 에서 4시간 유지시킨 후, 다시 질소분율을 10%로 변화시켜 4시간 동안 확산 처리를 실시하였다. 질화처리의 온도측정은 적외선 방사온도계(일본 CHINO 사, Model IR-GAB)를 사용하였으며, 플라즈마 질화처리 후 8 torr에서 2시간 노냉시킨 다음 공냉하였다.

### 2.4. 현미경 조직 시험

플라즈마 질화처리된 시편은 현미경 조직 시험등의 시편 준비법에 준하여 연마 및 정마한 후 3% nital 부식액에서 부식한 다음 광학 현미경(optical microscope, Nikon 사 EPIPHOT)을 사용하여 화합물층 및 확산층을 관찰하였다.

### 2.5. X-선 회절시험

플라즈마 질화처리된 시편의 표면에 형성된 화합물층에 대하여 X-선 회절기(일본 Regaku 사 모델 D/MAX-IIA)를 사용하여 관찰하였다.

### 2.6. 경도 시험

플라즈마 질화처리된 시편의 표면층으로부터 깊이에 따른 경도의 변화를 나타내기 위하여 마이크로 빅커스 경도시험기(일본 Matsuzawa Seiki 사, Model MX70)

를 사용하여 하중 100g으로 단면경도를 측정하여 표면층으로부터 거리에 따른 경도변화 곡선을 얻었다.

2.7. 마모시험

마모시험은 한쌍의 시험편을 Amsler 형 마모시험기 (Amsler-type wear testing machine, 일본 shimadzu 사 Model EFM-III-E)를 사용하여 대기중에서 250Kg의 하중으로 회전수 800r.p.m 및 슬립비(slip ratio) 9%를 유지하면서 회전 선접촉상태에서 마모시험을 실시한 다음 화학천칭(스위스 Metter 사 Model H-8)을 사용하여 마모시험 전후의 무게 감량을 측정하였으며, 이때 시료의 정확한 무게를 측정하기 위해 초음파 세척기로 시험편의 표면을 깨끗이 세척하였다.

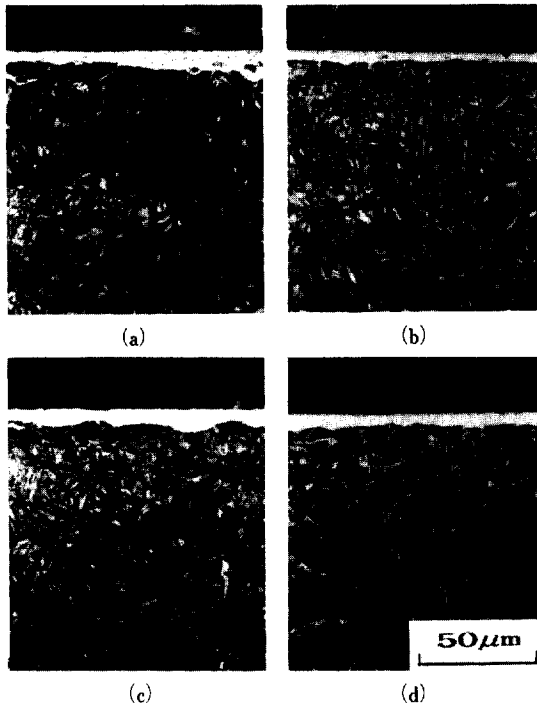


Photo 1. Optical micrographs showing the compound and diffusion layers of AISI 4140 steel plasma-nitrided for 4 hours in 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> gas mixture at four different temperatures of (a) 430°C, (b) 460°C, (c) 490°C and (d) 530°C as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540°C for (a), (b) and (c) and at 530°C for (d) in 10%N<sub>2</sub>-90% H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 현미경 조직

질화처리된 시료의 경화층은 화합물층과 확산층으로 구성되어 가스질화처리시에는 화합물층 생성억제가 어렵지만, 플라즈마 질화처리시에는 처리조건을 달리해 줌으로써 경화층내의 화합물을 제어할 수 있다<sup>8)</sup>.

