



복합표면처리된 CrN박막의 밀착력에 미치는 스퍼터링 효과에 관한 연구

김명근, 김은영, 김정택, 이상율*

플라즈마 응용 표면기술연구센터, 한국항공대학교 재료공학과

Study on the Effect of Sputtering Process on the Adhesion Strength of CrN Films Synthesized by a Duplex Surface Treatment Process

M.K. Kim, E.Y. Kim, J.T. Kim, S.Y. Lee*

Center for Advanced Plasma Surface Technology
Department of Materials Engineering, HanKuk Aviation University, Koyang 412-791, Korea

(Received 9 January 2006 ; accepted 31 January 2006)

Abstract

In this study, effect of sputtering after plasma nitriding and before PVD coating on the microstructure, microhardness, surface roughness and the adhesion strength of CrN thin films were investigated. Experimental results showed that this sputtering process not only removed surface compound layer which formed during a plasma nitriding process but also induced an alteration of the surface of plasma nitrided substrate in terms of microhardness distribution and surface roughness, which in turn affected the adhesion strength of PVD coatings. After sputtering, microhardness distribution showed general decrease and the surface roughness became increased slightly. The critical shear stress measured from the scratch test on the CrN coatings showed an approximately twice increase in the binding strength through the sputtering prior to the coating and this could be attributed to a complete removal of compound layer from the plasma nitrided surface and to an increase in the surface roughness after sputtering.

Keywords : Duplex surface treatment, Plasma nitriding, PVD coating, Adhesion strength, CrN thin film

1. 서 론

일반적으로 코팅은 주위 환경에 대하여 모재가 갖는 표면특성을 개선하기 위해 행하여지며, 그 용도는 내식성, 내마모성, 고온 내산화성 및 전자기적 성질부여등 기술이 발전함에 따라 확대되어 왔다. 또한 그에 따라 코팅 기술도 발전되어 전통적인 전기도금등의 습식표면코팅기술 외에도 CVD (Chemical Vapor Deposition)와 PVD(Physical Vapor Deposition)로 대별되는 건식표면코팅기술이 사용되고 있다. 건식표면 코팅기술은 낮은 경제성문제를 극복하고 그의 장점들을 살려 최근 급속히 이용이 확대되고 있다. PVD법은 원하는 코팅물질을 진공

챔버 내부에서 증발 혹은 스퍼터링등의 방법으로 재료를 원자 혹은 분자상태로 비산시켜 모재에 피막을 입히는 방법으로, 처리온도가 저온이므로 변형이 적으나 심한 하중에도 소성변형이 없이 코팅을 유지하기 위해서는 모재가 충분히 경하고 강도가 유지되어야 하는데, 만약 모재가 하중을 견디지 못하면 소성변형에 의해 박막의 밀착성을 감소시키는 문제가 있다. 이러한 박막의 밀착력 문제를 해결하기 위하여 PVD 코팅 전에 모재에 플라즈마 질화처리를 수행하는 복합표면처리방법^{1,4)}이나, 또는 박막과 모재 사이에 중간층을 삽입하거나, 또는 박막의 구조를 개선하는 방법³⁾으로 밀착력 문제를 개선하는 연구가 진행되고 있다.

복합표면처리기술(Duplex surface treatment)을 적용함으로써 1차 플라즈마 질화처리를 통해 얻어지

*Corresponding author. E-mail : sylee@hau.ac.kr

는 내피로성과 높은 하중지지 특성과 2차 공정인 박막 코팅과정에서 형성되는 박막의 높은 경도와 우수한 내마모 특성을 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다^{4,5)}. 그러나 복합표면처리기술의 1차 처리인 플라즈마 질화처리를 수행하는 과정에서 확산층(diffusion layer) 뿐만 아니라 ϵ -Fe_{2.3}N, γ -Fe₄N, ϵ -Fe_{2.3}N+ γ -Fe₄N 등과 같은 질화물로 구성된 화합물층(compound layer)이 모재에 형성되기 쉽다⁶⁾. 질소 확산층은 피로강도를 향상시키는 반면에 표면에 형성된 화합물층은 질화물로 구성되어 있어 복합층을 형성하여 내부의 자체응력으로 인하여 균열이 생기기 쉽고 코팅을 지지하기에는 적합하지 못하고, 이러한 화합물층이 형성된 시편에 코팅을 하게 되면 박막의 밀착력(adhesion)이 감소되는 문제가 있다. 일반적으로 이 문제를 해결하기 위해서 코팅을 실시하기 전에 화합물층은 연삭(grinding)과 같은 기계적인 방법으로 제거하고 있다⁷⁾.

