

<論 文>

이온질화에 있어서 첨가탄소량이 경도 및
마모특성에 주는 영향

김 희 송* · 조 규 식** · 강 명 순***

(1982년 8월 31일 접수)

The Added Carbon Content Effect on the Hardness and
Wear Characteristics in Ion-Nitriding

Hei Song Kim, Kyu Sik Cho and Myung Soon Kang

Abstract

This paper deals with hardness and wear characteristics of ion-nitrided metal, and with ion-nitride processing which is concerned with the effects of added carbon content in gas atmosphere.

A small optimal amount of carbon content in gas atmosphere increase compound layer thickness, as well as to increase diffusion layer thickness and hardness, and reduces wear rate when the applied wear load is small.

It is found in the analysis that under small applied wear load, the critical depth where voids and cracks may be created and propagated is located at the compound layer, so that the abrasive wear where hardness is an important factor, is created and the existence of compound layer reduces the amount of wear. When the load becomes large, the critical depth is located below the compound layer and delamination, which may explained by surface deformation, crack nucleation and propagation, is created and the existence of compound layer increase wear rate.

1. 서 론

금속의 내마모성을 증가시키기 위한 방법으로서 사용되는 표면 열처리에는 여러가지 방법이 고려되어 왔고 이들 개개의 처리법에는 각각 장단점을 갖고 있으며 요구 특성을 모두 만족시킬 수 있는 만능의 방법은 없다. 마모현상은 매우 복잡하기 때문에 마모형태 및 마모형식에 따라 최적의 처리방법을 선택 적용하여야 한다.

일반적으로 내마모성을 증가시키기 위한 금속표면 처리는 확산처리, 화성처리 및 피복처리의 3가지가

있다.

확산처리는 금속 표면에 모체 금속과는 다른 물질을 흡착 확산시키는 방법으로서 확산이 용이하게 일어나게 하기 위하여는 확산물질의 원자 직경이 모체 금속 원자에 비하여 작은 것이 좋으며 침탄이나 질화 그리고 시멘테이션이 이러한 범주에 속한다.

화성처리는 금속표면에 모체와는 다른 화합물, 혹은 비금속층을 형성시키는 방법으로서 경계층은 확산처리와 달라 명료한 단층이 되고, 이른바 확산층이 없는 것이 특징이며 인산 피막처리가 이에 속한다.

피복처리는 금속표면에 모체금속과 다른 금속 또는 화합물을 첨가하는 방법으로서 국부적 처리가 쉬우며 경질 크롬도금이 이에 속한다.

내마모성을 증가시키기 위한 표면 열처리는 표면을 경화하는 방법, 경도와 동시에 인성을 부여하는 방법

*정회원, 단국대학교 공과대학

**정회원, 흥능기계공업회사

***정회원, 한양대학교 공과대학

및 표면에 윤활성을 증가시키는 방법으로 분류되기도 한다.

충격을 수반하지 않는 마모조건에서는 경도만을 증가시키면 되나 피로마모의 경우 경도와 인성을 겸비하는 것이 필요하고 특히 경화층의 경계층에서의 경도 구배가 완만하여야 한다. 응착마모의 경우에는 상대 금속과의 응착력을 낮게 하면 되므로 화성처리로서 가능하다. 응착마모에 있어 내부적 마찰이 일어나고 있을 때는 상대 금속과의 응착력을 약화시키고 동시에 모체 금속자체의 경도를 높여야 한다. 따라서 내마모성을 높이기 위하여는 마모형태를 정확히 파악하여 올바른 해석에 입각한 최적의 열표면처리를 하여야 한다.

지금까지 사용되어 오고 있는 내마모성을 증가시키기 위한 확산처리법중의 하나인 질화법에는 가스질화법, 열욕질화법 및 타호트라이드질화법이 있고 최근에는 이온질화법이 연구 개발되었다^(1,2). 이온질화법은 종래의 질화법과 비교하여 작업이 간단하고, 공해문제가 없고, 경제적이며, 질화처리후의 경도, 내피로강도, 내마모성 및 내부식성등 기계적 특성이 우수하여 주목을 받고 있다. 이온질화에 영향을 주는 주요인자는 온도, 시간, 압력 및 가스조성 등의 처리조건과 피처리물 특성으로 알려졌다며 이들 요소의 영향에 관하여는 현재까지 많은 연구가 되어 있다. 그러나 가스중 첨가 탄소량의 영향에 관하여 연구 보고된 것은 극히 드물고 특히 경도 및 마모량에 끼치는 효과에 대하여 발표된 논문은 없다.

본 연구에서는 이온질화 가스중의 탄소량 변화에 따른 경도 및 마모특성을 이론 및 실험적으로 규명하였다.