Photo 1은 플라즈마 질화처리한 AISI 4140강의 질화층 단면의 현미경조직을 나타내었다. a), b) 및 c)는 2단 플라즈마 질화처리시 1단계 조건중 노내압력, 질소분율 및 유지시간을 8torr, 50% 및 4시간으로 일정하게 하고, 유지온도만 430°C, 460°C, 490°C로 변화시키고, 2단계 조건은 노내압력(8torr), 질소분율(10%), 유지온도(540°C) 및 유지시간(4시간)을 일정하게 하여 질화처리한 경우이며, d)는 2단 플라즈마 질화처리와 비교

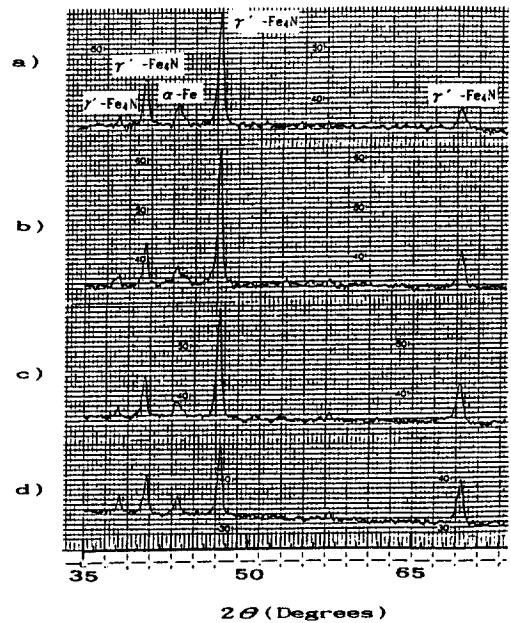


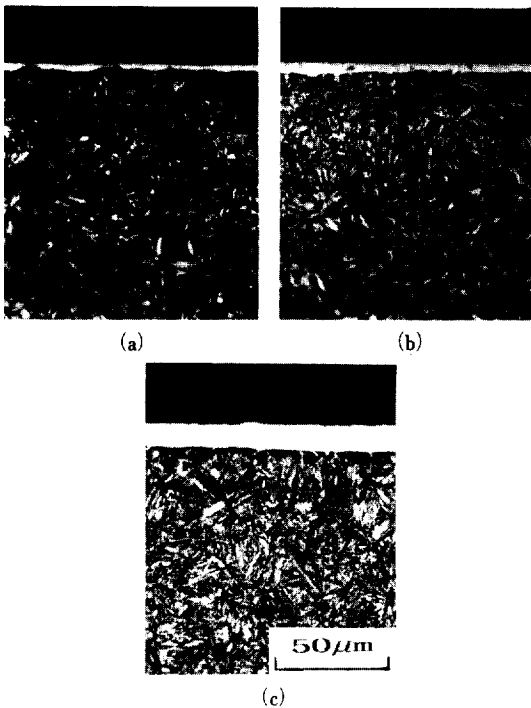
Fig. 3. X-ray diffraction analysis of the compound layer fromed on the surface of AISI 4140 steel plasma-nitrided for 4 hours in 50%N<sub>2</sub>-50wtH<sub>2</sub> gas mixture at four different temperatures of (a) 430°C, (b) 460°C, (c) 490°C and (d) 530°C as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540°C for (a), (b), and (c) at 530°C for (d) in 10%N<sub>2</sub>-90%N<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

를 위해 통상 플라즈마 처리온도인 530°C에서 질소분율 50%, 노내압력 8torr 로 하여 4시간 유지시킨후 다시 질소분율만 10%로 변화시키고 4시간 확산처리를 실시한 AISI 4140 강의 현미경조직이다. 이 현미경 조직으로부터 질화층은 최표면층의 흰부분인 화합물층의 조성은  $\alpha$ -Fe와  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N으로 구성되어 있음을 Fig.3으로 부터 알 수 있다. 1차 유지온도차가 다소 있지만 화합물층의 깊이는 5-8 $\mu$ m 정도로 조직상으로 큰 차이가 없음을 볼 수 있으며, 통상 처리법인 1단 질화법과 비교해도 거의 비슷한 조직 분포를 나타내고 있다. 플라즈마 질화는 질소를 비교적 높은 에너지로 침투시키므로 가스 질화와는 달리 저온에서도 가능하다.