본 연구에서는 플라즈마 질화 과정에서 표면에 형성된 화합물층을 제거하는 방법으로 플라즈마 질화과정 후에 그리고 PVD 박막 코팅 전에 Ar 가스를 이용하여 추가적인 스퍼터링공정을 실시하였으며 이러한 추가적인 스퍼터링공정 조건이 복합표면처리 결과 형성된 CrN 박막의 밀착력에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 열간금형 재료로 사용되고 있는 조질 처리한 AISI H13강을 지름 20 mm, 두께 5 mm의 disk 형태로 가공하여 사용하였고 질화처리 하기 전에 그림 1과 같이 열처리를 실시하였다.

1차 처리인 플라즈마 질화는 $5 \times 10^{-2} \sim 1$ Torr의 저압력 진공상태에서 발생시키는 glow 방전을 이용하기 때문에 실험 전 시편 표면의 청정을 위하여

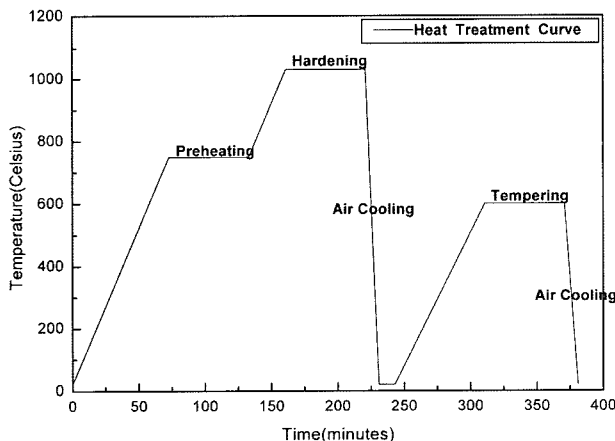


Fig. 1. Heat treatment conditions.

SiC 연마재로 연마한 후 아세톤과 알코올에 각각 10분씩 초음파 세척을 하여 사용하였다. 청정공정을 거친 시편을 질화장비 내에 장착시킨 다음 온도를 250°C 올리면서 진공도를 4×10^{-2} Torr까지 배기한 후, H₂ 가스를 1 torr 주입한 후 Ar 가스를 7 sccm 챔버내에 유입시켜 스퍼터링을 1시간 동안 하였다. 스퍼터링을 마친 후 질소와 수소 비율을 각각 1:9, 3:7, 5:5, 7:3 비율로 흘려주면서 챔버 내의 압력을 1 torr로 유지하며 10시간동안 질화처리 하였다. 이때 초기 전압은 700 V, 질화처리 동안 시편의 온도는 410°C로 유지하였다. 그리고 질소와 수소 비율이 1:9, 3:7인 가스를 사용하여 질화한 시편에 대해서는 10시간 질화처리 후에 추가로 스퍼터링을 동일조건에서 1~5시간 동안 실시하였다.

상기 처리에 의해 생성된 질화물의 특성을 조사하기 위해서 각각의 시편에 대하여 부식액으로 Nital 10% 용액을 사용하여 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였으며, 경도측정은 마이크로 비이커경도계(Matsuzawa MXT-Knoop)를 이용하여 Knoop indenter로 0.5 N의 조건하에서 총 10회를 측정하여 최소, 최대 값을 제외한 나머지 값들의 산술 평균치를 이용하여 경도 값으로 취하였다. 또 질화물 분석을 위하여 X-ray diffraction 방법을 사용하였으며 분석조건은 Cu-K α 선을 이용하여 전압 40 KV, 전류 300 mA, 주사속도 8 deg/min에서 실시하였다.

