RIST 研究論文 第 13 卷 第 3 號 (1999)

이온질화된 SUJ2, SKD11 및 SKD61의 내마모성에 관한 연구

전재호*, 이상화*, 이규창*

A Study on Wear Resistance of Ion Nitrided SUJ2, SKD11 and SKD61

J. H. Jun, S. H. Lee and G. C. Lee

ABSTRACT

A Study on wear resistance of Ion Nitrided SUJ2, SKD11 and SKD61 J.H.Jun, S.H.Lee and G.C.Lee, ABSTRACT Ion nitriding(or Plasma nitriding) process was used to enhance the surface hardness of commercial metals such as SUJ2, SKD11 and SKD61. All the samples were DC plasma nitrided for 35 hours in the atmospheres of 7%N_2 and 50%N_2. To characterize the nitrided layers, microhardness and nitrogen composition distribution were measured in conjunction with examinations of microstructure and phase analysis. Dry wear test were carried out using a wear test machine under conditions of 200rpm speed and 50kgf normal load. This paper will try to find out relationships between the metallurgical property and the wear resistance of the nitrided layers.

Key Words: Surface Hardening, Ion Nitriding, SUJ2, SKD11, SKD61, Wear

1. 서 론

재료의 표면경화 방법에는 다양한 기술이 개발되어 적용되고 있으며, 각각의 기술은 장단점을 가지고 있기 때문에 사용환경 및 요구특성에 따라 적절한 기술을 선택하여 사용하는 것이 중요하다.[1-3] 열처리와 관련된 재료의 표면경화법에는 물리적 표면경화법과 화학적 표면경화법으로 구분할 수 있는데, 고주파 열처리처럼 모재의 화학성분을 변화시키지 않고 열처리 등에 의해 모재를 경화시키는 방법이 물리적 표면경화법이고, 질화(Nitriding)나 침탄(Carburizing)처럼 모재의 화학적 성분을 변화시켜 경화시키는 방법이 화학적 방법이다. 여기서 질화법은 모재에 질소를 확산시켜 높은 경도의 질화층을 형성하는 것을 특징으로 하는데, 다른 표면경화 기술보다 모재의 변형이 매우 적을 뿐 아니라 경화층의 내마모성, 내피로성, 내식성 및 열적 안정성이 우수하다고 알려져 있다.[4] 특히 플라즈마를 이용한 이온질화법(Ion Nitriding)은 종래의 가스질화(Gas Nitriding)나 염욕질화(Salt bath Nitriding)보다 공정시간이 짧고, 처리비용이 매우 낮으며, 무공해 작업을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.[5,6]

이온질화 공정을 간단하게 살펴보면, 플라즈마 상태에서 이온화된 질소이온이 음극인 대상체의 표면에 가속되어 충돌하게 되고, Fe원자와 반응하여 FeN 을 형성한다. 표면에 형성된 FeN은 열역학적으로 불안정하기 때문에 순차적으로 ε($Fe_{2-3}N$)과 γ′(Fe_4N)상으로 변태하여 표면에 화합물 층을 이루고, 이때 분해된 질소의 일부는 모재안으로 확산하여 확산층을 형성한다.[4] 질화층을 구성하는 화합물층과 확산층의 조직 및 상변화는 질화처리조건인 질소농도의 분율, 처리온도 및 처리시간 등에 따라 다양하게 변할 수 있기 때문에, 질화층의 물성도 처리조건에 따라 다양하다. 따라서 원하는 질화층을 얻기 위한 적절한 이온질화 처리조건의 도출이 중요하다.

* 재료공정연구센타 금속 · 코팅재료연구팀

본 연구의 최종목적은 제철소 산세라인에서 열연 코일(Hot Coil) 표면에 존재하는 고온산화 스케일(Scale)을 기계적으로 제거하기 위하여 사용되는 Leveller Work Roll의 내구성을 증가시키기 위한 표면경화 방법과 표면경화된 표면의 제품특성을 검토하는 것이다. 현재 고주파 열처리, 서브제로(Sub-Zero) 열처리 및 이온질화 처리 등의 표면경화 방법들이 제안되어 연구 중에 있는데, 본 논문에서는 이온질화법을 이용하여 제조된 제품의 품질특성 변화에 초점을 두었다. 여기서 이온질화 처리조건은 질소농도 및 처리온도를 변화시켜 질화층의 물성변화를 검토하였으며, 일부 기존의 고주파 열처리에 의해 제조된 제품과 비교하고자 하였다.

2. 실험방법

2. 1 시험편의 열처리

이온질화 처리대상 시험편으로 고탄소 크롬축수강의 하나인 SUJ2와 합금 공구강인 SKD11 및 SKD61을 선택하였고, Table 1은 본 연구에서 사용하였던 시험편의 성분분석 결과이다. 여기서 C 및 S성분은 LECO(美)의 C/S Determinater를 이용하였고, 나머지 원소는 ICP 분석기기를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용한 SKD11 및 SKD61 시험편의 화학성분은 모두 JIS 규격에서 제시한 성분범위에 들어왔다. 그리고 SUJ2의 경우는 Mo성분을 제외하고는 모두 JIS 규격에서 제시한 범위에 들어왔다. SUJ2의 경우, Mo성분은 P, S 성분과 함께 불순물 항목이며, Mo경우 0.08%이하로 규정하고 있다. 따라서 본 시험편은 SUJ2에 Mo를 일부 첨가한 SUJ4에 가깝다고 말할 수 있다.

