

이온 플레이팅법으로 제조한 $(\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x)\text{N}$ 박막의 마모특성에 관한 연구

이 광희 · 박 찬홍* · 이 정중

서울대학교 공과대학 재료공학부, *SKC(주) 중앙연구소

Wear properties of $(\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x)\text{N}$ coatings deposited by ion-plating method

K. H. Lee, C. H. Park* and J. J. Lee

School of Mater.Sci.Eng., Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
*SKC Co.,Ltd #460 Chonhung-Ri, Songgo-Ub, Chonan-City,
Chungchongnam-Do, 330-830 Korea

Abstract

$(\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x)\text{N}$ coatings were deposited by an ion-plating method in a reactor with two separate metal sources, Ti and Cr. Ti was evaporated using an electron beam, while Cr evaporation was carried out by resistant heating. The Ti and Cr concentrations in the coatings were controlled by the Ti and Cr evaporation ratio. The coating hardness increased with increasing the Cr content (x) and showed a maximum value of 6,000 HK at around $x=0.8$. The critical load of the coatings, measured by the scratch test, was around 30 N. The wear resistance properties of the $(\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x)\text{N}$ coatings were evaluated using a CSEM pin-on-disk type tribometer. A Cr-steel ball as well as a SiC ball, which had hardness values of 590 HK and 2,600 HK respectively, were used as the pin. After the wear test, the surface morphology, roughness and the concentration of the coatings were investigated, with the main focus being on the effect of wear debris and the transferred layer on the wear behavior.

1. 서 론

보호 피막의 코팅을 통한 소재의 수명을 향상시키기 위한 연구는 그동안 TiN을 중심으로 활발하게 이루어져 왔으며, 최근에는 그 대상이 다원계 화합물 (multicomponent)^{2, 3)}, 다층박막 (multilayer)⁴⁾ 및 농도경사 박막^{5, 6)}, 나노결정복합체 (nano-

crystalline composite)^{7, 8)} 등으로 계속 확대되고 있다. 이러한 연구들의 주요 목표는 보다 높은 경도값과 우수한 접착력 및 내마모성을 지닌 박막 제조라 할 수 있을 것이다.

경도나 접착력에 비해 마모현상 연구는 그다지 많은 편이 아닌데, 마모의 진행과정은 매우 복잡하며, 각각의 마모과정을 구체적으로 이해하기 위

해서는 작업조건 및 마모 과정 중에 발생하는 다양한 현상에 대한 자세한 관찰과 포괄적인 이해가 필요하기 때문이다. 그 동안 높은 경도는 우수한 내마모 코팅의 첫째 조건으로 인식되어 왔는데 Archard 등⁹⁾은 경도와 마모부피와의 상관관계를 다음의 식으로 제안한 바 있다.

$$V = K' \times w \times s / H \quad (V : \text{마모부피}, K' : \text{상수}, w : \text{수직하중}, s : \text{마모거리}, H : \text{경도})$$

위 식에서 볼 수 있듯이 마모부피는 경도와 직접적인 관계가 있으며, 내마모 코팅을 제조하는 경우에도 경도 향상이 주된 목표가 되는 것이다. 그러나 경도 이외에도 박막의 마모현상에 영향을 미치는 인자들은 매우 많다. 대표적인 예가 박막의 접착력이다. 제조된 박막과 기판 사이의 접착력이 취약할 경우, 지속적인 하중을 받으면서 박막이 파괴 및 분리(delamination)가 일어나게 된다. 코팅층이 모재에서 분리되기 전후의 마모거동은 큰 차이를 보이며, 기판이 드러난 부분에서 마모가 급격히 진행되는 것이 관찰된다.¹⁰⁾

또한 공정이 상온에서 진행되어도 실제로 마모가 일어나는 마찰면에서는 순간적으로 표면온도(flash temperature)가 수백 °C까지 상승하기 때문에 마모 표면에 산화물이 생성될 수 있다. Vancoille 등¹¹⁾은 아크 이온 플레이팅법으로 TiN, (Ti,Al)N, (Ti,Nb)N 및 Ti(C,N) 박막을 제조한 후 각 박막들이 마모 될 때 생기는 산화물 파편들(debris)에 관해서 보고한 바 있다.

특히 위에서 언급한 바와 같이 박막의 국부적 파괴 및 분리로 인해서 떨어져 나온 파편이나 생성된 산화물 등(debris)이 마모가 진행되는 중에 밖으로 밀려 나가지 않고 마찰면 안에서 함께 움직일 경우 마모기구(3체 마모기구(three body wear))로 바뀌게 된다.¹²⁾ 이 경우 이러한 입자들에 의해 표면이 심하게 긁히는 현상이 관찰될 수 있고, 마모가 국부적으로 가속된다.

한편, 마모과정 중에 접촉면의 한쪽 물질이 마모되어 떨어져 나와 반대쪽에 옮겨 붙는 경우도

있다.(transferred layer의 형성)¹²⁾ 이런 경우에는 실제 마찰계면이 마모 초기와는 다른 상태로 바뀌게 되고, 마찰계수 등이 변할 수 있다. 따라서 마모 양상의 해석을 위해서는 위에서 언급한 다양한 인자들에 의한 고려가 함께 진행되어야 한다.