2차 처리인 PVD 코팅은 각각 시편에 밀착력을 향상시키기 위한 중간층으로 Cr 층을 0.6 μ m 증착한 후, CrN 박막을 증착하였다. 코팅은 직경 100 mm, 두께 10 mm의 디스크 형태의 타겟으로 장착한 비대칭 마그네트론 스퍼터링장치를 이용하였으며, 코팅 전 초기진공도를 2×10^{-5} torr까지 배기한 후, Ar 가스와 N₂ 가스를 주입하여 작업 진공도는 항상 3×10^{-3} torr를 유지하여 코팅을 실시하였다. 타겟과 모재와의 거리(d)는 90 mm로, Cr 타겟에 인가하는 power는 1.2 kW(DC)이고, 코팅층의 밀착력과 밀도를 향상시키기 위해 인가하는 모재 바이어스 전압(V_b)은 DC -100 VC로 고정시켜 3.5 μ m 증착하였다. 코팅공정 시 분위기 온도는 박막의 잔류응력을 감소시켜 박막과 모재의 밀착력을 향상시키기 위해 200°C를 유지하였다. 복합표면처리된 시편의 밀착력을 분석하기 위해서 scratch test를 실시하였다. scratch test는 Rockwell-C diamond stylus가 시편의 표면 위를 일정한 속도로 이동하면서 연속적으로 하중을 증가시켜, 박막이 최초로 파괴될 때의 최소 하중을 임계하중(critical load, L_c)으로 정의하고 박막과 모재의 밀착 강도의 척도로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 플라즈마 질화 처리한 시편의 미세조직과 미소경도

일반적으로 플라즈마 질화는 진공중의 표면처리를 실시하므로 표면조도가 양호할 뿐만 아니라 공정 조건에 따라서 표면 조직을 선택적으로 얻을 수 있으므로 제품에 적용시 요구되는 특성에 적합한 상 조절이 용이하다는 장점이 있다. ϵ - $Fe_{2,3}N$ 단상, γ - Fe_4N 단상 혹은 혼합상($\epsilon+\gamma$)의 생성은 처리시간, 처리온도 및 gas 비율조성에 의하여 조절할 수 있으며 확산 경화층만의 생성도 저질소 및 단시간의 처리로 가능하다. 본 실험에서는 수명향상 면에서는 경화층 깊이가 얇은 것보다는 깊은 것이 보다 수명이 증가하기 때문에 질화처리 시간은 일정하게 10시간으로 유지하고 질소량을 달리하여 실시하였다. 플라즈마 질화처리시 질소와 수소 비율을 각각 시편(A)1:9, 시편(B)3:7, 시편(C)5:5, 시편(D)7:3으로 플라즈마 질화처리를 실시한 시편의 단면 조직 사진을 광학현미경으로 관찰하였다. 표 1에는 질화층 두께를 측정된 결과를, 그림 2는 광학현미경으로 관찰한 단면사진을 나타내었다. 질화에 사용된 가스

Table 1. Thickness of the plasma nitrided layer

Gas ratio	$N_2:H_2=1:9$	$N_2:H_2=3:7$	$N_2:H_2=5:5$	$N_2:H_2=7:3$
Thickness (μm)	90	120	130	235

에 질소의 비율이 상대적으로 높은 시편(C)와 시편(D)는 문헌에 보고된 바와 같이 표면층에 화합물층이 생성되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 질소분압이 증가할수록 화합물층과 확산층이 두껍게 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 질소의 비율이 상대적으로 낮은 시편(A)와 시편(B)의 경우 조직사진으로는 화합물층의 생성 확인이 어려웠다. X-ray 회절을 분석하여 화합물층의 형성을 확인한 결과를 나타낸 그림 3에 나타내었으며, 가스에 질소의 비율이 상대적으로 낮은 시편(A)와 시편(B)에서도 ϵ - $Fe_{2,3}N$ 피크와 γ - Fe_4N 피크가 확인되어 화합물층이 형성되었음을 알 수 있었다. 그러나 화합물을 나타내는 회절피크의 강도는 질소분압비가 제일 낮은 시편(A)에서의 피크의 강도가 다른 시편에 비해 감소되었다는 것을 알 수 있었다. 이것은 문헌상에서 질화에 사용되는 가스 중에 질소 비율 20% 이하에서는 화합물층이 제한적으로 형성되고 30%