SUJ2의 열처리는 1차로 850 880℃에서 템퍼링(Tempering)을 실시한 후, 오일 켄칭(Oil quenching)을 하였고, 응력을 제거하고 원하는 경도를 얻기 위하여 520℃에서 템퍼링을 한 후 노냉하였다. 이때 최종 SUJ2의 경도는 H_RC 43 45로 목표하였다. 추가로 SUJ2 시험편은 이온질화 처리와 함께, 고주파 열처리 실시하여 특성을 비교하였다. 고주파 열처리는 650℃에서 템퍼링을 실시한 후, 작업조건은 400kW, 1KHz에서 고주파 열처리를 실시하였다. 한편 SKD11 및 SKD61은 1020 1050℃에서 먼저 켄칭 템퍼링을 실시한 후, SKD11 시험편은 480℃에서, SKD61은 550℃에서 최종적으로 템퍼링을 실시하였다. 이때 열처리를 마친 시험편의 목표경도는 각각 H_RC 58, H_RC 50 53 로 하였다.

Table 1 Chemical Compositions of Test Specimens (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	V	P	S	Mo
SUJ2	0.99	0.23	0.41	1.47	0.008	0.015	0.002	0.48
SKD11	1.43	0.34	0.36	11.84	0.22	0.025	0.0022	0.66
SKD61	0.41	0.94	0.37	4.93	0.88	0.002	0.0023	1.27

2. 2 이온질화 방법

이온질화를 실시하기 전에 우선 시험편의 표면에 존재할 수 있는 이물질 및 산화물을 제거하기 위해 각각의 시험편을 진공쳄버에 장입한 상태에서 전처리 하였다. 전처리 조건은 H_2와 Ar가스의 양을 1:1로 하여 400℃에서 1시간 동안 스퍼터링(Sputtering)을 실시하였다. 전처리를 마친 시험편은 Table 2에서 제시한 대로, 정해진 온도 및 가스분위기에서 일정시간 동안 이온질화를 실시한 후, 노냉하였다. 이온질화시 챔버내의 가스압력은 3 4 torr에서 실시하였고, 방전전압은 500V로 유지하였다.

이온질화 처리시 중요한 작업조건은 처리온도와 N_2 가스의 분율이다. 본 연구에서는 기본적으로 N_2의 양을 7%로 하였다. N_2의 양을 7%로 한 이유는 표면에 형성되는 화합물층을 최소화 할 목적이었다. 왜냐하면 일반적으로 화합물층의 내마모성이 확산층보다 우수하나, 피로특성 및 내충격성에는 확산층이 화합물 층보다 유리하다고 알려져 있기 때문이다.[7] 그리고 SKD11시험편의 경우는 N_2가스의 양을 50%로 증가시켜서 추가로 실시하였는데, 이는 지금까지 실시된 문헌조사를 통해 가장 많이 사용되는 조건을 모사한 것이다. 한편 처리온도는 일반적으로 이온질화 처리 직전에 실시한 템퍼링 열처리 온도보다 낮은 온도에서 실시하게 된다. 템퍼링 온도보다 높으면 질소의 확산이 빨라지기 때문에 질화깊이가 커지는 효과가 있으나, 동시에 기판자체의 경도가 감소하는 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 SUJ2의 경우는 510℃(템퍼링 온도대비 -10℃), SKD11의 경우는 450℃(-30℃), SKD61의 경우는 510℃(-40℃)에서 실시하였다. 그리고 특별히 SKD11 시험편의 경우는, 처리온도에 따른 질화층의 특성을 비교하기 위하여 템퍼링 온도인 480℃보다 높은 510℃에서 이온질화를 추가로 실시하였다. 여기서 이온질화 처리시간은 모두 35시간으로 동일하게 하였다.

Table 2 Ion Nitriding Treatment Conditions

Sample Name	가스조성(%)		가스압력 (torr)	온도 (℃)	시간 (hrs)	비고 (전처리조건)
	N_2	H_2				
SUJ2-N	7	93	3~4	510	35	· Sputtering · H2/Ar=1:1 · 400℃X1hr
SKD11-N(A)	7	93		450	35	
SKD11-N(B)	50	50		450	35	
SKD11-N(C)	7	93		510	35	
SKD61-N	7	93		510	35	

2. 3 질화층의 특성평가

이온질화 처리된 질화층 및 고주파 열처리에 의해 제조된 시험편의 특성을 평가하기 위하여 경도변화, 질소농도변화, 조직변화 및 내마모성 등을 실시하였다. 경도측정은 100g의 하중으로 마이크로 비커스 경도계를 이용하였고, 표면과 질화층의 단면을 깊이방향별로 측정하였다. 질화층의 표면조도는 3차원조도계를 가지고 측정하였는데, 이때 측정면적은 4×5.6mm이고, 측정속도는 80mm/min이었다. 조직변화를 알아보기 위해 우선 XRD를 가지고 질화층의 상변화를 분석하였고, 조직관찰의 변화를 알아보기 위해 나이탈(Nital)용액으로 에칭한 후, 광학현미경 및 SEM을 이용하여 관찰하였다. 그리고 확산층내 질소농도의 분포를 확인하기 위하여 EPMA분석장치를 가지고 질화깊이 방향에 따른 질소성분의 강도변화를 측정하였다.