본 연구는 이온 플레이팅법으로 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막을 제조하고 박막의 마모특성을 분석하였다. TiN은 높은 경도값과 우수한 내마모성, 그리고 CrN은 우수한 내식성과 내산화성을 지니고 있는 것으로 알려져 있다. 이 두 개의 질화물로 이루어진 3원계 혼합물도 우수한 특성을 나타내리라고 기대되는데 (Ti,Cr)N 박막의 마모 특성에 관한 보고는 많지 않다. 본 연구에서는 경도값이 서로 다른 크롬강 볼(HK 590)과 SiC볼(HK 2,600)을 각각 사용하여 볼의 경도값에 따른 마모양상의 차이를 살펴보았다. 또한 마모 실험 후 표면관찰 및 조성분석을 통해서 전이층(transferred layer), 입자(debris)의 생성 및 3체 마모기구의 형성 등을 조사하고, 이들이 마모에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험 방법

실험에서 사용한 장치는 아넬바사의 VD-43 Evaporation system으로 Ti은 회전식 전자빔 가열 장치를 이용하여, Cr은 저항가열장치를 이용하여 각각 증발시켰다. 반응 가스로는 암모니아(NH₃)를 사용하였으며, 용기 내에서는 가스 분배관을 기판 아래에 놓아 기판으로 분사되도록 유도함으로써 반응에 대한 효율이 높아지도록 설계하였다. 기판에는 1 kV의 음의 전압을 인가하여 방전구역 내의 증발물질 및 반응성 가스의 양이온들이 기판으로 가속되도록 하였고, 기판은 할로겐램프를 이용하여 가열하였다. 실험 장치의 개략도와 기타 장치에 관한 자세한 설명은 다른 논문에서 언급하였다.¹³⁾

기판으로는 SKH-9 고속도강판이 사용되었는데,

먼저 시편을 2cm × 4cm × 0.5cm의 판상으로 절단한 후 열처리하였다. 이후 연마지를 사용하여 # 2000까지 연마한 후 0.3 μm의 알루미나 분말을 이용하여 표면의 거칠기를 최소로 하였다. 이후 불순물을 제거하기 위해서 아세톤에 약 10분간 초음파 세척을 하였으며, 건조 후 장입하였다.

회전펌프와 유확산펌프를 이용하여 내부압력을 2 × 10⁻⁶ torr까지 낮추고, 이후 Ar 가스와 NH₃ 가스를 유입하였다. 제조된 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 증착속도는 700 Å/min 정도로 유지하였고, 박막의 전체두께는 2~3 μm 사이가 되도록 하였다. 표 1에 본 연구에서 제조한 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 제조조건을 나타내었다.

Table 1. Deposition conditions for the (Ti_{1-x}Cr_x)N coatings

E-beam current	3.5 KV, 80-130 A
Resistant Heating current	5V, 185-220 A
Substrate current density (mA/cm ²)	0.7-0.9
Substrate Temperature (°C)	240 ± 20
Substrate bias (V)	-1000
Flow rate of Ar (sccm)	7
Flow rate of NH ₃ (sccm)	25
Base pressure (torr)	< 2 × 10 ⁻⁶
Working pressure (torr)	1 × 10 ⁻³

제조된 박막의 조성은 EDS (energy dispersive spectroscopy) 로 분석하였으며, 박막의 두께는 α-step을 통해서 측정하였다. 박막의 압흔경도는 10 gf의 하중으로 누프(Knoop) 미소경도값을 측정하였으며 나노압입시험(FISHER hardness tester)을 이용하여 박막의 응력-변위곡선(load-indentation curve)을 측정하였다. 박막의 접착력은 스크래치 테스트를 이용하여 평가하였다.

박막의 마모 실험은 CSEM사의 Pin-on-disk type의 마모테스터를 이용하여 마모특성을 평가하였다. 6 mm 지름의 크롬강 볼(HK 590)과 SiC 볼(HK 2,600)을 각각 사용하였으며 박막이 코팅된 고속도강을 디스크로 사용하였다. 이때 수직하중은 5 N으로 고정하였고, 마모속도는 0.1 m/sec.,

총 회전수는 5,000번으로 동일하게 하였다. 마모 시험이 끝난 후 α-step을 이용하여 마모트랙 내부의 거칠기를 분석하였고, SEM(scanning electron micrography), EDS를 이용하여 트랙 내부 및 볼의 표면 형상과 조성변화를 분석하였다. 한편 볼의 마모부피를 측정하여 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 상대적인 내마모성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 경도와 접착력

본 연구에서 제조한 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막은 NaCl 구조로 TiN과 CrN은 상호 고용체를 이루며, 박막 내에 Cr 조성이 증가함에 따라 격자상수는 점진적으로 감소한다. (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 Cr 조성에 따른 구조, 격자상수, 미세조직 등의 변화에 대해서는 다른 논문에서 자세하게 언급하였다.¹³⁾

Fig. 1에 Cr 조성에 따른 (Ti_{1-x}Cr_x)N 박막의 미소 경도 값의 변화를 나타내었다. 박막 내에 Cr 조성이 증가함에 따라 미소경도 값이 증가하여 (Ti_{0.2}Cr_{0.8})N 박막에서 최대값을 보였으며, CrN 박막에서는 다소 경도가 감소하였다. 일반적으로 TiN 박막의 미소경도는 2,000 HK - 3,000 HK, CrN 박막의 경우는 TiN 박막의 경도값보다 약간