2. 이 론

2.1. 마모이론

정밀하게 가공된 금속표면이라 할지라도 많은 Asperities가 존재하며 일반적으로 정밀가공은 $0.05 \sim 0.10 \mu$ 그리고 보통의 가공면은 $100 \sim 200 \mu$ 의 조도를 갖는다. Asperities가 존재하는 두 표면이 마모하중을 받으면 Fig. 1과 같이 된다. 접촉면적 A_c 는 물체의 기하학적 형상에 의하여 생성되는 것으로서 가하는 마모하중과는 관계가 없고 진실 접촉면적을 나타내는 A_r 만이 외부에서 가하여지는 하중에 비례한다. 접촉면의 상호 운동에 의하여 돌기의 접촉이 계속 형성, 파괴되며 접촉점은 열을 발생하여 고온이 되고 산화 기타 화학적 변화에 의하여 표면 및 Subsurface의 기계적 성질이 변하기 때문에 마찰현상에 있어서의 마모현상이 매우

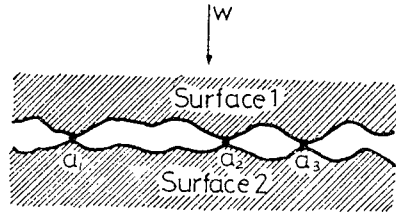


Fig. 1 A surface 1 resting on a surface 2 under a normal load w . contact occurs only at a few asperities, $a_1, a_2,$ and a_3 .

복잡하다. 마찰에 의한 표면 마모의 형태는 미시적인 절삭, 응착에 의한 손상 및 반복부하에 의한 굽부이탈 등으로 구분할 수 있고 이러한 3가지 방법에 의한 파괴가 어떤 조건에서 발생하는가를 돌기 형상으로 보면 5가지 형태로 분류되고 응착의 강도, 모체금속의 강도 및 상대적 침입심도 h/R (R : 돌기 반경, h : 침입심도)에 의하여 결정된다. 마모형식과 마모특성 관계를 table 1에 표시하였다⁽³⁾. 물체의 마찰에 의하여 일어나는 바람직하지 못한 이탈현상이 마모이며 이러한 현상이 일어나는 조건은 돌기상황에 따라 다르고 돌기 파괴의 총화로 나타나는 마모현상을 완전하게 설명한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 앞에서 설명한 마모현상 가운데 지배적인 경우가 있으며 일반적으로 절삭마모, 응착마모 및 피로마모의 3가지 현상으로 분류될 수 있어 이에 대한 이론식을 전개하면 다음과 같다.

(1) 절삭마모

절삭마모는 돌기가 깊고 상대편 시편에 깊숙이 침입한 경우에 일어나며 마모하중이 충격적으로 가하여지는 것 이외에는 재료의 경도가 큰 것일수록 내마모성이 양호하다. 마모과정에서 재료가 가공되고 경도가 변화하며 형상이 변하기 때문에 재형성을 얻기는 힘들다. 이러한 마모의 경우에는 충격을 수반하는 경우와, 그렇지 않은 경우의 둘로 나누어 방지책을 고려하여야 하며 충격을 수반하는 경우는 재료의 경도보다는 인성을 필요로 하고, 충격이 적을 때에는 경도가 내마모성의 기준이 된다. Fig. 2에서와 같이 경도가 큰 시편이 보다 연한 시편에 마모되는 경우 마모거리 S 에 따른 접촉 Asperity의 체적 V 은 다음과 같다.

$$dV = rhdS \quad h = r \tan \theta \quad \text{이므로}$$

$$dV = r^2 \tan \theta ds \quad (1)$$

경도가 작은 재료의 Flow pressure는 경도 H 에 비해 하므로 마모하중 W 가 작용할 경우 관계식은 다음과 같다.

Table 1 The relation between wear type and wear characteristics.

Characteristics \ Type	I	II	III	IV	V
Condition	$\frac{h}{R} < 0.001$	$\frac{h}{R} < 1$	$\frac{h}{R} > 1$	External friction	Internal friction
No. of wear	$n = \infty$	$1 < n < \infty$	$n \rightarrow 1$	$n = \infty$	$n = 1$
Deformation characteristics	Elastic deformation	Plastic deformation	Abrasion	Adhesion	Subsurface fracture
Wear type	Fatigue wear	Fatigue wear	Abrasive wear	Adhesive wear	Adhesive wear

$$\frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{\Delta W}{H} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dS} &= \frac{2\Delta W}{\pi H} \tan\theta \\ \therefore \frac{V}{S} &= \frac{2W}{H} \frac{\tan\theta}{\pi} \end{aligned} \quad (3)$$

(2) 응착마모

응착마모는 상대금속과의 진실 접촉면에서의 응착으로 인하여 한편 재료에서 다른편 재료로 금속이 이전함으로써 발생하는 것이며 이러한 마모의 방지법은 상대 금속과의 응착에 의한 결합력을 약화시켜야 한다. Fig. 3에서 마모상단면이 $Z=0$ 의 위치에서 움직인다고 하고 돌기 전체의 수를 n , 마모 아래표면의 경도를 H 라고 본다. 단순화된 모형도에서는 돌기 한개만이 접촉되어 있으며 n 개의 돌기가 모두 마모될 때의 거

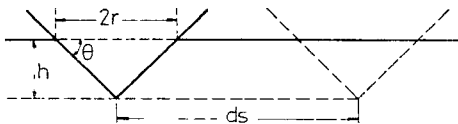


Fig. 2 A hard conical asperity ploughing through a soft metal.