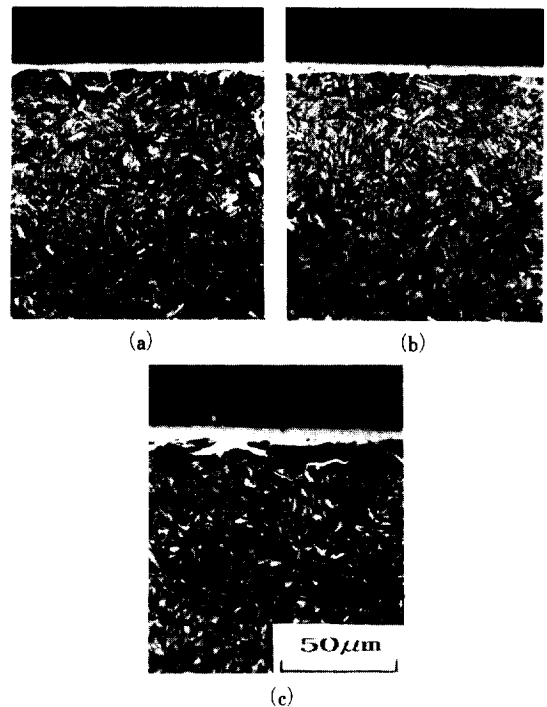
Fig.3은 AISI 4140 강의 2단 플라즈마 질화처리시 1차 온도변화와 통상적인 1단 처리방법에 따라 처리된 시편의 X-선회절 결과를 나타낸 것으로  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N과

$\alpha$ -Fe만 존재하며 1단 처리인 530°C의 경우(d)는 2단 처리(a, b, c)에 비해  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N의 주 피이크세기가 낮아짐을 볼 수 있다.

2단 플라즈마 질화처리시 1단계 유지에서 다른 조건은 동일하게 하고 분위기중의 질소분율만 변화시킨 4140 강의 현미경조직 변화를 Photo 2에 나타내었다. 분위기중의 질소분율이 증가 할 수록 화합물층의 깊이는 3 $\mu$ m, 5 $\mu$ m 및 10 $\mu$ m으로 증가됨을 볼 수 있다. Ozbaysal 등은<sup>10)</sup> 공구강의 플라즈마 질화처리시 질소분율 5-25% 조건에서 질소와의 친화력이 큰 원소가 많은 M<sub>2</sub> 고속도강은 분위기중의 질소 분율에 따라 경화 깊이와 표면경도는 영향을 받지만 M<sub>2</sub>계 고속도강보다 적은 H13 강은 질소분율에 무관하다고 하였으며, Edenhofer 는<sup>8)</sup> 플라즈마 질화처리시 질소농도 제어 방법에서 저합금강의 경우 순수한 확산층을 얻기 위해서는 매우 낮은 질소농



**Photo 2.** Optical micrographs showing the compound and diffusion layers of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460°C for 4 hours in three different gas mixtures of (a) 20%N<sub>2</sub>-80%H<sub>2</sub>, (b) 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> and (c) 80%N<sub>2</sub>-20%H<sub>2</sub> as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.



**Photo 3.** Optical micrographs showing the compound and diffusion layers of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460°C in 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> gas mixture for three different hours of (a) 2hr, (b) 4hr and (c) 6hr as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

도가 요구되는 반면, 고합금강은 높은 질소농도분위  
에서 처리되어야 한다고 하였다. 2단 플라즈마 질화  
처리시 인성이 있는 화합물층을 얻거나 순수한 확산층  
을 얻기 위해서는 질소분율을 낮게 하여야 할 것으로  
사료된다.