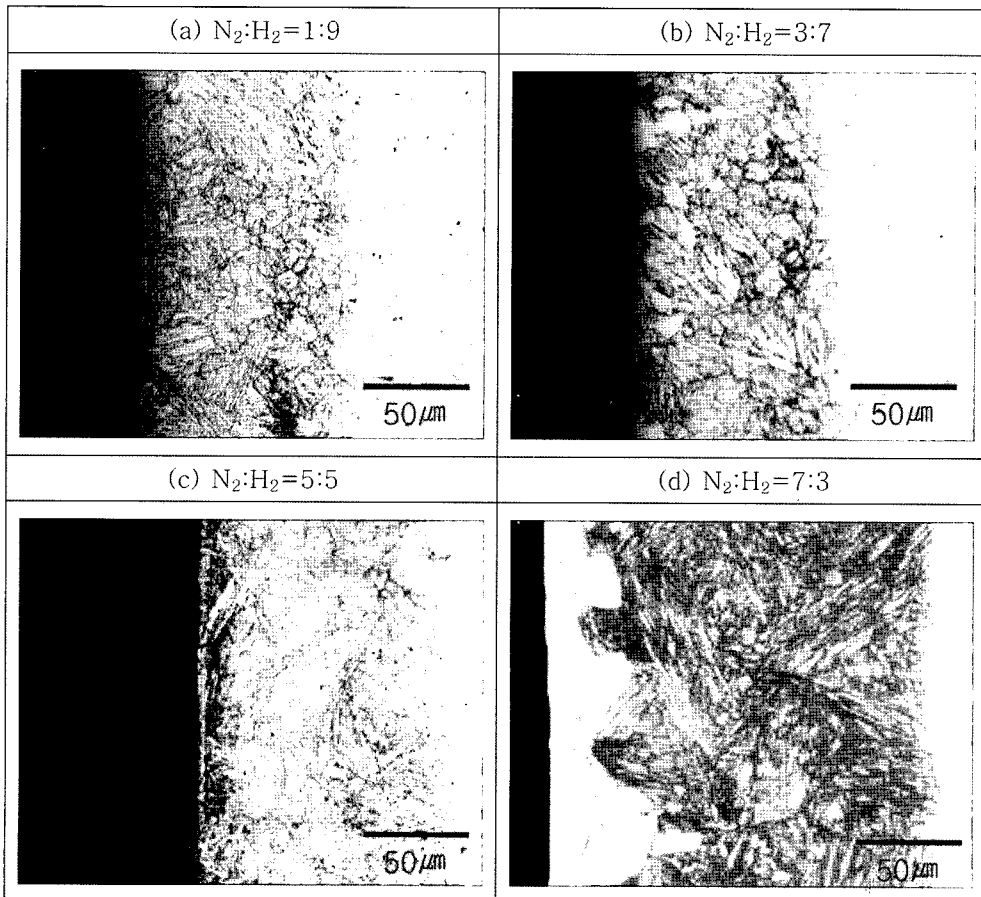


Fig. 2. Cross-sectional optical micrographs of plasma nitrided specimens at various gas ratios.

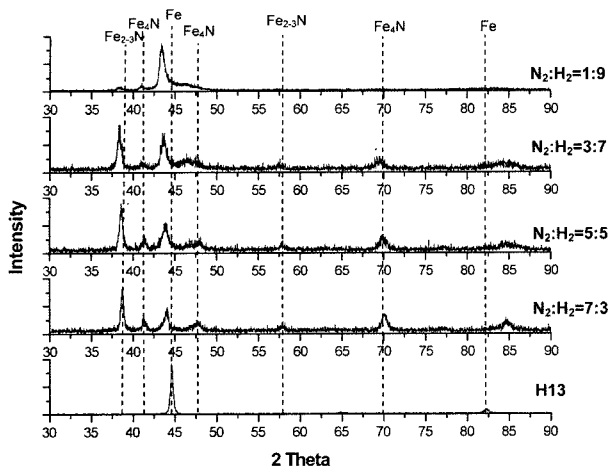


Fig. 3. Results from the X-ray diffraction analysis of plasma nitrided specimens at various gas ratios.

이상이 되면 ϵ -Fe_{2.3}N상과 γ -Fe₄N상의 혼합층이 생성이 쉽게 된다는 보고와 일치하였다⁸⁾.