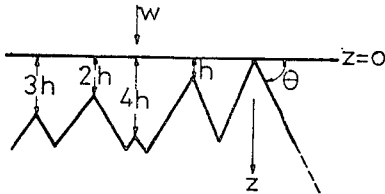


Fig. 3 A flat surface approaching another with conical asperities.

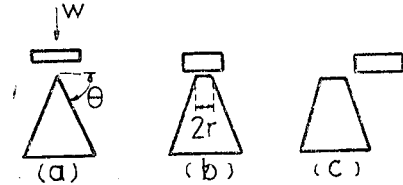


Fig. 4 Schematic representation of a conical asperity being deformed and worn by a flat surface. (a) flat surface approaching; (b) deformation of the conical asperity; (c) flat surface has slid past the area of contact producing wear debris.

리는 다음과 같다.

$$[r=0, 1, 2, 3, 4, \dots, (n-1)]h$$

마모하중에 의하여 돌기의 상단은 Fig. 4에서의 같이 평편하여질 것이고 이때의 폭을 $2r$, 마모된 높이를 h_0 라고 하면 마모량은 다음과 같다.

$$\Delta V = \frac{1}{3} \pi r^2 h_0 \quad (4)$$

$h_0 = r \tan\theta$ 이므로 이것을 식 (4)에 대입하면

$$\Delta V = \frac{1}{3} \pi r^3 \tan\theta$$

단위 길이당의 마모량은 폭의 길이인 $2r$ 로 나누면

$$\Delta V_0 = \left(\frac{1}{3} \pi r^3 \tan\theta \right) / 2r = \frac{1}{6} \pi r^2 \tan\theta$$

따라서 n 개의 돌기에 의한 마모량은 다음과 같다.

$$V = \sum_{r=0}^{n-1} \frac{1}{6} \pi r^2 \tan\theta = \frac{\tan\theta}{6} \sum_{r=0}^{n-1} \pi r^2$$

여기서 $\sum_{r=0}^{n-1} \pi r^2$ 은 진실 접촉면적으로서 A_r 로 표시하고 또 $A_r = W/H$ 로 표시되므로 마모거리 S 에 대한 마모량은 다음과 같이 된다.

$$V = \frac{1}{6} \frac{\tan\theta}{H} WS \quad (5)$$

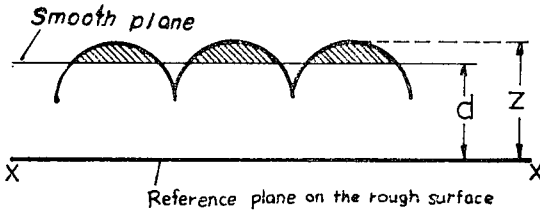


Fig. 5 An idealised rough surface being penetrated by a flat surface.

(3) 피로마모

Roller 및 톱니 바퀴면에 생기는 pitting이나 spalling은 피로 마모의 대표적인 것이며 이러한 현상은 재료의 경도가 높을수록 발생하기 어렵고 재료가 경도와 함께 높은 인성도를 가져야 한다. 표면위의 돌기가 Fig.5에서와 같이 분포되어 있다고 하면 응력 및 변형은 다음과 같이 주어진다. (4)

$$\sigma = B(\epsilon)^P \quad (6)$$

위 식에서 B는 상수이고 P는 가공경화에 의하여 결정되는 상수로서 탄성영역에서는 P=1 이고, 소성인 경우는 P=0 으로 된다. 직경이 2a 인 원형 마모회전체의 접촉면에 작용하는 마모하중이 W인 경우 다음과 같은 식이 성립된다.

$$W = c\sigma\pi a^2$$

$$\sigma = \frac{W}{c\pi a^2} \quad (7)$$

돌기의 반경을 R이라 하면 변형 ϵ 은 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon = D \frac{a}{R} \quad (8)$$

여기서 D는 상수이고, 식 (6), (7) 및 (8)로부터 다음식을 유도할 수 있다.

$$WR^P = \pi BCD^P a^{(P+2)} = Ka^{(P+2)} \dots \dots \dots (9)$$

단, $K = \pi BCD^P$

식 (8)에 $D = \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{1}{P}}$ 을 대입하면

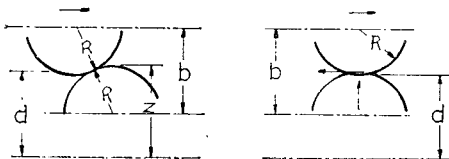


Fig. 6 The asperity contact during sliding. (a)Initial contact; (b) Maximum deformation.

$$\epsilon = \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{1}{P}} \frac{a}{R} \quad (10)$$

진실 접촉면적은 $A_r = \pi a^2$ 이고 Hertzian⁽⁵⁾해로부터 $a = \lambda^{\frac{1}{2}} R^{\frac{1}{2}} \delta^{\frac{1}{2}}$ 로 표시되므로 $A_r = \lambda \pi R \delta$ 이며, Fig. 6에서 Compliance δ 가 최대될 때 변형 ϵ 이 최대가 된다는 사실로부터 식(10)을 변형하므로써 다음 식을 유도할 수 있다.