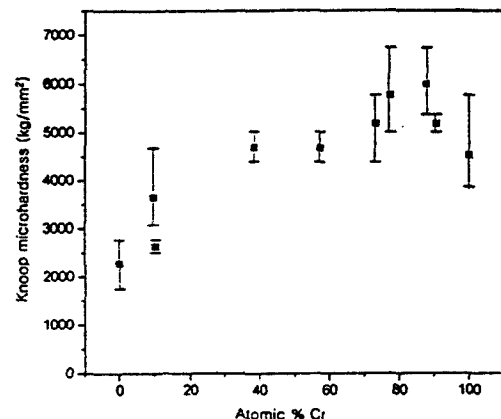


Fig. 1. Dependence of microhardness of the (Ti_{1-x}Cr_x)N coatings on the Cr concentration

작은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 측정된 TiN 박막의 미소경도값은 문헌에서 보고되는 값과 일치하는 경향을 나타내었으나 CrN 박막의 경우에는 4,000 HK 이상의 매우 높은 값이 관찰되었다. Herr 등¹⁴⁾은 스퍼터링으로 증착한 CrN 박막의 경도값으로 3,500 HK 전후의 값을 보고한 바 있는데, 박막 내의 높은 잔류응력을 원인으로 제시하였다. 나노압입시험을 이용하여 측정된 $(Ti_{1-x}Cr_x)_N$ 박막의 하중변위 곡선(load-indentation depth)을 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 박막의 경도값(H_p)은 미소경도계를 통해서 측정된 값과 비슷한 값을 나타내었다. (H_p : plastic hardness, 미소경도계로 측정되는 경도값에 해당, H_u : universal hardness, 탄성회복이 일어나기 전의 경도값을 측정, 각각에 관한 보다 자세한 의미는 참고 문헌 7번 참고) 한편 plastic 경도값(H_p) 뿐만 아니라, universal 경도값(H_u), $E/(1-\nu^2)$, 탄성에너지(W_e) 및 소성에너지(W_p)의 변화양상도 관찰할 수 있었는데 그 결과를 Table 2에 정리하였다. Universal 경도값(H_u)과 $E/(1-\nu^2)$ 값 또한 Cr 조성(x) 80% 전후에서 최대값을 나타내었다. 박막의 미소경도는 박막의 조직 및 잔류응력과 밀접한 관련을 가지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 제조된 CrN 박막은 매우 치밀한 미세조직을 나타냈으며, 잔류응력은 박막 내에 Cr 조성이 증가할수록 압축 잔류응력이 증가하는 현상이 관찰되었다. 본 연구에서 제조한 $(Ti_{1-x}Cr_x)_N$ 박막의 미세조직 및 잔류응력 등의 특성과 경도에 대한 영향에 관한 자세한 분석은 다른 논문에서 언급하였다.¹³⁾

스크래치 테스트를 이용하여 측정한 $(Ti_{1-x}Cr_x)_N$ 박막의 임계하중 값의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구에서 제조된 $(Ti_{1-x}Cr_x)_N$ 의 박막의 접착력은 임계하중 30 N 전후의 비교적 우수한 값을 나타내었다.

3. 2 크롬강 볼과의 마모시험

Fig. 4는 크롬강 볼을 사용하여 마모 시험을 수

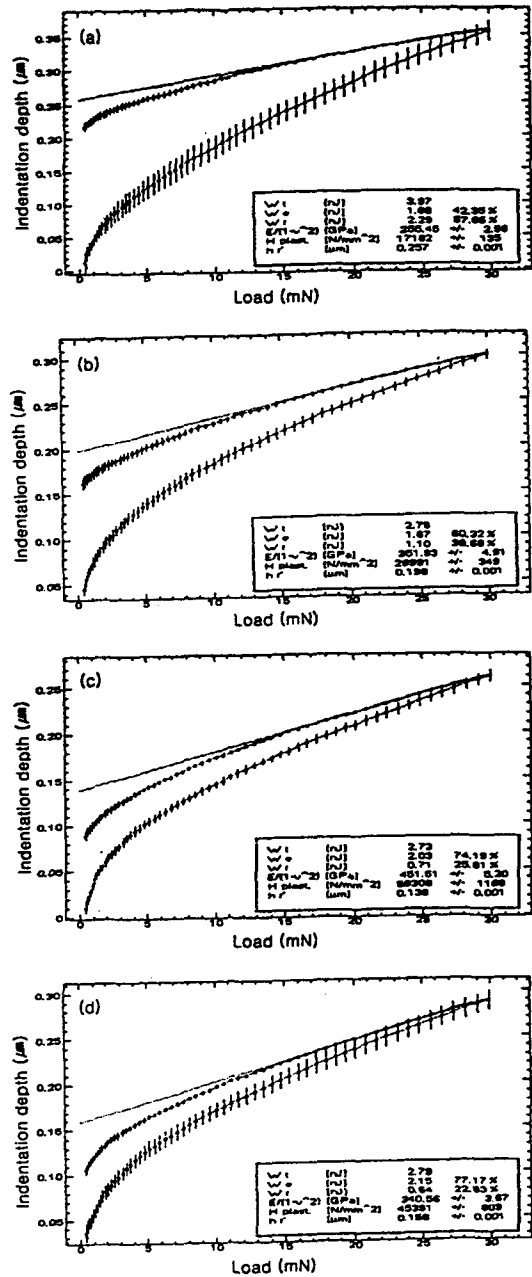


Fig. 2. Typical load-indentation depth curves of the $(Ti_{1-x}Cr_x)_N$ coatings (a) TiN (b) $(Ti_{0.62}Cr_{0.38})_N$ (c) $(Ti_{0.27}Cr_{0.73})_N$ (d) CrN