Photo 3은 2단 플라즈마 질화처리시 1단계에서 유지  
시간만 변화시킨 AISI 4140 강 의 현미경조직을 나타내었  
다. 유지시간이 증감함에 따라 화합물층의 두께가 4 $\mu$   
m, 5 $\mu$ m 및 10 $\mu$ m으로 증가됨을 볼 수 있다. 플라즈마  
질화는 가스질화에 비해 높은 에너지로 질소를 침투시  
킴으로 질화층은 결정입계와 입내를 통해 성장해 나가  
며, 통상 질화온도보다 낮은 460 $^{\circ}$ C의 온도에서 유지시  
간이 길어지면 내부로의 확산이 원만히 일어나지 못하  
기 때문에 유지시간이 짧은 것에 비해 내부로의 확산은  
어느 정도 일어나지만, 표면층의 질소농도는 증가하게  
됨으로 그림에서 볼 수 있는 것처럼 1차 유지시간이 증  
가할 수록 화합물층의 깊이는 깊어지며, 인성이 있는  
화합물층( $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N)의 깊이를 깊에 얻고자 한다면 2단  
플라즈마 처리시 1단 유지시간을 더 깊게 하는 것이 유  
익할 것으로 사료된다.

철이원 합금계의 질화처리된 조직과 형상에 대해 많  
은 사람들이 고찰하였으며<sup>11-14)</sup> 저합금강과 고합금강의  
질화조직에 대해 고찰한 것은 비교적 적다.

Takase 등은<sup>15)</sup> 화합물층의 조성은 주로 처리 분위기  
의 가스조성보다 첨가된 합금원소의 종류에 따라 더 많  
은 영향을 받는다고 하였으며, 철이원 합금계의 질화처  
리시 각 합금원소의 영향에 대해, Al, Ti 이 첨가된 합  
금은 가스 조성비에 무관하고,  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N은 대부분 나  
타나지 않으며, Cr, Si 및 Mo 합금은  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N의 분  
율이 Al 및 Ti 합금보다 증가하고 있으나 가스조성비의  
변화에 대해서는 별로 영향을 받지 않으며, 순철과 Mn  
이 첨가된 합금의 경우 질소분율이 증감함에 따라  $\epsilon$ -Fe  
<sub>2-3</sub>N의 강도가 급격히 증가하나, 10%N<sub>2</sub>와 90%N<sub>2</sub>  
분위기에서는  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N과  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N의 분율이 역전한다고  
하였다. 또 Al, Cr 및 Ti는 합금질화물을 형성하므로  
확산층내의 경도는 높게되지만, Mo, Si 및 Mn 합금은  
주로 철질화물을 형성하므로 경도상승에는 기여하지 못  
한다고 하였다.

3.2. 경도변화

AISI 4140 강을 2단 플라즈마 질화처리시 2단계에서의  
모든 조건은 동일하게 하고 1단계에서의 유지시간, 유  
지온도 및 가스 조성변화를 달리하여 처리하였을때 얻

어진 경도 변화곡선을 Fig.4-6에 나타내었다. 1단계에  
서의 유지온도만 변화시켜 질화처리한 경우의 경도분포  
곡선으로부터 알 수 있는 것은 표면경도는 650-700Hv  
정도이며 온도가 증가될수록 전체 경화층 깊이는 다소  
증가하는 양상을 나타내나 경화층내에서 표면으로부터  
일정한 거리에서 경도값은 다소 낮음을 볼 수 있다. 이  
것은 온도 상승에 따라 원자의 확산도가 증가하기 때문  
이라 사료된다. 일반적으로 통상처리법인 1단 플라즈마  
질화처리시에 질화처리 온도가 높을수록 표면경도가 낮