$$\delta_{max} = 2R - b$$

$$\epsilon_{max} = \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{1}{P}} \lambda^{\frac{1}{2}} \left[2 - \frac{b}{R} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

초기 돌기의 높이를 Z라고 하면 $b = d + 2R - Z$ 이고 따라서 변형의 최대치는 다음과 같다.

$$\epsilon_{max} = \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{1}{P}} \left[\frac{\lambda}{R} \right]^{\frac{1}{2}} \left[Z - d \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

ϵ_1 이 1회 마모중 발생하는 최대 소성변형이라 하고 최종 파괴가 일어날 때의 전체 접촉 횟수를 N이라고 하면 다음 관계가 성립된다.

$$\left[\frac{\epsilon_1}{\epsilon_{max}} \right]^n = N \quad (13)$$

Fig. 7에서 마모 윗표면의 돌기를 n_u , 아래 표면의 돌기를 n_s 라 하고 높이 Z에서 돌기가 접촉할 확률을 $\phi(Z)$ 라 하면 마모거리 S에서 돌기가 접촉하는 수효는 $n_u n_s \phi(Z)$ 로 쓸 수 있다. 이 식에서 전체 접촉 횟수 N 및 최대응력에 의한 ϵ_{max} 에 따른 마모량 V는 다음과 같이 된다.

$$V = r \epsilon^n n_{max}$$

여기서, r은 상수이고, n은 Index defining work-hardening이다. 마모 상단표면의 넓이 방향 돌기수를 n_u 라고 하면 마모량의 총화는 다음과 같이 된다.

$$V = n_u n_s n_r \int_d^{\infty} \frac{\epsilon'^n \phi(Z)}{N} dZ \quad (14)$$

식 (13)을 식 (14)에 대입하면

$$V = n_u n_s n_r \int_d^{\infty} \frac{(\epsilon_{max})^{n+1}}{(\epsilon_1)^n} \phi(Z) dZ$$

윗 식에 식 (12)을 대입하면

$$V = \frac{n_u n_s n_r}{\epsilon_1^n} \int_d^{\infty} \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{n+1}{P}} \left[\frac{\lambda}{R} \right]^{\frac{n+1}{2}} \left[Z - d \right]^{\frac{n+1}{2}} \phi(Z) dZ$$

$n_u = n s_u$ 그리고 $n_s = n s_s$ 의 관계식으로 부터

$$\frac{V}{S} = \frac{n_u n_s^2 s_u r}{\epsilon_1^n} \left[\frac{K}{\pi BC} \right]^{\frac{n+1}{P}} \left[\frac{\lambda}{R} \right]^{\frac{n+1}{2}} \int_d^{\infty} (Z - d)^{\frac{n+1}{2}} \phi(Z) dZ \quad (15)$$

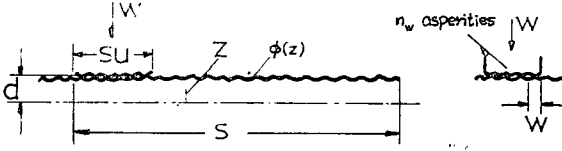


Fig. 7 The model used for the derivation of a wear law.

위 식을 진실접촉 면적을 고려하여 적분하면 다음과 같다.

$$\frac{V}{S} = \left[\frac{n}{\pi \epsilon_1^n} \frac{(\sigma \lambda)^{\frac{t-p+m-z}{2}}}{R^{\frac{z+m-p+t}{2}}} \left(\frac{K}{\pi BC} \right)^{\frac{m+t}{p}-1} \frac{\left(\frac{m+t}{2} \right)!}{\left(1 + \frac{D}{2} \right)!} \right] \frac{W}{CB} \quad (16)$$

식 (16)에서 괄호안의 것을 상수 C_1 으로 바꿀수 있으므로 다음과 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$\frac{V}{S} = C_1 \frac{W}{CB} \quad (17)$$

이 식에서 분모의 CB 는 경도의 인자로 쓸 수 있으므로 다음과 같이 된다.

$$\frac{V}{S} = C_2 \frac{W}{H} \quad (18)$$

2.2. 이온질화 이온의 배경

금속 기지내 탄소의 존재는 $Fe_3C \rightarrow Fe_3CFe_4N \rightarrow Fe_3CFe_3N \rightarrow Fe_{2-3}N(\epsilon)$ 의 반응에 의하여 형성되는 합성층 두께를 증가시키고, 확산작용에 의한 확산층은 금속 기지중의 탄소가 질소의 확산을 방해하여 두께가 감소하는 경향을 나타낸다^(6,7,8). 이온질화 가스중에 탄소를 첨가하면 합성층이 생성되는 금속표면은 탄소량이 많게 되어 전술한 합성층 형성과정에 의하여 합성층 두께가 증가된다는 사실이 발견되었다. 가스중에 탄소첨가로 합성층($Fe_{2-3}N$)이 생성된 금속표면은 확산층이 생성되는 금속내부에 비하여 질소량이 많아져 결과적으로 금속내부로의 질소확산이 이루어지며 확산층이 증가하게 된다⁽⁹⁾.