그림 4는 플라즈마 질화된 시편들의 단면경도 분포를 나타낸 것으로 질소비가 높은 시편의 경도가 질소분압이 낮은 시편에서의 경도보다 높게 나타났다. 특히 시편(A)의 경우 단면경도가 950 Hv_{0.5} 정도로 시편(D)의 단면경도값 1240 Hv_{0.5}에 비해 매우

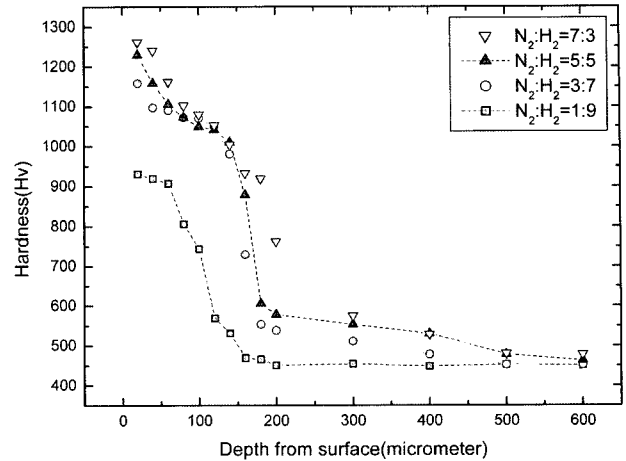


Fig. 4. Surface hardness as a function of depth from the surface at various gas ratios.

낮게 측정되었다. 이러한 결과는 플라즈마 질화물의 생성에 기인한 것으로 질소분압이 증가할수록 표면 등 질소농도가 높아지며 화합물층에 고용화된 질소의 양이 증가함에 따라 높은 경도를 나타내는 ϵ -Fe_{2.3}N 상의 생성이 많아지기 때문인 것으로 분석된다. 그러나 이렇게 높은 경도를 나타내는 질화물이 형성된 시편은 복합표면처리공정에서 2단계로

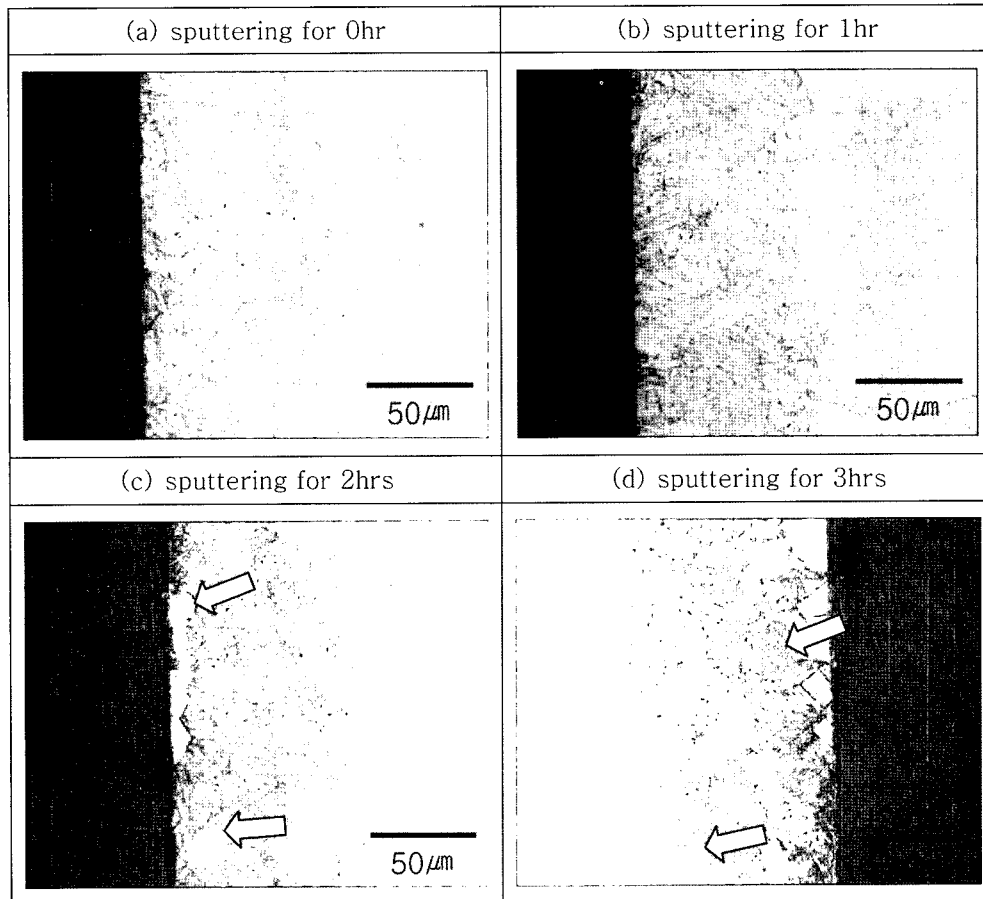


Fig. 5. Cross-sectional optical micrographs of N₂:H₂=1:9 specimens after sputtering for various hours.