행한 후 시편의 마모트랙을 α -step으로 관찰한 결과이다. TiN의 경우 코팅층은 완전히 마모되어 기

Table 2. Mechanical properties of the $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings

Compound	Hp (kg/mm ²)	Hu (kg/mm ²)	E/1- ν^2 (GPa)	W _e (%)	W _r (%)
TiN	1718	900	255	42	58
$(Ti_{0.90}Cr_{0.10})N$	1834	936	264	48	52
$(Ti_{0.62}Cr_{0.38})N$	2899	1270	352	60	40
$(Ti_{0.43}Cr_{0.57})N$	3192	1276	334	62	38
$(Ti_{0.27}Cr_{0.73})N$	5931	1687	451	74	26
$(Ti_{0.23}Cr_{0.77})N$	5462	1590	414	76	24
$(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$	5411	1652	441	70	30
$(Ti_{0.12}Cr_{0.88})N$	5145	1524	393	75	25
$(Ti_{0.10}Cr_{0.90})N$	4200	1380	350	73	27
CrN	4539	1368	341	77	23

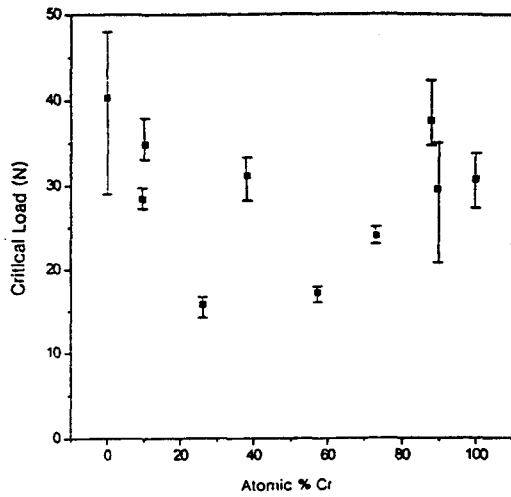


Fig. 3. Dependence of the adhesion strength of the $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings on the Cr concentration

판이 드러난 반면, $(Ti, Cr)N$ 및 CrN 박막의 경우에는 코팅층의 마모현상은 없었고, 오히려 코팅층 Table면 위로 다른 물질이 덮여있는 것이 관찰되었다. 트랙 내부를 보다 자세히 관찰하기 위하여 $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ 박막의 마모 실험 후, SEM과 EDS로 조사하였는데 그 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. SEM 표면형상에서도 (Fig. 5 (a)) 코팅층이 마모된 흔적은 보이지 않았다. 한편 마모 트랙 위에 다른 물질이 덮여있었고, 마모 트랙 바깥쪽에는 미세한 입자들이 쌓여있는 현상을 관찰할 수 있었다. 마모트랙 바깥쪽의 입자들을 EDS로 분석한

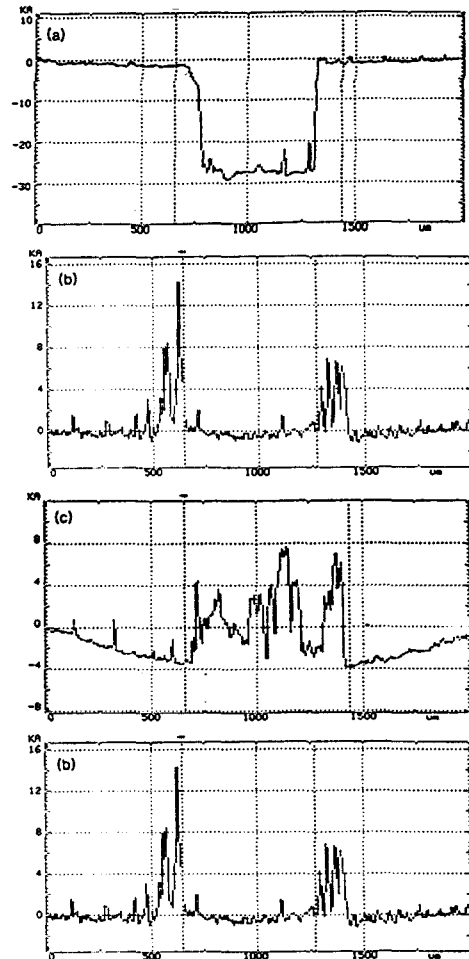


Fig. 4. Surface profiles of the $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings after the wear test vs. Cr-steel ball
 (a) TiN (b) $(Ti_{0.43}Cr_{0.57})N$
 (c) $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ (d) CrN

결과를 Fig. 5 (b)에 나타내었는데, Ti이 전혀 발견되지 않았으며, Fe가 주요 성분인 것으로 분석되었다. 코팅층은 전혀 마모되지 않았으므로, Fe가 주요 성분인 코팅 표면을 덮고 있는 물질은 크롬강 볼로부터 마모된 것으로 판단된다. 마모트랙 내부를 분석한 결과에서도 (Fig. 5 (c)) Fe 원소가 관찰되었는데, 크롬강 볼에서 마모된 후 시편위로 전이되어 붙은 것 (transferred layer)으로 보인다. Fig. 5 (d)에 마모되지 않은 부분에 대한 EDS 조성을 비교하였다.