질화처리된 금속내부에는 잔유응력이 생성되게 되며, 금속표면에 수직력 및 수평력이 작용할 때 금속내부의 최대응력은 표면으로부터 어느 깊이에서 존재하게 되고 따라서 이온질화 처리된 금속의 마모특성은 내부에 생성된 잔유응력과 외부에 기인된 최대응력 특성에 따라 달라진다⁽¹⁰⁾.

본 연구에서는 전술한 바와같이 가스중에 탄소를 첨가하므로서 변화하는 합성층 및 확산층의 특성이 경도 및 마모에 주는영향을 규명한 결과 가스중에 탄소량을 첨가하였을 경우는 탄소를 첨가하지 않았을 때보다 낮은 온도에서 경도의 최대치가 나타났고 마모량도 감소시킬 수 있었다. 이온질화 처리된 금속 표면은 종래의 질화법에 의하여 질화처리된 금속표면과 같으며 최외곽표면인 합성층은 Alcolic nitric acid에 의하여 영향을 받지 않고 희게 나타남으로 White layer라고 불린다. 합성층 아래에 생성된 확산층은 혼합조직으로 되어 있다. 질화처리된 금속의 기계적 성질은 합성층의 동질성과 합성층 깊이에 관계되고 생성된 질화층이 단일상의 합성층이 되면 기계적 성질이 좋아지고 이질성의 조직은 취성을 갖게 되며 전성은 합성층 두께가 증가하면 감소한다. 합성층의 조직은 혼합가스 속에 있는 탄소량에 따라 달라지며 적절한 탄소량은 균일한 합성층 조직생성을 촉진시킬 것이나 탄소량이 많아지면 Fe_3CFe_4N 의 혼합조직이 되며 또한 합성층 두께도 감소시켜 기계적 성질을 저하시킨다. 질화처리한 금속의 경도는 피처리물의 성분, 합성층 깊이 및 균일성 그리고 입자 크기에 영향을 받는다. 동일한 피처리물에 있어서 충분한 합성층 깊이가 생성되었을 때 입자 크기를 작게하는 저온에서 경도가 크게 된다.

3. 실험결과 및 검토

3.1. 시편준비

첨가 탄소량이 경도 특성에 주는 효과를 구명하기 위한 시편은 SCM 22, SCM 3 및 SCM 5 이고 마모실험을 위한 시편은 SCM3로 준비하였다. 제작된 표준시편은 질화처리하기전 1,500 mesh로 표면을 최종 연마한 후 비누물로 깨끗이 닦고 알콜로 세척하여 건조시켰다. 실험 시편의 조성은 Table 2와 같으며, 이온질화 장치는 Fig. 8로 표시하였다. 마모시험은 Ogoshi high speed wear tesing machine (Type OAT-U)을 사용하였으며 시편은 시험기의 표준시편을 사용하였다.

3.2. 경도특성

Fig. 9는 가스중 첨가 탄소량에 따른 경도를 나타낸 것으로서 탄소량 첨가가 0.5 atom%까지는 경도가 증가되나 그 이상에서는 감소하고 있음을 보여 준다. 이러한 경향은 가스중 첨가 탄소량에 따른 합성층 두께를 표시한 Fig. 10과 비슷한 경향을 갖는다. Fig. 11은 SCM22, SCM 3 및 SCM 5의 첨가 탄소량때 0.5 atom%

Table 2 The chemical composition of specimens.

Specimens	Composition C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)
SCM 22	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.85	0.03	0.03	0.25	0.90~1.20	0.15~0.30
SCM 3	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.85	0.03	0.03	0.25	0.90~1.20	0.15~0.30
SCM 5	0.43~0.48	0.15~0.35	0.60~0.85	0.03	0.03	0.25	0.90~1.20	0.15~0.30

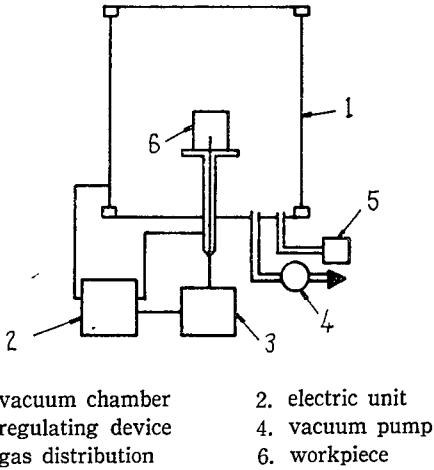


Fig. 8 The Ion-nitriding equipment.

때와 첨가하지 않았을 때의 경도-온도 곡선을 나타낸 것이다. 가스중에 탄소를 첨가하였을 때는 합성층 생성이 용이하게 되어 낮은 질화처리 온도에서 주어진 경도하중에 견딜 수 있는 합성층 두께를 얻을 수 있고, 또 질화처리 온도가 낮으므로 생성 입자의 크기가 작게 되어 경도의 최대치가 탄소를 첨가하지 않았을 때에 비하여 높다.