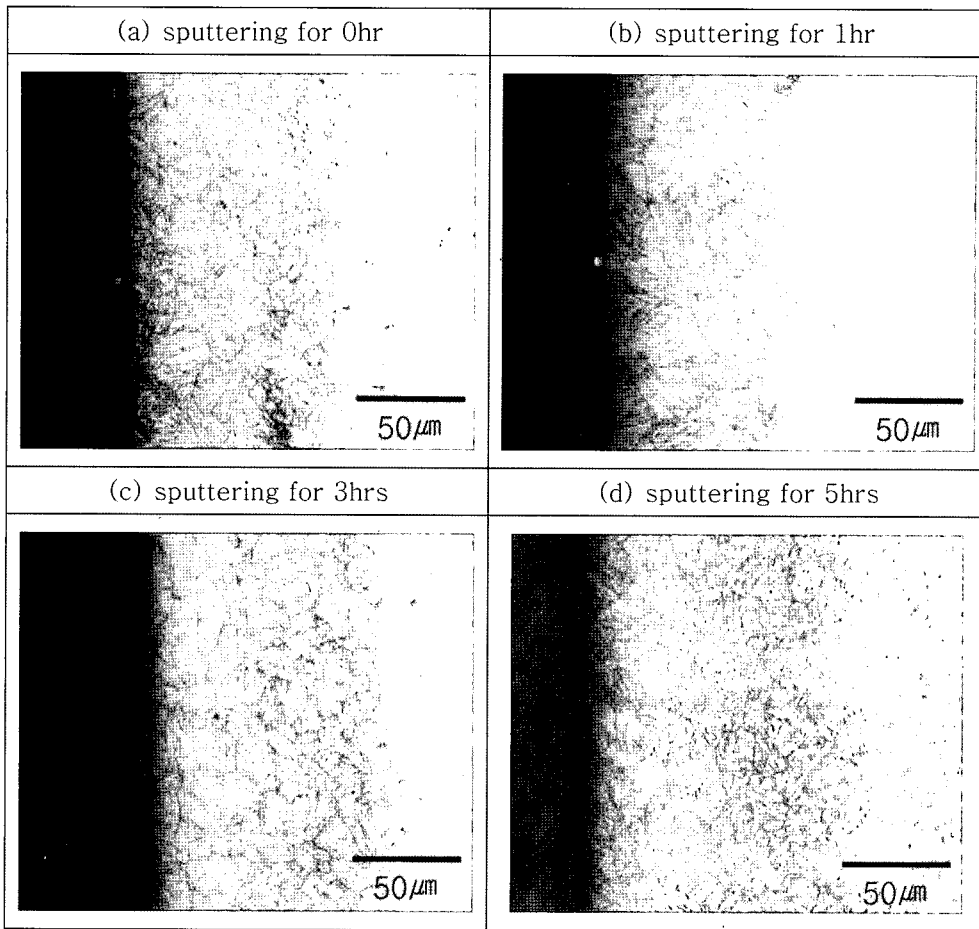


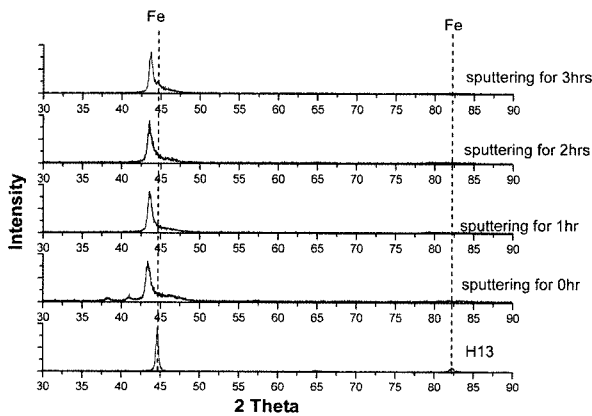
Fig. 6. Cross-sectional optical micrographs of $N_2:H_2=3:7$ specimens after sputtering for various hours.