한편, Fig. 6에 $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ 박막에 대해 마모 실험을 한 후 크롬강 볼의 마찰면을 SEM으로 관찰한 결과를 나타내었는데, 마모가 상당히 많이 진행되었음을 확인할 수 있다. 반면 코팅층에서 볼로 이동된 물질은 관찰되지 않았으며, 표면 EDS 분석결과에서도 크롬강 볼과 일치하는 조성을 얻을 수 있었다. 이러한 양상은 다른 조성의 $(Ti, Cr)N$ 박막에서도 동일하게 관찰되었다.

이상의 결과, 크롬강 볼과 $(Ti, Cr)N$ 박막 사이의 마모 양상은 크롬강 볼이 마모되면서 코팅층 표면 위로 전이되고, Cr 조성에 따른 $(Ti, Cr)N$ 박막의 마모양상은 크게 변화하지 않는다는 사실이 확인되었다. 크롬강 볼에서 주로 마모가 진행된 것은 크롬강 볼의 경도가 590 HK로 $(Ti, Cr)N$ 박막의 4,000 HK에 비해 상대적으로 경도가 매우 작기 때문이다. 한편 코팅층 위로 전이된 물질은 마모가 계속되면서 마찰 표면의 높은 온도로 인해서 일부는 산화되면서 밖으로 밀려나가는 것으로 판단된다. EDS 분석 결과, 마모트랙 주위의 입자들은 Fe 산화물이 중심을 이루는 것으로 확인되었으나 이러한 분말들이 코팅층 내에 박히거나, 시편 표면을 긁고 지나가는 흔적은 발견할 수 없었다.

한편, 마모된 크롬강 볼의 마모부피를 측정하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 크롬강 볼의 마모부피는 박막의 경도값에 비례하여 증가하였으며, $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ 박막이 가장 우수한 내마모성을 나타내었다.

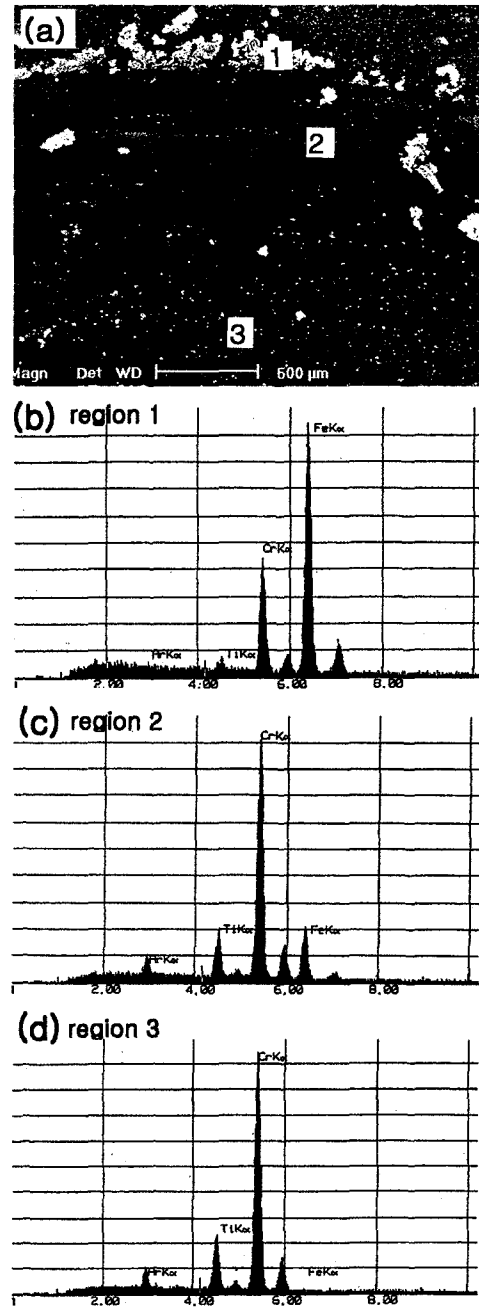


Fig. 5. SEM surface morphology and EDS analysis of the $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ coatings after the wear test vs. Cr-steel ball

- (a) SEM image
- (b) EDS analysis of region 1
- (c) EDS analysis of region 2
- (d) EDS analysis of region 3