Fig. 12는 SCM 22, SCM 3 및 SCM 5에 있어서

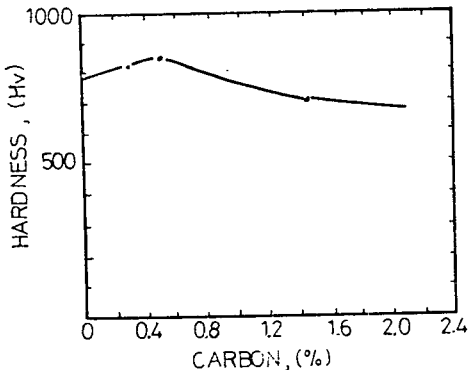


Fig. 9 Relation between hardness and added carbon atom % (Load 200, 500°C, 5 Torr, SCM 3).

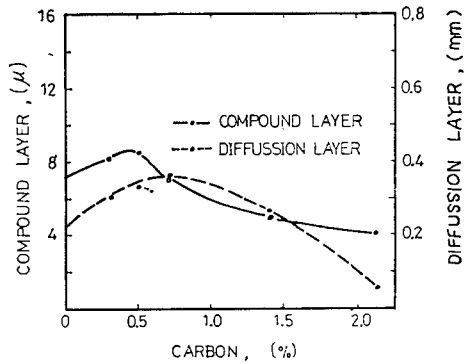


Fig. 10 Compound layer and diffusion layer thickness as a function of added carbon atom% in mixture gas (500°C, 5 Torr, 3 hrs SCM 3).

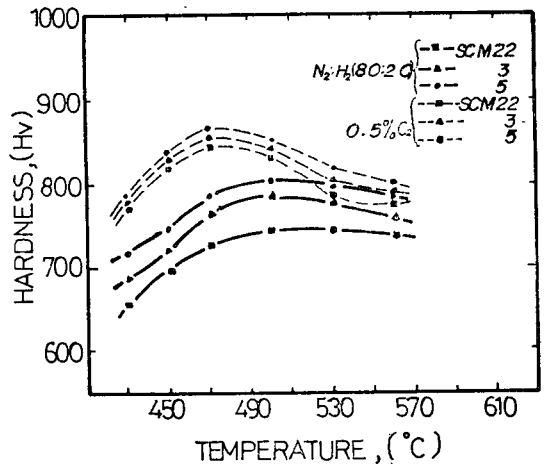


Fig. 11 Relation between hardness and temperature for with and without added carbon 0.5 atom % (Load 200, 5 Torr, 3 hrs).

혼합가스 중 첨가 탄소량에 따른 경도곡선을 표시한 것으로서 급속기내 탄소량이 적은 SCM 22의 경우는 SCM 5보다 합성층 생성이 어려워 합성층 생성을 촉진시키는 첨가탄소량에 따른 영향을 많이 받으나 탄

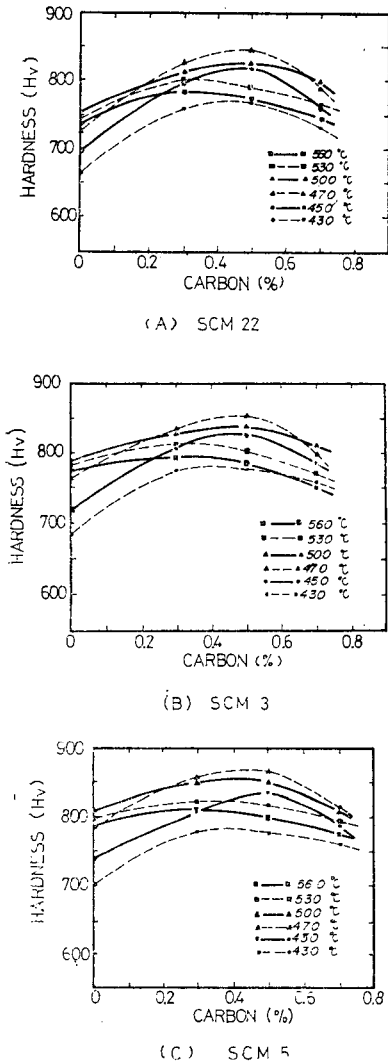


Fig. 12 Hardness profile according to added carbon content for the treatment temperature(Load 200, 5 Torr, 3 hrs).

소량이 많은 SCM 5의 경우는 합성층 생성의 첨가 탄소량에 의한 영향이 비교적 적다.

3.3. 마모특성

마모거리 200 m 그리고 마모하중 3.2 kg의 조건에서 마모속도를 0.304 m/sec에서 3.53 m/sec 까지 6 단계 변화시켰을 경우 마모량과 마모속도 관계를 Fig. 13에 표시했고, 마모속도 2.38 m/sec와 마모하중 3.2 kg의 조건에서 마찰거리를 66.6 m로부터 600 m 까지 5 단계

변화시켰을 때 마모량과 마모거리를 Fig. 14에 나타냈다. Fig. 13과 Fig. 14에서 탄소를 0.5 atom% 첨가하였을 경우와 탄소를 첨가하지 않을 경우보다 마모량이 적게 나타난다. 탄소를 첨가하였을 경우에 마모량이 적은 것은 탄소를 0.5 atom% 첨가하여을 경우가 합성층 두께 및 경도가 더 크고 앞절의 마모이론에서 밝힌 바와 같이 절삭마모의 식을 표시한 식 (3), 응착마모의 식을 표시한 식 (5), 그리고 피로마모의 식을 표시한 식 (18)에서 마모량은 경도에 반비례하기 때문이다.