PVD 박막코팅을 증착하는 과정에서 형성된 박막의 밀착력에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 사료된다.

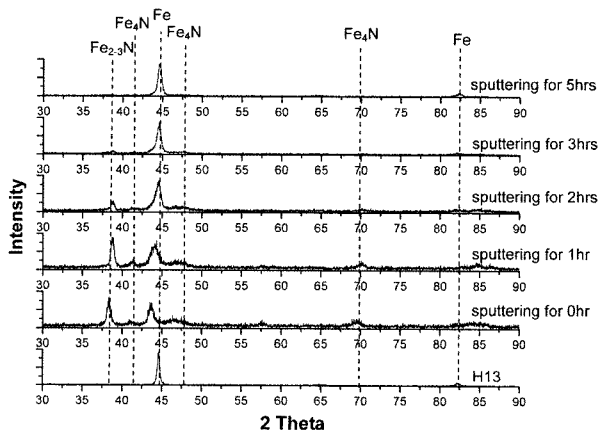
3.2 스퍼터링 효과에 따른 미세조직과 미소경도 변화

비교적 화합물층의 생성이 적은 시편(A)와 시편(B)에 대해 질화처리를 실시한 후 동일온도에서 H_2 와 Ar을 흘려주면서 추가 스퍼터링을 1~5시간 동

안 실시하였다. 그림 5와 그림 6은 각각 시편(A)와 시편(B)에 추가 스퍼터링을 실시한 단면조직사진이다. 그림 5처럼 질소와 수소 비율이 1:9인 시편의 경우는 추가 스퍼터링 처리 시간에 상관없이 질화층 두께가 차이가 보이지 않았지만 질소와 수소 비율이 3:7인 시편의 경우 그림 6에서 보는 바와 같이 질화층 두께가 스퍼터링 처리 시간이 길어질수



(a) $N_2:H_2=1:9$ specimens



(b) $N_2:H_2=3:7$ specimens

Fig. 7. Results from X-ray diffraction after sputtering.

록 약간 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 추가 스퍼터링 과정에서 아르곤 이온이 시편의 표면에 충돌과정에서 발생하는 가열효과에 의해서 질화층의 질소가 내부로 확산되는 현상에 기인되는 것으로 사료된다. 그림 7은 스퍼터링한 시편의 X-ray diffraction 분석결과로 스퍼터링의 시간이 길어질수록 ϵ -Fe_{2.3}N 피크와 γ -Fe₄N 피크의 강도가 감소되었다. 질소와 수소 비율을 1:9로 사용한 시편에서는 그림 7(a)에서와 같이 추가 스퍼터링을 1시간 동안 실시한 X-ray 회절 분석결과가 모재인 AISI H13강과 유사한 패턴을 나타내었으며, 질소와 수소 비율을 3:7로 사용한 시편에서는 그림 7(b)에서 보여주는 바와 같이 스퍼터링을 5시간동안 실시한 X-ray 회절 분석결과가 모재인 AISI H13강과 유사한 패턴을 나타내었다. 이러한 결과는 플라즈마 질화로 형성된 표면의 화합물이 추가 스퍼터링의 실시로 인하여 질소와 수소 비율을 1:9로 사용한 시편에서는 1시간만에 그리고 질소와 수소 비율을 3:7로 사용한 시편에서는 5시간만에 완전히 제거된 것을 의미한다. 이러한 결과는 후에 언급할 CrN 박막의 밀착력에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그리고 질소와 수소 비율을 1:9로 사용한 시편(A)의 경우에 추가적인 스퍼터링을 실시한 시편에서 스퍼터링 시간이 증가함에 따라 그림 5의 (c)와 (d)에서 화살표로 나타낸 것과 같이 표면으로부터 특징이 없는 새로운 결정이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 이 부위에 대해 미세경도를 측정된 결과 주위의 모재 부위와 동일한 경도를 나타냈으며, 또한 그림 7에서 보여주는 바와 같이 XRD 분석 결과에서도 새로운 회절 피크가 형성되지 않은 것으로 판단해볼 때, 이러한 조적은 추가 스퍼터링의 시간이 증가됨에 따라 열처리 효과에 의해 일종의 재결정 현상이 발생된 것으로 사료된다.