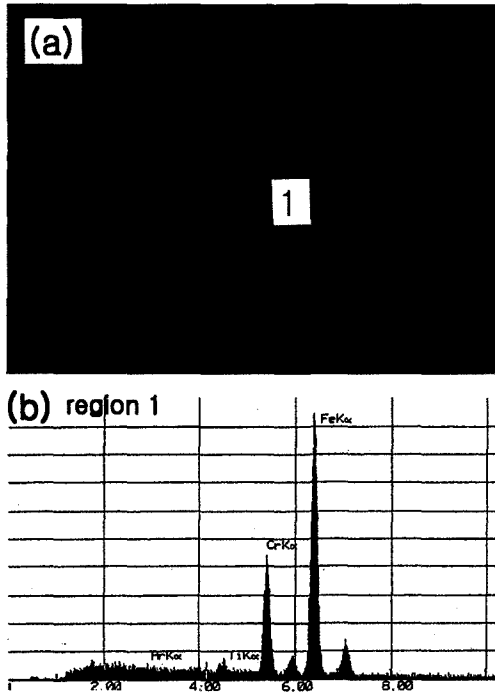


Fig. 6. SEM surface morphology and EDS analysis of the Cr-steel ball after the wear test
(a) SEM image
(b) EDS analysis of region 1

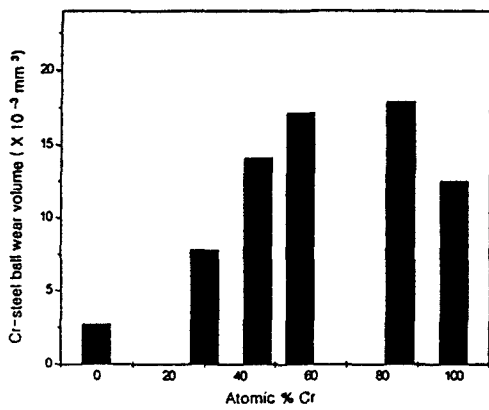


Fig. 7. Wear volume of the Cr-steel ball after wear test vs. $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings

3. 3 SiC 볼을 이용한 마모시험

SiC 볼을 이용하여 마모실험을 수행한 후 시편의 마모 트랙을, α -step으로 관찰하고 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 크롬강 볼을 이용한 마모실험

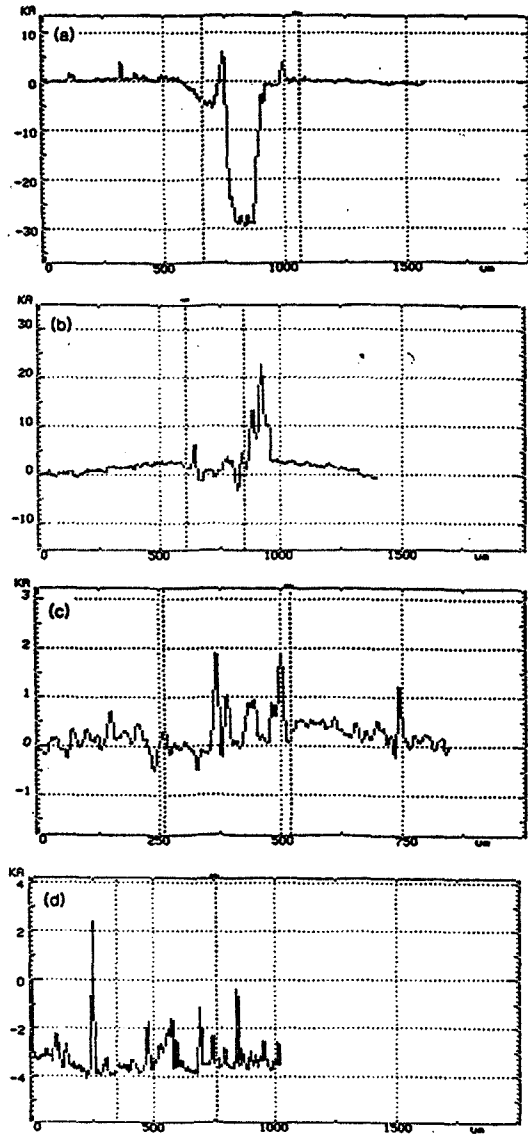
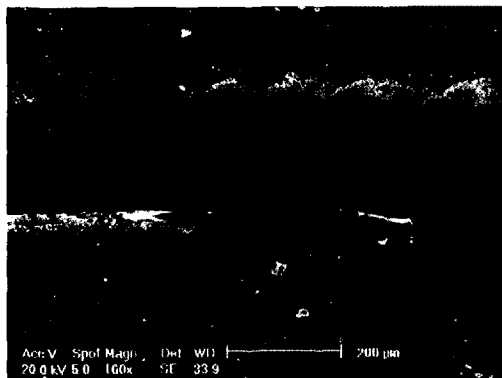


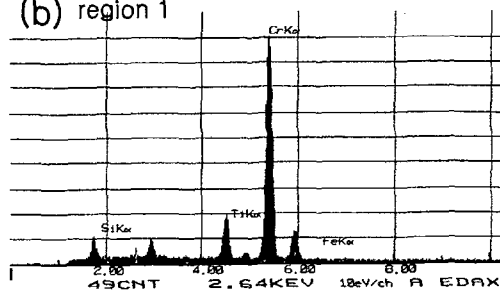
Fig. 8. Surface profiles of the $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings after the wear test vs. SiC ball
(a) TiN (b) $(Ti_{0.43}Cr_{0.57})N$
(c) $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ (d) CrN

결과와 마찬가지로 TiN 코팅층은 모두 마모되어 기판이 드러나 있었다. $(Ti, Cr)N$ 과 CrN 박막의 경우에는 코팅층의 마모가 거의 진행되지 않았지만, 마모트랙에서 코팅 표면보다 높은 step 부분과 낮은 step 부분이 함께 관찰되었다. $(Ti_{0.15}$