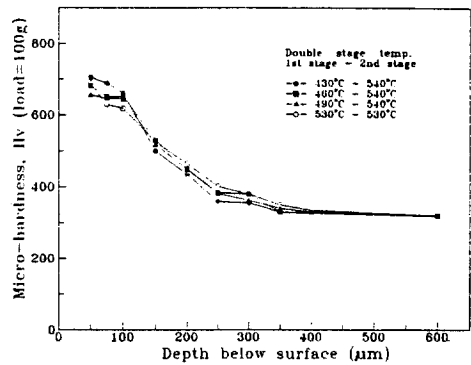


Fig. 4. Micro-hardness profiles of AISI 4140 steel plasma-nitrided for 4 hours in 50%N<sub>2</sub>-50%N<sub>2</sub> gas mixture as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540 $^{\circ}$ C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

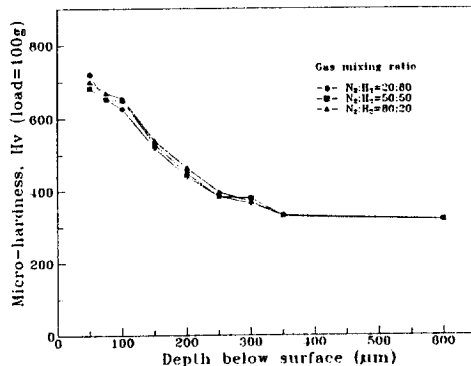


Fig. 5. Micro-hardness profiles of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460 $^{\circ}$ C for 4 hours as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540 $^{\circ}$ C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

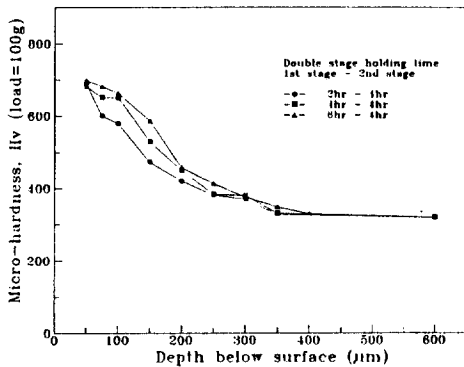


Fig. 6. Micro-hardness profiles of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460°C in 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> gas mixture as the first stage, followed by the second stage of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

은 것은 표면층내에 보다 조대한 질화물의 석출에 기인한다<sup>9)</sup>. 그러나, 본 연구에서 1단계에서의 유지온도가 낮고 질소 분율이 높지만 2단계에서는 탈질이 일어나지 않을 정도로 질소 분율(10%)을 낮게 유지하였으므로(1단계에서 침투된 질소가 내부로 확산하여 기지조직내 질소 농도는 다소 높겠지만) 보다 조대한 질화물의 석출은 일어나지 않을 것으로 사료된다.

플라즈마 질화는 매우 얇은 화합물층을 생성하며, 플라즈마 질화처리조건에서 분위기에서 가스조성비를 변화시킴으로써 조성이 다른 화합물층을 얻을 수 있고 화합물층을 완전히 제거시킬 수도 있다<sup>16)</sup>. 또, 혼합 가스내 질소분율은 재료내 강력한 질화물 형성원소의 함유량이 많은 경우를 제외하고는 표면 경도와 경화층 깊이에 영향을 미치지 않는다고 하였다<sup>10)</sup>. Fig.5에서 볼 수 있는 것처럼 표면에서 내부로 점진적인 경도감소를 나타내며, 질소 분율이 증가함에 따라 다소 경화층이 깊어짐을 볼 수 있다. 경화층 깊이는 질화 시간에 따라 포물선적으로 증가하는 것으로 알려져 있으며, 1단계 유지온도에서 처리시간 변화에 따라 다소 경화층 깊이도 증가됨을 Fig.6에서 볼 수 있는데, 이것은 앞의 현미경 조직사진(Photo 3)과 잘 일치한다. 중전의 가스질화에서는 표면층에 철질화물을 생성기 위해 일정시간의 잠복기가 필요한 반면 플라즈마 질화는 이같은 잠복기가 없으며, 일정량으로 주어진 가스조성에서 일정한 질소 함량에 도달되면 즉각적으로 질화층을 생성하게 된다<sup>16)</sup>.