한편 질화처리된 시험편의 내마모성 및 마찰계수를 측정하기 위해 Orientec Co.(日)의 마찰마모시험기(Model: EFM-Ⅲ-F)을 이용하였다. 여기서 사용된 시험편과 마모자의 모양, 크기 및 표면가공 기준을 Fig. 1에 제시하였다. Fig. 1에서 보여주는 것처럼 판상의 고정시험편(이온질화 시험편)에 링모양의 가동시험편(마모자)이 일정한 하중 하에서 회전을 하면서 마찰마모가 발생하게 된다. 일정시간동안 마모실험을 마친 시험편은 실험전과 후의 무게변화를 측정하여 내마모성을 비교하였다. 본 실험에서 사용한 마모자로 사용한 재질은 S45C이었고, 마모실험시 가중압력은 50kgf로 하였으며, 마모자의 회전속도는 200rpm으로 고정한 상태에서 1 3시간 동안 진행하였다.

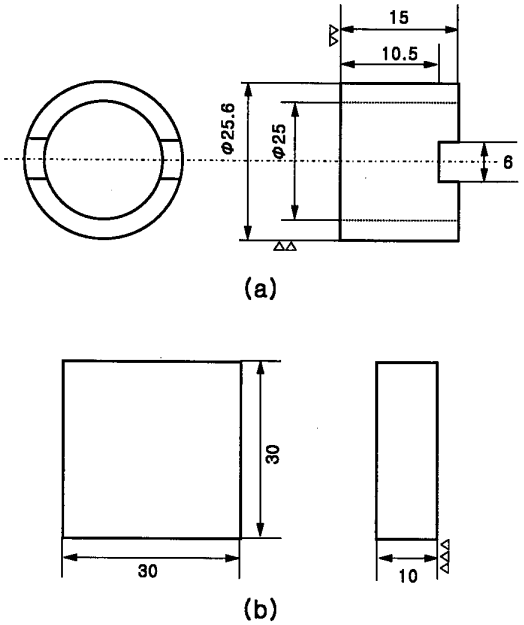

Fig. 1 Schematic diagram for wear test specimen
(a)Moving counterpart (b)Static test specimen

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 경도 및 질소농도의 변화

Fig. 2는 이온질화 처리된 시험편의 깊이방향에 따른 경도변화를 보여주는 그림으로 Fig. 2(a)는 SKD11을 모재로 한 경우이다. SKD11-N의 경우, 표면경도는 7%N_2 분위기에서 처리온도를 450℃로 한 SKD11-N(A) 시험편의 경우, 약 Hv1250로 이온질화 처리 전에 모재의 경도값보다 2배 증가하였다. 이온질화 처리온도를 510℃로 한 SKD11-N(C) 시험편은 표면경도가 Hv1100으로 다소 떨어지고, 모재의 경도값도 Hv550으로 이온질화 전보다 약 Hv100 정도 떨어진 값이다. 이는 이온질화 처리온도가 이온질화 처리 전에 실시하는 템퍼링 온도인 480℃보다 높은 온도에서 실시하였기 때문이다. 한편 450℃의 50%N_2 분위기에서 이온질화 처리한 SKD11-N(B) 시험편의 경도변화는 7%에서 실시한 시험편과 유사한 양상을 보이나, 전체적으로 다소 높은 경도값을 보이고 있다. 특히 Hv1000이상의 경도값을 보이는 질화깊이를 살펴보면, 50%N_2에서 실시하였을 때 약 70㎛이나, 7%N_2에서 실시한 경우는 약 40㎛이었다. 경도값의 변화를 기준으로 질화층의 깊이를

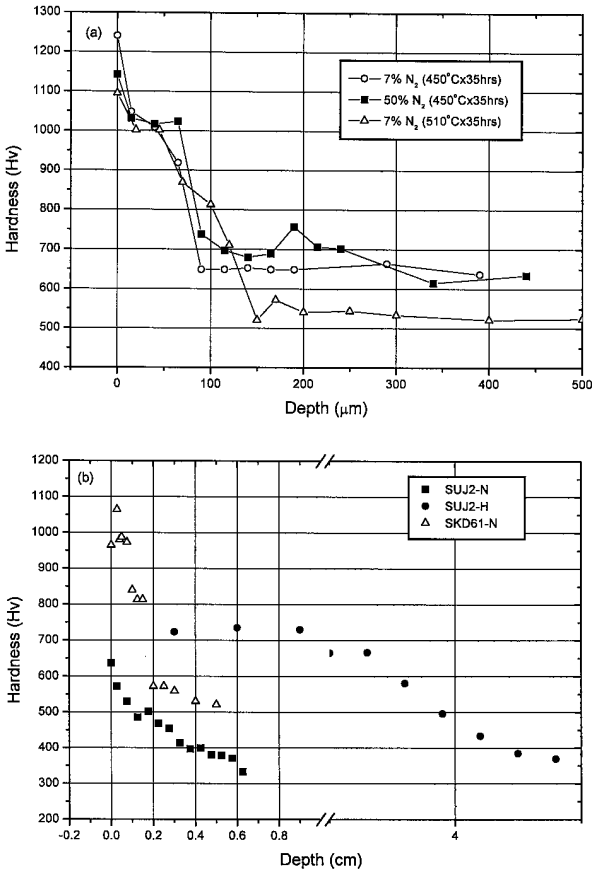

Fig. 2 Microhardness profiles for ion nitrided specimens.