Fig. 15는 마모량을 첨가 탄소량 atom%에 따라 표시한 것으로 마모하중이 6.3 kg 이하에서는 경도와 첨가탄소량 관계를 표시한 Fig. 8에서 나타난 경향과 유사하며 합성층 두께가 가장 크고 최대 경도가 나타나는 0.5 atom% 첨가탄소량에서 마모량이 가장 적어짐을 볼 수 있다. 그러나 마모하중이 12.6 kg 이상이 되면 0.5 atom% 첨가탄소량에서 마모량이 약간 증가하는 경향을 갖는다. 마모하중이 클 경우는 Void 생성 및 합성→Crack 전과→파괴 과정에 의하여 설명되는 Delamination 마모에 의해서 마모가 일어난 것으로 생각된다. 마찰에 대한 Mechanism은 마찰면에 마모하중이 작용한 상태에서 미끄럼운동을 계속하면 표면은 매끈하게 되며, Subsurface는 Dislocation의 생성 및 운동에 의하여 소성변형을 일으키게 되고, 따라서 금속 내부에 Void가 생성되게 된다. 표면에 작용하는 응력중 전단 응력은 Void 생성을 촉진하고 압축응력은 Void 생성을

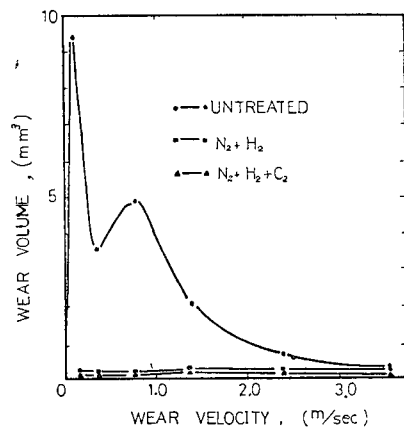


Fig. 13 Variation of wear volume with wear velocity for untreated and Ion-nitrided with and without added carbon 0.5 atom% under condition of wear distance 200 m and wear load 3.2 kg (500 °C, 5 Torr, 3 hrs, SCM 3).

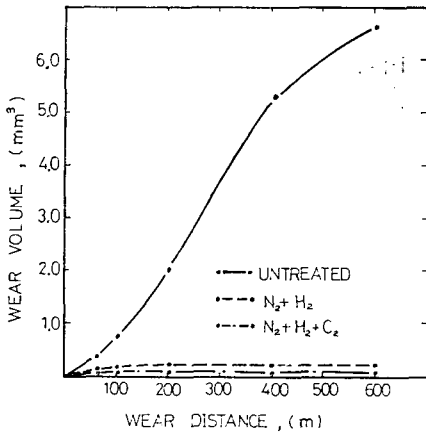


Fig. 14 Variation of wear volume with wear distance for untreated and ion-nitrided with and without added carbon 0.5 atom% under condition of wear velocity 2.38 m/sec and wear load 3.2 kg (500°C, 5 Torr, 3 hrs, SCM3).

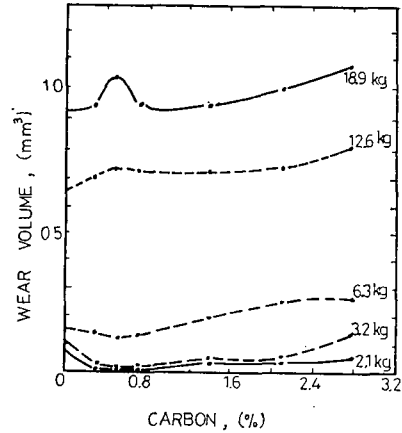


Fig. 15 Variation of wear volume with added carbon atom% for wear load under condition of wear velocity 1.65 m/sec and wear distance 200 m (500°C, 5 Torr, 3 hrs, SCM3).

억제시킨다. 따라서 마찰표면의 파괴는 Void의 생성 및 성장을 촉진시키는 전단응력과 Void의 생성 및 성장을 억제하는 압축응력의 영향을 받게 된다. 이때 전단응력은 마찰계수와 마모하중에 따라 달라지며 압축응력은 마모하중으로 인한 압축응력 및 질화로 인하여 생성되는 금속내부의 잔유응력에 의하여 영향을 받게 된다. 이온질화처리 금속의 잔유압축응력은 금속의 최외곽표면에 생성되는 합성층에서 가장 크고⁽⁹⁾, 또 최대전단응력이 생성되는 영역은 금속표면에 존재하지 않고 금속 내부에 존재한다⁽¹⁰⁾. 그러므로 합성층에서는 Void의 생성이나 성장이 되기 어렵고 가해진 전단응력이 금속의 Bonding Force와 잔류 압축응력과의 합보다 크게 되는 곳에서 생성된다.