$\text{Cr}_{0.85}\text{N}$ 박막의 마모실험 후 트랙내부를 SEM과 EDS로 관찰한 결과는 Fig. 9에 나타나 있다. SEM으로도 (Fig. 9 (a)) 코팅 표면의 전체적인 마모는 볼 수 없었다. 마모 트랙 내부에 코팅층 위로 다른 물질이 전이되어 검게 보이는 부분이 관찰되었으며, 입자에 의해 긁히면서 박막이 파괴된 부분도 볼 수 있었다. Fig. 8의 α -step으로 관찰되었



(b) region 1



(c) region 1

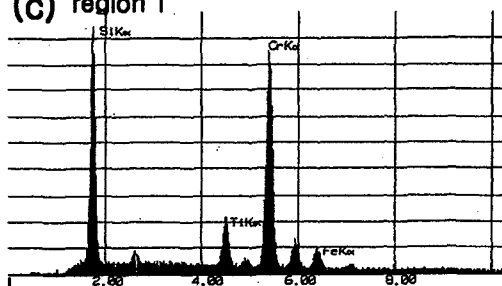


Fig. 9. SEM surface morphology and EDS analysis of the $(\text{Ti}_{0.15}\text{Cr}_{0.85})\text{N}$ coatings after the wear test vs. SiC ball
(a) SEM image
(b) EDS analysis of region 1
(c) EDS analysis of region 2

던 돌출 부분과 파인 부분은 각각 검은 색 띠 부분과 입자에 의해 긁힌 부분으로 보인다. 검은색 띠 부분을 EDS로 분석한 결과 (Fig. 9 (b)) Ti, Cr 이외에 Si이 관찰되었다. 한편 코팅층을 긁고 지나가 앞쪽에 박혀 있는 입자에서는 Si이 주로 관찰되었다. (Fig. 9 (c)) SiC 볼의 경도가 (HK 2, 600) 비록 크롬강 볼보다는 크지만 $(\text{Ti,Cr})\text{N}$ 박막보다는 작기 때문에 주로 SiC 볼에서 마모되어 코팅층 위에 적층된 것으로 보인다. 한편 크롬강 볼과는 달리 볼의 일부가 파괴되어 나온 입자들이 시편에 박히거나 표면을 긁고 지나가는 전형적인 3체 마모기구 양상이 관찰되었다.

$(\text{Ti}_{0.15}\text{Cr}_{0.85})\text{N}$ 박막에 대해 마모실험을 한 SiC 볼의 마찰면을 SEM으로 관찰한 결과 (Fig. 10 (a), 10 (b)는 확대사진) 마모된 SiC 볼 표면에 입자들이 박혀 있는 것이 관찰되었다. EDS로 이 입자의 조성을 분석한 결과 (Fig. 10 (c)) Ti와 Cr의 조성비가 코팅층의 조성비와 일치하는 것으로 보아 박막에서 떨어져 나간 것이 볼에 박힌 것으로 판단된다. 이렇게 SiC 볼을 이용한 마모실험에서는 코팅층과 볼 양쪽 모두에서 입자가 떨어져 나가서 상호 박히는 것이 관찰되었는데, 이러한 양상은 다른 조성의 $(\text{Ti,Cr})\text{N}$ 시편에서도 동일하게 관찰되었다.

이상의 결과, 크롬강 볼을 사용한 경우에는 주요 마모기구가 abrasive wear인데 반해서 SiC 볼을 사용하면 $(\text{Ti,Cr})\text{N}$ 박막의 마모 양상은 코팅층 및 볼에서의 국부적인 파괴와 박리에 의해서 입자가 형성되고 이들에 의해 코팅층이 긁히는 전형적인 3체 마모기구이며, 이러한 입자들에 의해 마모가 국부적으로 가속화되는 현상이 일어남을 알 수 있었다.

Fig. 11에 SiC 볼을 사용하여 마모실험을 수행한 후 마모된 SiC 볼의 마모 부피를 비교하였다. 3체 마모기구가 주로 작용할 경우에는 마모 부피의 비교를 통해 내마모성을 평가하기는 힘들지만, TiN 박막을 제외하고는 크롬강 볼의 마모실험에