살펴보면, 450℃에서 처리한 시험편은 약 70 80㎛이었으며, N_2 량을 7%에서 50%로 증가하였을 때 질화깊이는 다소 증가하였다. 한편 510℃에서 실시한 경우는 질화깊이는 130 150㎛ 사이에 위치함을 알 수 있다. 질화층의 깊이는 이온질화 처리시 표면에 흡착한 질소의 확산과정과 관계되기 때문에, 질화층의 깊이(t^2)는 질화대상물 속에서 질소의 확산계수(D)에 비례한다고 알려져 있다.[8,9]

Fig. 2(b)는 7%N_2에서 이온질화 처리된 SUJ2-N과 SKD61-N 및 고주파 열처리된 SUJ2-H의 경도변화를 비교하여 도시하였다. 먼저 이온질화 처리된 SUJ2-N은 표면에서부터 기지금속까지 서서히 감소하는 모습을 보이고 있으며, 경도값은 표면에서 Hv640 에서부터 400㎛에서는 Hv400 이하로 떨어지고 있다. 그러나 고주파 열처리된 SUJ2-H 시험편은 표면에서 약 3mm 이상까지 Hv650이상 의 경도를 유지하다가 그 이후에 서서히 감소하는 양상을 보여주고 있다. 질화깊이를 비교하면, 이온질화된 시험편은 고주파 열처리된 시험편에 비하여 매우 작은데, 만약 이온질화 처리된 시험편과 고주파 열처리된 시험편의 마모속도가 비슷하다면 고주파 열처리가 내마모성을 증대시키는데 훨씬 효과적임을 암시하는 결과이다. 한편 이온질화처리된 SKD61-N의 경우는 표면 Hv960에서 안쪽으로 갈수록 다소 증가하다가 다시 감소하는 모습을 보인다. 그리고 200㎛ 이상에서 경도값이 갑자기 감소하는 것으로 보아 질화깊이는 200㎛라고 볼 수 있다.

Fig. 3은 이온질화 처리된 시험편의 SKD11-N 시험편의 질소농도 변화를 보여주는 그림이다. 질소농도의 변화를 기준으로 볼 때, 질화깊이는 450℃의 7%N_2에서는 70㎛, 450℃의 50%N_2에서는 85㎛이며, 510℃의 7%N_2에서는 약 130㎛이다. 표면근처에서는 50%N_2에서 실시한 SKD11-N(B) 시험편이 가장 높은 질소농도를 보이고 있는데, 이는 앞서 설명한 높은 경도측정치를 증명하는 결과이다. 그리고 510℃에서 처리한 경우는, 확산층내에서 질소농도의 변폭이 심한 것을 보여주는데, 이는 확산층내에서 조대하게 형성된 질탄화물의 영향으로 볼 수 있다. 질소의 농도변화를 기준으로 측정한 질화깊이는 경도변화를 기준으로 측정한 질화깊이와 유사한 결과를 보이고 있으며, 이는 이온질화 처리에 의해 모재 속으로 확산한 질소가 모재의 경도를 증가시키는데 직접적으로 영향을 준다고 볼 수 있다. 이온질화 처리에 의해 형성된 확산층은 모재의 내마모성을 증가시키는데, 이는 기지금속내 침입형 형태로 고용되어 존재하는 질소와 분산형태로 존재하는 질화물에 의하여 이루어 진다. 결국 내마모성은 기본적으로 질화

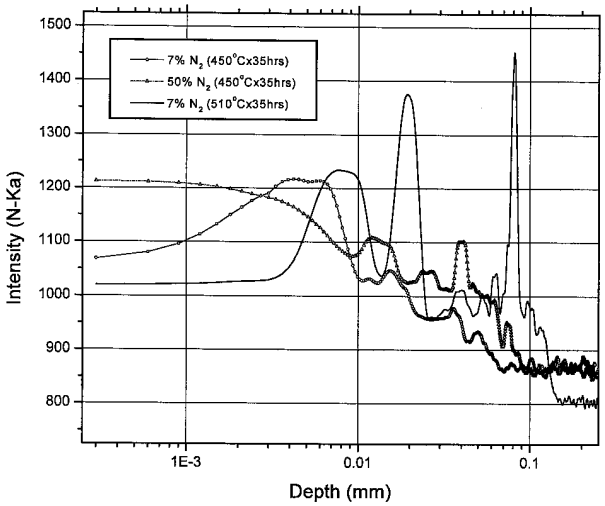

Fig. 3 Nitrogen intensity profiles of ion nitrided SKD11.