혼합조직으로 되어 있어 잔유압축응력이 급속히 감

소하는 합성층과 확산층의 경계층 및 확산층내의 인장 잔유응력이 존재하게 되는 곳에서 Void의 생성이 일어나기 쉽고 마찰표면으로부터 먼 깊이에서는 가해진 응력이 빨리 소멸되므로⁽¹⁰⁾ Void가 생성되지 않는다. 따라서 질화처리된 금속의 마모는 합성층 깊이와 마모하중에 따라 달라진다. 마모하중이 작을 경우에는 마모가 일어날 수 있는 임계 깊이가 합성층 내부에 존재하게 되어 경도가 중요한 인자인 질삭마모가 일어나며, 따라서 합성층의 존재가 마모량을 감소시킨다. 마모하중이 커서 임계 깊이가 합성층 두께보다 크게되면 합성층과 확산층의 경계층 또는 확산층 내에서 Void 생성 및 합성→crack 전파→파괴 과정에 의하여 설명되는 Delamination에 의하여 마모가 일어나게 되어 합성층이 떨어져 나가고, 이렇게 되면 합성층의 존재가 마모량을 증가시키는 요인으로 작용하게 되는 것이다.

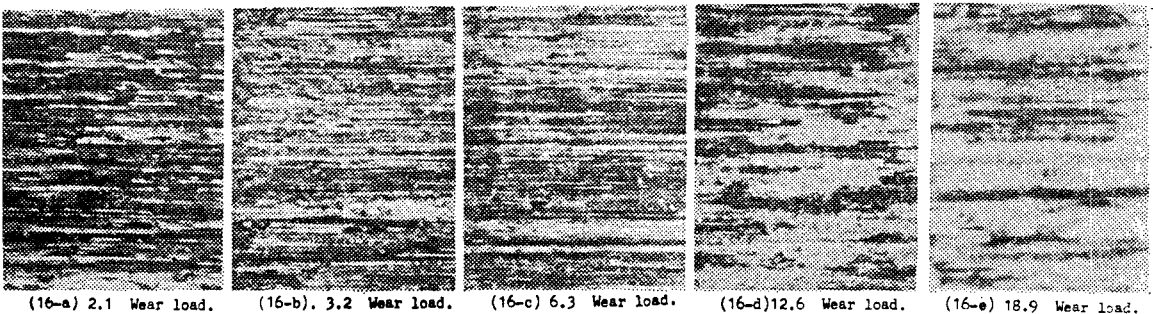


Fig. 16 Photographs of worn surface for SCM3 Ion-nitrided at 5 torr and 500°C (wear velocity 1.37 m/sec wear distance of 200 m).

Fig. 16은 마모된 표면을 마모하중의 변화에 따라 나타낸 사진이며 Fig. 16의 a, b, c는 마모하중이 작은 경우로서 절삭마모가 일어난 표면상을 알 수 있고 d, e는 마모하중이 큰 경우로서 Delamination이론에 의하여 얇은 박판형태로 합성층이 떨어져 나간 표면을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

1. 이온질화가스중에 0.5 atom% 정도 탄소량을 첨가시키면 탄소를 첨가하지 않았을 때에 비하여 낮은 온도에서 경도의 최대치가 나타난다.
2. 마모하중이 작을 경우 이온질화가스중에 탄소를 소량 첨가하면 마모량을 감소시킬 수 있다.
3. 이온질화 처리 금속의 마모는 합성층 깊이와 마모하중에 따라 달라지며 마모하중이 작을 경우 경도가 중요한 인자인 절삭마모가 일어나 합성층 존재가 마모량을 감소시키고 마모하중이 클 경우 Delamination에 의한 마모가 일어나 합성층 존재가 마모량을 증가시킨다.

References

1. V.B. Schweer and B. Edenhofer, Ionitrieren-Anlagen und Anwendungsgebiete, Elektrowareme International 34, 1976, pp.298-305.
2. Yu. M. Lakhtin, Ya. Dkogan and V.N. Shaposhnikov, Optimization of the Gasdynamic and Energetic Parameters of Ion-Nitriding, Metallovedenie Termicheskaya Obrabotka Metallov, 1976, pp.2-6.
3. 吉田亨, 摩耗と表面熱表理, 金屬材料, 12권 4호, pp.11.
4. Halling J. and Nuri KA, Proc IUTAM Symposium on Contact Mechanics, Holland (1974).
5. Halling J. (Ed), Principles of Tribology, The Macmillan Press (1975).
6. B. Prenosil, Gefuge der bodnitrierten and in Ammoniatomosphare mit kohlenwasserstoffzusatz Hergestellten Schichten, Harterei-Techn, Mitt., Vol. 20, 1965, pp.41-49.
7. Imai et al, The Effects of Alloy on Solution of Carbon and Nitrogen in Ferrite Iron, Journal of the Japan Institute of Metals, Vol. 7, 1968, pp. 137-152.
8. Isijawa, The Actual Metal Materials Lecture, Konlip Co., Jap. pp.110.
9. K.S. Cho and C.O. Lee, The Effects of Carbon of Ion-Nitriding, Transactions of the ASME, JE-MT, Vol. 102, April 1980, pp.229-233.
10. K.S. Cho and C.O. Lee, Wear, 64 (1980) 303-310.