### 3.3. 마모특성

플라즈마 질화는 크랭크샤프트나 기어와 같이 다양한 강도의 부품에 마모 저항 개선과 피로강도를 개선하기 위해 사용된다<sup>17,18)</sup>. 질화 후에 얇은 화합물층과 비교적 두꺼운 확산층이 시료표면에 생성되며, 확산층으로 지지되는 화합물층은 마멸, 혹은 스카핑(scuffing)에 대한 저항을 개선하며, 확산층은 피로강도와 강부품이 하중을 받아들일 수 있는 응력을 개선한다. 명확하게 개선의 정도는 조직에 따라 또 특정한 재료에 대해 질화처리 공정중 조정될 수 있는 질화층 깊이, 잔류응력과 같은 성질에 따라 변한다. 탄소강에서 탄화물의 크기, 조성분포는 마모기준에 현저한 영향을 미치므로<sup>19)</sup> 질화물의 크기 분포고 건식 마모 기구에 영향을 미치게 될 것이며, 가스 질화 보다 플라즈마 질화 후 질화물의 분포는 더욱 미세하고 균일하다<sup>20)</sup>.

Cohen 등은<sup>21)</sup> 15-5PH 스테인리스강에 대해 암모니아를 이용한 가스질화와 플라즈마 질화처리된 시편에 대한 건식마모 시험결과와 가스질화 처리된 것보다 마모 저항이 우수하다고 하였으며, 이같은 현상은 플라즈마 질화는 질소를 비교적 높은 에너지로 침투시키므로 질화층은 결정입제와 입내를 통해 성장해 나간다. 질화처리된 스테인리스강의 건식마모저항은 다양한 질화 처리 공정 적용으로 개선될 수 있고, 플라즈마 질화는 일반 가스 질화와 비교시 마모계수를 30% 감소 시킨다. 따라서 질화기술로 마모저항에 미치는 영향을 제어할 수 있는 것은 질화물의 크기분포와 형태를 조절함으로써 마모기구를 조절 할 수 있다.

금속의 마찰시 동일면을 계속 반복 마찰함으로써 누적 마모량의 변화가 나타나는 경시변화를 결정하는 것은 마찰시간 혹은 마모거리이다. Fig.7은 AISI 4140 강을 노내 압력 8torr와 질소 분율 50%인 분위기하에서 1단계 유지온도를 430°C, 460°C 및 490°C로 변화시켜 플라즈마 질화처리한 경우와 쿨칭, 템퍼링만 한 시료에 대한 마모 거리에 따른 마모량의 변화를 나타내고 있다. 초기 5,000m까지는 마모량이 급격히 증가하다가 5,000m 이후의 거리에서는 마모 거리가 증가함에 따라 모든 시료들의 마모량은 완만하게 증가한다. 이같은 현상은 5,000m까지는 금속간의 응착에 의하여 미소 돌기부의 소성변형이 진전되어 금속성 입자인 마모분비 다량 생성되고, 마찰면은 초기 마모 상태가 되어 산화물의 생성이 극히 적은 중마모 상태가 되며, 5,000m 이상으로 증가하면 섭광온도의 상승으로 인하여 마멸분비

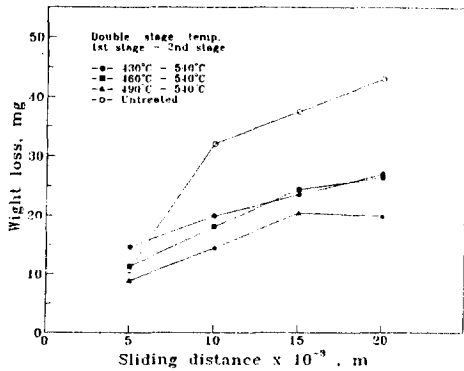


Fig. 7. Relation between weight loss and sliding distance of AISI 4140 steel plasma-nitrided for 4 hours in 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> gas mixture as the first stage, followed by the second of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