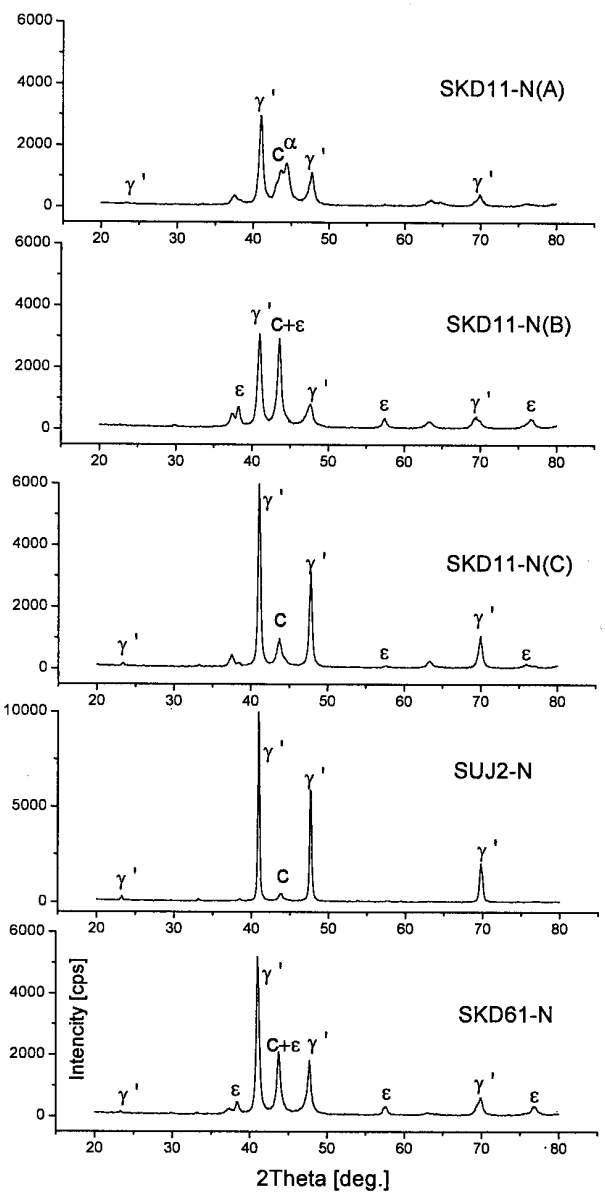

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of ion nitrided specimens.

깊이에 의존하나, 표면에서 깊이방향으로 갈수록 내마모성은 감소하게 된다. 왜냐하면 안쪽으로 갈수록 질화물의 석출밀도와 기지금속내 과고용되었던 질소의 농도가 감소하기 때문이다.[7]

3. 2 조직의 변화

Fig. 4는 이온질화 처리 후 질화층의 상분석을 위해 XRD분석을 실시한 그림이다. 우선 이온질화 처리된 SKD11시험편의 XRD 결과를 보면, 질소농도를 7%로 하였을 때는(SKD11-N(A), SKD11-N(C)) 화합물층이 주로 γ′(Fe_4N)으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 물론 질화처리 온도를 510℃로 한 SKD11-N(C)시험편은 γ′상과 함께 ε($Fe_{2-3}N$)상에 피크가 약하게 검출되었는데, 회절선의 강도로 보아 ε의 양이 매우 적은 것으로 판단된다. 실제로 N_2 가스량이 낮은 경우에는 ε상의 형성이 어려운 것으로 알려져 있다. 그리고 N_2 가스량이 낮은 경우에는 화합물층의 형성이 억제되고 확산층만으로 구성된 질화층을 얻을 수 있을 것으로 기대하였으나, 처리시간이 길어짐으로 인하여 표면에 화합물층이 형성된 것으로 판단된다. 한편 질소농도를 50%로 한 SKD11-N(B)시험편은 화합물층이 ε($Fe_{2-3}N$)상과 γ′(Fe_4N)상으로 혼합하여 구성되어 있다. 이처럼 두 개의 ε+γ′상이 혼재되어 있는 경우, 내부의 자체응력으로 인하여 균열이 생기기 쉽다고 알려져 있는 데,[4,10] 이러한 조직특성이 내마모성에 어떠한 영향을 미치는 지는 나중에 기술하고자 한다. 마지막으로 질소농도를 7%에서 이온질화 처리한 SUJ2-N은 γ′으로 구성되어 있고, SKD61-N 시험편은 ε+γ′으로 구성되어 있었다. 이처럼 이온질화 처리시 질소농도를 7%에서 동일하게 하였음에도 불구하고, 모재의 종류나 처리시간에 따라 화합물층의 상은 다소 상이하게 관찰되었다.

Fig. 5는 이온질화 처리된 시험편의 단면 SEM 사진이다. 먼저 SUJ2-N과 SKD61-N 시험편의 경우 표면에 약 3 4㎛ 크기의 화합물층이 관찰되었고, 화합물층 밑에는 거대한 확산층이 존재하고 있다. 광학사진을 통해 관찰한 결과 SUJ2 경우 400㎛, SKD61 경우 200㎛이었다. 여기서 SKD61-N 시험편은 화합물층 밑에 형성된 확산층내에는 결정입계에 망상구조의 화합물이 형성되어 있는데, 이러한 형태의 질탄화물은 취약하여 내마모성을 감소시킨다고 알려져 있다.[4] 한편 SKD11-N 시험편의 경우, 화합물층 밑에 형성된 확산층은 7% N_2분위기에서 실시한 SKD11-N(A) 및 SKD11-N(C)의 시험편에서는 명확하게 화합물층을 구분할 수 없었으며, 광학현미경 관찰에서도 관찰할 수 없었다. 이는 표면에 형성된 화합물층이 매우 적게 형성되었기 때문으로 판단된다. 그러나 50% N_2분위기에서 실시한 SKD11-N(B) 시험편은 표면에 박리 및 균열이 관찰되었는데, 이는 앞서 설명한 대로, 표면에 ε+γ′상이 혼재되어 내부의 응력으로 인하여 쉽게 균열이 발생한 것으로 보인다. 이러한 균열은 초기 내마모성에 악영향을 미칠 것으로 판단된다. 조직의 특성을 좀더 살펴보면 SKD11 시험편의 경우, 확산층내에는 조대한 질탄화물이 형성되었는데, 온도가 높은 SKD11-N(C) 시험편은 크기가 더욱 발달되어 내마모성에 나쁜 영향을 줄 것으로 판단된다. 확산층의 깊이는 7%N_2의 450℃에서 실시한 SKD11-N(A) 시험편은 70㎛, 50%N_2의 450℃에서 실시한 SKD11-N(B) 시험편은 80㎛, 7%N_2의 510℃에서 실시한 SKD11-N(C)는 130㎛이었다. 이는 경도변화 및 질소농도의 변화결과에서 측정한 질화깊이와 거의 일