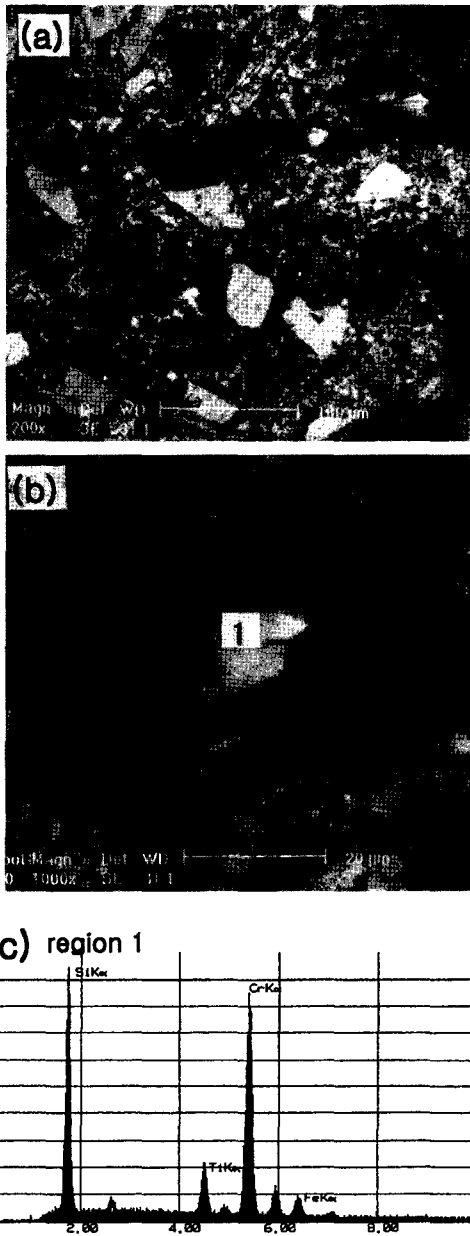


Fig. 10. SEM surface morphology and EDS analysis of the SiC ball after the wear test vs. $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ coating
 (a), (b) SEM images
 (c) EDS analysis of region 1

서처럼 박막의 경도가 클수록 볼의 마모부피도 커지는 것이 관찰되었다.

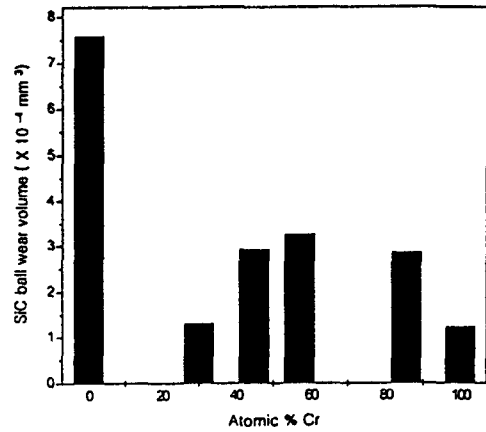


Fig. 11. Wear volume of the SiC ball after wear test vs. $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ coatings

4. 결 론

이온 플레이팅법으로 $(Ti_{1-x}Cr_x)N$ 박막을 제조하고, 경도값이 서로 다른 크롬강 볼(HK 590)과 SiC볼(HK 2,600)을 각각 사용하여 볼의 경도값에 따른 마모양상의 차이를 살펴보았다.

크롬강 볼의 경우에는 크롬강 볼이 마모되면서 코팅층 표면 위로 전이되는 것이 관찰되었으며, Cr 조성에 따른 $(Ti, Cr)N$ 박막의 마모양상은 크게 변화하지 않았다. 한편 코팅층 위로 전이된 물질은 마모가 계속되면서 마찰 표면의 높은 온도로 인해서 일부는 산화되면서 밖으로 밀려나갔으며 이들은 대부분이 적갈색을 띠는 Fe 산화물인 것으로 확인되었지만, 이러한 분말들이 코팅층 내에 박히거나, 코팅 표면을 긁고 지나가는 흔적은 발견할 수 없었다. 크롬강 볼의 마모부피는 코팅층의 경도에 비례하였으며, $(Ti_{0.15}Cr_{0.85})N$ 박막이 가장 우수한 내마모성을 나타내었다.

크롬강 볼을 사용한 경우에는 주요 마모기구가 abrasive wear인데 반해서 SiC 볼을 사용하면 코팅층 및 볼에서의 국부적인 파괴와 박리에 의해서 입자가 형성되고 이들에 의해 코팅층이 긁히는 전형적인 3체 마모기구 양상을 보였다.

후 기

본 연구는 1999년도 서울대학교 발전기금 일반 학술연구비의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. E. Sundgren : Thin Solid Films, 128 (1985) 21
2. S. H. Lee, H. J. Ryoo and J. J. Lee : J. Vac. Sci. Technol., A 12(4) (1994) 1602
3. B. H. Kim, Y. C. Kim, J. W. Nah and J. J. Lee : J. Vac. Sci. Technol., A 17(1) (1999) 133
4. M. Nordin and M. Larsson : Surf. Coat. Technol., 116-119 (1999) 108
5. S. H. Lee and J. J. Lee : J. Vac. Sci. Technol., A 13(4) (1995) 2030
6. I. H. Lee, K. H. Lee and J. J. Lee : J. Kor. Inst. Met. & Mater., 36(10) (1998) 1663
7. S. Veprek : J. Vac. Sci. Technol., A 17(5) (1999) 2401
8. J. Musil, I. Leipner and M. Kolega : Surf. Coat. Technol., 115 (1999) 32
9. J. F. Archard : J. Appl. Phys., 24 (1953) 981
10. K. J. Yoon, S. J. Cho, S. S. Kim, M. S. Yoon and S. H. Yang : War, 170 (1993) 101
11. E. Vancoille, J. P. Celis and J. R. Roos : War, 165 (1993) 41
12. J. A. Sue and T. P. Chang : Surf. Coat. Technol., 76-77 (1995) 61
13. K. H. Lee, C. H. Park, Y. S. Yoon and J. J. Lee : Thin Solid Films, 385 (2001) 167
14. W. Herr, B. Matthes, E. Broszeit, M. Mayer and R. Suchentrunk : Surf. Coat. Technol., 60 (1993) 428