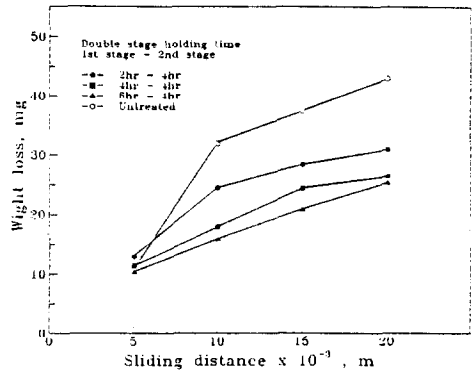


Fig. 9. Relation between weight loss and sliding distance of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460°C in 50%N<sub>2</sub>-50%H<sub>2</sub> gas mixture as the first stage, followed by the second of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%N<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

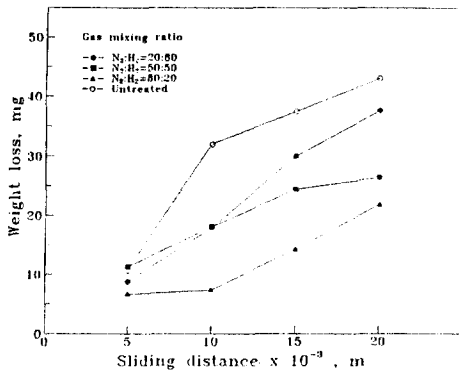


Fig. 8. Relation between weight loss and sliding distance of AISI 4140 steel plasma-nitrided at 460°C for 4 hours as the first stage, followed by the second of 4 hour diffusion time at 540°C in 10%M<sub>2</sub>-90%H<sub>2</sub> gas mixture under a pressure of 8torr.

산화물로 되어 마찰면을 덮어 응착을 방지하는 보호피막의 역할을 하여 마멸 상태가 되기 때문이라 생각된다.

그림에서 질화처리하지 않은 시편은 질화처리된 시편에 비해 초기 5,000m까지는 마모량의 변화가 거의 없지만, 10,000m로 증가함에 따라 마모량이 급격히 증가하므로 질화 효과를 확인 할 수 있으며, 또 1차 유지온

도가 증가함에 따라 마모량이 다소 감소함을 나타내는데 이것은 온도가 증가함에 따라 경화층 깊이가 다소 깊어 지기 때문이다.

Fig.8은 AISI 4140 강을 1차 유지온도에서 N<sub>2</sub>의 분율을 20%, 50%, 80%로 변화시키고, 노내압력(8torr)과 온도(460°C)는 일정하게 하여 플라즈마 질화 처리한 시편과 질화처리하지 않은 켄칭, 템퍼링만 한 시편에 대한 마모량의 변화를 나타내고 있다. 여기서도 앞의 경우(Fig.7)와 같이 마모 거리에 따라 마모량이 증가함을 볼 수 있고, N<sub>2</sub> 분율이 적을수록 마모량이 다소 많은 것은 표면층이 다소 낮은 질소 농도와, 표면층에 형성된 다소 얇은 화합물층의 깊이에 기인하는 것으로 사료된다.

AISI 4140 강을 1차 온도에서 유지시간을 2시간, 4시간 및 6시간으로 변화시켜 플라즈마 질화 처리한 시편과 켄칭, 템퍼링만 실시한 시편에 대한 마모량 변화를 Fig.9에 나타내었다. 질화처리의 효과를 확인 할 수 있으며 1차 온도에서 유지시간이 짧은 경우는 재료내로 질소의 침투와 확산시간이 억제되기 때문에 시료표면에서의 질소농도 저하와 질화층이 얇아 질 것이며, 또 유지시간이 증가 할 수록 동일 거리에서 마모량이 적은 것은 유지시간이 증가됨에 따라 시료 표면의 질소 농도 증대와 경화층 깊이의 증대로 기인한다. 1단 유지시간이 증가할수록 마모량은 감소하며 동일 질화처리 조건에서 마모거리가 증대될수록 마모량은 포물선적으로 증



가한다. 따라서 2단 플라즈마 질화처리시 1단 유지조건에서 유지온도가 증가하고 분위기 중의 질소 분율이 증가할수록, 또 유지시간이 증가할수록 내마모성은 향상된다.