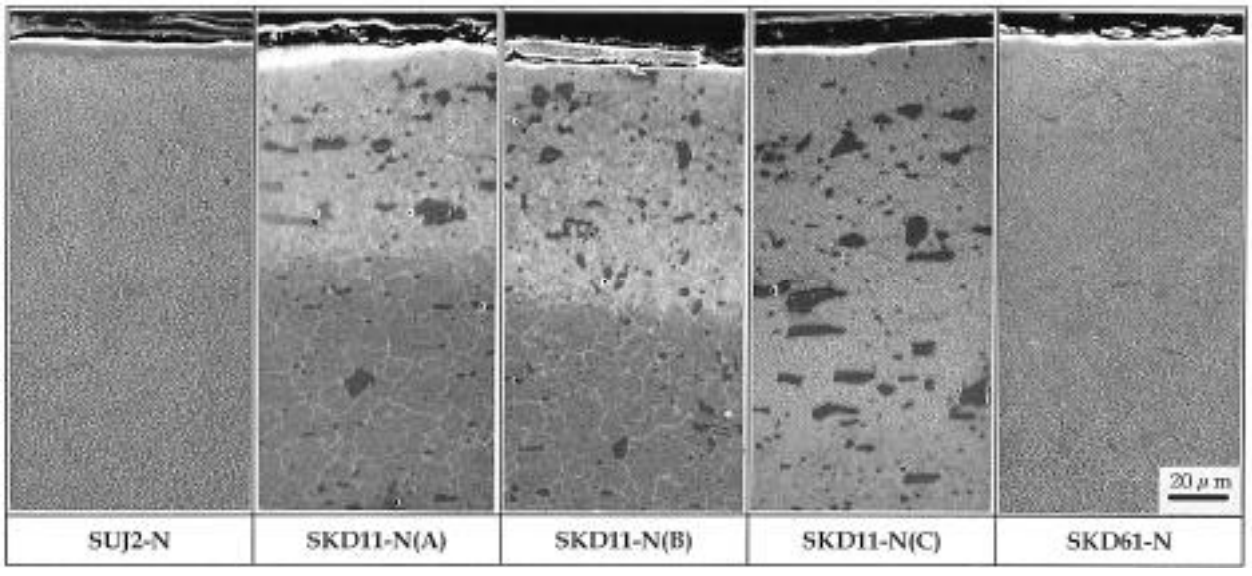

Fig. 5 SEM Micrographs of cross sections of ion nitrided specimens.

치하는 수치이다.

3. 3 표면조도 및 마찰계수의 변화

Table 3은 이온질화 전후에 SKD11 시험편의 표면조도 및 마찰계수의 변화를 보여주고 있다. 우선 표면조도값의 변화를 살펴보면 이온질화 처리 전에는 Ra 값과 Rmax 값이 각각 0.7㎛, 5.3㎛의 값을 보여주었지만, 이온질화 처리 후에는 약 2배이상으로 증가하였다. 그리고 기본적으로 이온질화 처리온도 및 N_2 가스 조성에 따른 표면조도의 차이는 크지 않았으나, N_2 가스를 50% 한 경우가 7% 로 처리한 경우보다 다소 높게 나타났다. 이는 이온질화 처리중 가스분위기중에 질소농도가 증가함에 따라 발생하는 스파크량이 증가하기 때문으로 알려져 있다.[11] 한편 내마모 실험시 측정한 SKD11 시험편의 마찰계수 변화를 보면, 이온질화 처리 전에는 0.62인 것이, 이온질화를 처리한 후에는 평균 0.67로 다소 증가하였다. 이는 이온질화 처리 후 표면조도 증가와 관계한다고 볼 수 있다. Fig. 6은 이온질화 처리 전과 후의 SKD11의 표면 형상이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이, 이온질화 처리후의 표면형상은 이온질화를 실시하기전 시험편 표면의 기하학적인 영향을 그대로 따르고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 표면의 요철을

Table 3 Changes of Surface Roughness and Friction Coefficient

구 분		SKD11	After Ion Nitriding		
			SKD11-N(A)	SKD11-N(B)	SKD11-N(C)
표면조도 (㎛)	Ra	0.7	1.6	1.7	1.5
	Rmax	5.3	11.9	13.0	12.1
마찰계수		0.62	0.64	0.67	0.69

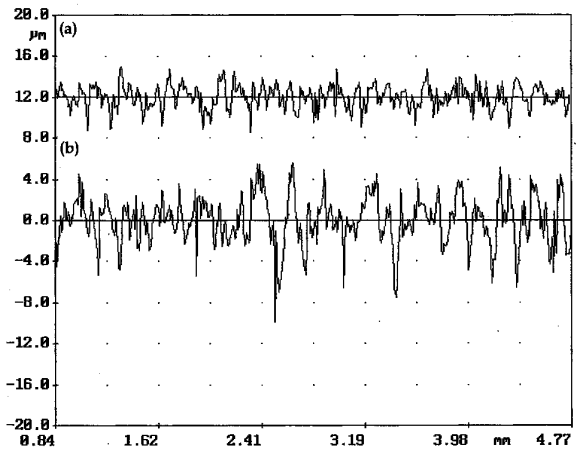

Fig. 6 Surface roughness profiles of SKD11 specimen before and after ion nitriding.
(a) before ion nitriding (b) after ion nitriding

보여주는 피크와 피크 사이의 개수를 보면 8 9ea/mm로 이온질화처리 전, 후의 개수와 거의 일치하고 있다. 즉 이온질화처리 후, 표면형상은 이온질화처리 전에 표면마무리형상을 그대로 전사하고 있으며, 표면조도의 증가는 산과 골의 깊이의 차이가 커짐에 의한 것으로 판단할 수 있다.

3. 4 내마모성의 변화

이온질화된 시험편의 내마모성에 대하여 기술하기 전에, 먼저 언급하고 싶은 것은 이온질화 처리된 시험편의 내마모성은 마모시험 조건에 영향을 받는다는 사실이다. 몇 가지 예들 들면, 마모속도가 작은 경우는 화합물층의 유무에 관계없이 마모량에 차이가 거의 없으나, 마모속도가 큰 경우에는 화합물층이 없거나 제거한 시험편의 마모속도가 현저하게 증가한다고 하였다.[4] 그리고 마모하중에 따라 재료의 내마모성이 변할 수 있는데, 작은 하중에서는 화합물층의 존재가 내마모성의 증가에 좋은 영향을 주나, 높은 하중에서는 화합물층의 박리를 유발하기 때문에 효과가 떨어진다고 알려져 있다.[12] 즉 재료의 내마모성을 판단하기 위해서는 모사 실험을 통해 얻은 실험실적 결과를 기본으로 하되, 실제 사용환경에서 적용하여 실험실적 결과를 검증하는 것이 무엇보다 중요하다고 본다.

Fig. 7은 이온질화 처리를 실시하지 않은 시험편과 이온질화처리된 시험편의 내마모성을 보여주는 그림이다. Fig. 7(a)는 3시간동안 마모실험 후, 무게감량을 측정한 결과이다. 이온질화를 처리하지 않은 시험편은 종류에 관계없이 유사한 마모량을 보여주고 있다. 이온질화처리된 SKD11-N 시험편은 처리조건에 따라 이온질화 처리되지 않은 시험편에 비하여 2~3배의 내마모성을 보이고 있다. 그중에서도 50%의 질소분위기에서 실시한 SKD11-N(B) 시험편의 내마모성이 가장 우수하였다. 이는 50%의 질소분위기에서 이온질화 처리된 시험편이 7%의 질소분위기에서 이온질화 처리된 시험편보다 전체적으로 높은 경도값을 유지하기 때문에 내마모성이 우수하게 나왔다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 2(a) 및 Fig. 3 의 결과를 통해 확인할 수 있다. 한편 SUJ2의 경우, 이온질화 처리된 시험편과 고주파 열처리된 시험편의 내마모량이 유사하였다. 이러한 결과는 SUJ2의 내마모성에 미치는 이온질화효과가 고주파 열처리를 한 경우보다 떨어진다고 말할 수 있다. 왜냐하면 고주파 열처리를 하게되면 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 경도증가 깊이가 이온질화 처리보다 10배 이상 크기 때문에 두 시험편의 마모속도가 비슷하다면 고주파 열처리가 내마모성을 증대시키는데 훨씬 효과적이기 때문이다. 한편 7% N_2 분위기에서 이온질화 처리된 SKD61-N 시험편은 마모량이 매우 증가하여 이온질화 처리효과가 전혀 없다고 결론지을 수 있다. 즉

SKD61-N 경우는 앞의 Fig. 5의 조직사진 결과에서도 설명하였듯이, 7% N_2분위기에서는 이온질화 처리에 의해 형성된 질화층의 조직이 내마모성을 증가시키는데 기여하지 못하고, 오히려 모재의 표면특성을 취약하게 만들었다고 볼 수 있다.

Fig. 7(b)는 SKD11시험편의 시간에 따른 마모량 변화를 보여주는 그림이다. 주어진 마모시험 조건에서 이온질화를 실시하지 않은 SKD11시험편 및 7%N_2 분위기에서 이온질화를 실시한 SKD11-N(A)는 시간에 따른 마모량은 직선적으로 변하고 있다. 시간에 따른 기울기를 살펴보면, 이온질화 처리를 하지 않은 SKD11 시험편은 시간에 따른 마모속도가 급격하게 증가하고 있으나, 이온질화 처리된 SKD11-N 시험편은 마모속도가 적었다. 특히 50%N_2 분위기에서 이온질화 처리된 SKD11-N(B)은 처음 1시간 동안에 약 0.04g의 마모량을 보였으나, 그 이후 마모량의 증가는 매우 작았으며, 7% N_2분위기에서 이온질화 처리한 SKD11-N(A)보다 우수하였다. 단지 초기 1시간 동안 마모량이 매우 큰 것을 알 수 있는데, 이는 표면에 형성된 화합물층의 물성과 관계된다. 질소농도를 50%로 한 경우는 Fig. 4 및 Fig. 5에서 보여주었듯이, 화합물층이 ε+ γ′상으로 혼합