#### 4. 결 론

2단 플라즈마 질화처리시 인성이 있는 화합물층 생성과 순수한 확산층을 생성키 위해 1단계 조건(유지온도, 가스조성, 유지시간)만 변화시켜 질화처리된 AISI 4140 강에 대한 현미경 조직, X-선 회절시험, 경도분포 및 마모시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2단 플라즈마 질화처리한 AISI 4140 강의 질화층 현미경조직은 화합물층과 확산층으로 구성되어 있고 1단계 조건에서 온도변화는 화합물층의 형성에 다소 영향을 미치며 460°C에서 비교적 빨리 형성된다.

2) 분위기 중의 질소분율이 증가할수록 화합물층의 두께가 두꺼워지고 또, 유지시간이 길어질수록 화합물층의 깊이는 깊어지므로 인성이 있는 화합물층과 순수한 확산층을 얻는 관점에서는 질소분율을 낮게 하고 유지시간을 짧게 하는 것이 유효하다.

3) AISI 4140 강에 대해 X-선 회절시험으로 부터 화합물층은  $\alpha$ -Fe와  $\gamma$ -Fe<sub>3</sub>N 만으로 구성되어 있으므로, 1단 처리조건 설정여하에 따라 인성이 있는 화합물층과 순수한 확산층만 존재하는 질화층을 2단 플라즈마 질화처리로 얻을 수 있다.

4) 2단 플라즈마 질화처리시 1단 유지온도의 상승, 질소분율의 증가 및 유지시간이 길어질수록 전체경화 깊이는 다소 증가하는 경향을 나타낸다.

5) 질화처리로 내마모성은 현저히 향상되었고, 2단 플라즈마 질화처리시 1차 유지조건에서 유지온도 상승과 분위기에 질소분율 증가 및 유지시간 증가로 내마모성은 향상되었다.

#### 「후 기」

본 연구비는 산학협동재단 학술연구지원비에 의하여 수행된 것의 일부로서 본 지원에 깊이 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. M.B.Karais and A.M.Staines : *Heat Treatment of Metals*, 1989, 79-82.
2. V.Korotchenko and T.Bell : *Heat Treatment of Metals*, 1978, 88-94.
3. T.Bell and N.L.Noh : *Journal of Heat Treating*, June, 1982, 2, 232-237.
4. C.K.Jones, D.J.Sturges and S.W.Martin : *Metal Progress*, 104 (1973), 62.
5. T.Bell : *Processing, Ded*, 1976, Vo.1, 161-166.
6. K.Keller : *Antriebstechnik*, Mar, 1971, 10, 1-7.
7. T.Bell et al : "Heat Treatment '73", 51, 1975, London, The Metals Society
8. B.Edenhofer : "Heat Treatment '79", 1980, 52
9. A.M.Staines : *Heat Treatment of Metals*, 1990, 85-92B.
10. K.Ozbayal, O.T.Inal and A.D.Romig ; *Mat. Sci and Eng*, 78 (1986), 179-191.
11. V.A.Philips and A.U.Seybolt : *Trans. Metall. Soc. AIME*, 242 (1968), 2415.
12. S.H.Mridha and D.H.Jack : *Met. Sci*, 16 (1982), 398.
13. B.Lightfoot and D.H.Jack : "Heat Treatment", (1975), 243.
14. O.T.Inal and C.V.Robino : *Thin Solid Films*, 95 (1982), 195.
15. T.Takase et al : *Jpn. J. Inst. Met.*, 40 (1976) 663.
16. P.C.Jindal : *J. Vac. Sci. Technol*, 15 (1978), 313-317.
17. T.Bell and V.Korotchenko : *Heat Treat, Met*, 4 (1978), 88.
18. B.Edenhofer : *Heat Treat, Met*, 1 (1974), 23.
19. S.Hogmark and O.Vingsbo, *Wear*, 31 (1975), 39-61.
20. B.Edenhofer : *Heat Treat. Met.*, 2 (1974), 59-67.
21. A.Cohen and A.Rosen : *Wear* 108 (1986), 157-168.