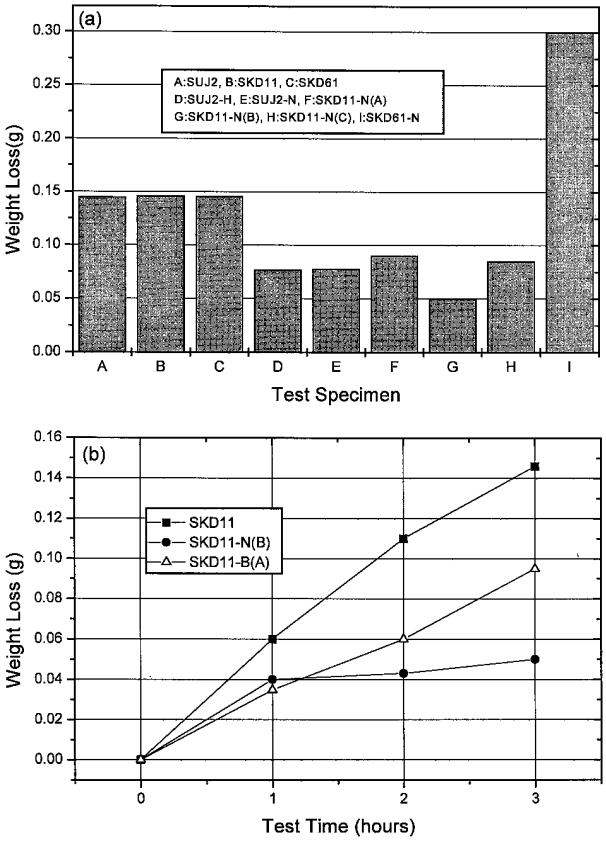

Fig. 7 Weight loss data of various specimens tested at 200rpm speed and 50kgf load.

하여 구성되어서, 내부의 자체응력으로 인한 균열이 발생하여, 초기 내마모성을 저하시켰다고 판단된다. 이런 경우, 경화층 깊이가 얇은 것보다는 깊은 것이 수명을 증가시킬 수 있기 때문에 고질소, 장시간 처리로 화합물층과 깊은 확산층을 형성시킨 후, H_2 스퍼터링을 통해 화합물층을 제거하는 방법을 응용할 수 있다.[13,14]

4. 결 론

1) 7% N_2 분위기에서 35시간동안 이온질화를 실시하였을 때, 표면경도는 SKD11 경우 Hv1250, SUJ2 경우 Hv640, SKD61 경우 Hv960 이었다. 질화깊이는 SKD11 경우 70 130㎛(처리온도에 따라), SUJ2의 경우 400㎛, SKD61 경우 200㎛ 이었다. 여기서 질화깊이를 측정함에 있어서, 경도값의 변화, 질소농도의 분포 및 조직사진등을 통해 관찰한 질화깊이의 결과들이 모두 일치하였다.
2) 7% N_2 분위기에서 35시간동안 이온질화 한 경우, 모든 시험편은 표면에 기본적으로 γ′(Fe_4N)상 화합물층을 형성하였다.
3) 7% N_2 분위기에서 이온질화 처리된 시험편은, SKD61 시험편을 제외하고, 이온질화를 처리하지 않은 시험편에 비하여 주어진 마모시험 조건에서 마모량이 감소하였다.
4) 7% N_2 분위기에서 실시한 이온질화 시험편과 이온질화를 실시하지 않은 시험편은 주어진 마모실험 조건에서 시간에 따른 마모량이 직선적으로 증가하였다.
5) 50% N_2 분위기에서 실시한 SKD11 시험편이 주어진 마모시험 조건에서 가장 우수한 내마모성을 보여주었는데, 이는 모재 내 질소농도의 증가에 따른 경도증가에 기인한다. 그러나 초기 내마모성은 균열을 포함하는 화합물층인 ε+ γ′의 존재로 감소하였다고 판단된다.

5. 참고문헌

(1) G.Krauss, J.Heat Treating, Vol.9, No.2, p.81 (1992)
(2) S.Bahadur, Effect of Surface Coatings and Treatment on Wear, ASTM Pub., (1996)
(3) S.Lampman, Introduction to Surface Hardening, ASM Handbook Vol.4, p.259 (1991)
(4) イオン・フラズマ窒化法, 日本電子工業(NDK) (1991)
(5) U.S.Byon et al, J.K.Inst.Met.Mat., Vol.5, No.4, p375 (1992)

(6) Y.S.Kim and J.R.Park, Journal of KWS, Vol.17, No.1, 6 (1999)
(7) F.T.Hoffmann and P.Mayr, Nitriding and Nitrcocarburizing, ASM Handbook Vol.18, p.878 (1992)
(8) L.G.Petron, Metal Sci. & Heat Treatment, Vol.37 No.1~2, p.41 (1995)
(9) Y.Sun and T.Bell, Surface Eng., Vol.11, p.49 (1975)
(10) M.B.Karamis, Thin Solide Films, Vol.203, p.156 (1975)
(11) T.Chihaya, R.Urao & S.Yoshioka, j.japan Inst. Metals, Vol.39, p.156 (1975)
(12) K.S.Cho and C.O.Lee, Wear, Vol.64, p.303 (1980)
(13) S.Nagata, 熱處理, 27권, 6호, p.336 (1987)
(14) D.B.Clayton and K.Sachs, Heat Treatment, The Metals Society, London (1976)