그림 8에 추가 스퍼터링 효과에 따른 단면경도의 변화를 나타내었다. 단면경도는 질소와 수소의 비율이 3:7인 시편(B)의 경우 5시간 스퍼터링을 실시하면 표면의 화합물층 제거로 인해 경도가 1158 Hv에서 1005 Hv로 크게 감소되는 것을 확인할 수 있었고 경도분포 곡선은 추가 스퍼터링을 실시하지 않은 시편보다 상당히 완만하게 변화되는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 그림 6에서 확인한 바와 같이 스퍼터링 과정에서 발생하는 가열효과에 의해 질소의 내부 확산으로 설명할 수 있다. 또한 질소와 수소의 비율이 1:9인 시편(A)의 경우는 플라즈마 이온처리시 화합물층이 크게 형성되지 않았기 때문에, 즉 질소확산층에 존재하는 질소의 절대 양이 적기 때문에 추가 스퍼터링에 의해 내부로 확산

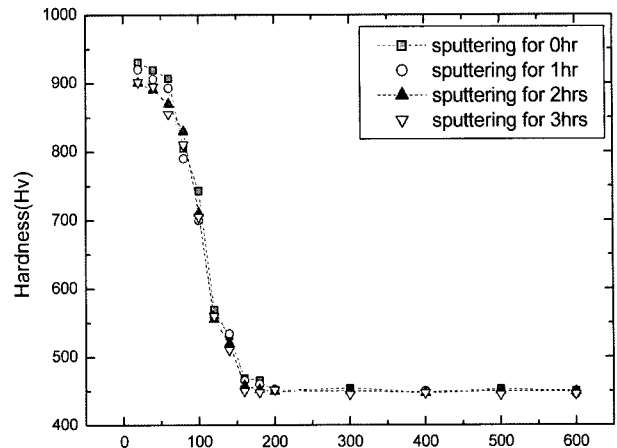
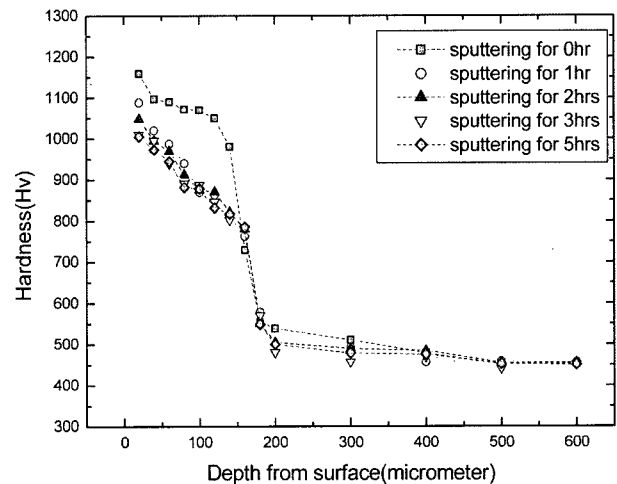
(a) N₂:H₂=1:9 specimens(b) N₂:H₂=3:7 specimens

Fig. 8. Surface hardness as a function of sputtering conditions.

될 질소의 양이 적고, 따라서 추가 스퍼터링 과정 후에도 시편의 경도 분포에 커다란 변화를 유도하지 못한 것으로 판단된다.

3.3 추가 스퍼터링 효과에 따른 조도 변화와 밀착력 변화

PVD 박막의 모재와 밀착력에 미치는 전처리로서의 플라즈마 질화의 영향을 고찰하기 위하여 여러 비율을 갖는 가스를 이용하여 플라즈마 질화를 실시하고, 마그네트론 스퍼터링 공정을 사용하여 CrN 박막을 형성하는 복합표면처리를 실시한 후에, scratch test를 이용하여 밀착력 시험을 실시한 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림에서 보여주는 바와 같이 사용한 가스의 조성구 무관하게, 즉 질화처리된 시편의 표면에 형성된 상의 종류와 그 양에 관계없이 플라즈마질화로 전처리를 수행한 시편의 밀착력이 전처리를 실시하지 않은 시편에 비해서 약

2.5배 정도의 밀착력 향상을 나타내었다. 이러한 결과는 플라즈마 질화층이 약 30 GPa 정도의 높은 경도를 나타내는 CrN 박막과 상대적으로 연한 모재

사이에 존재하여 scratch test 과정에서 부과되는 응력을 효율적으로 분산할 수 있었기 때문인 것으로 분석되며, 이러한 중간층의 효과는 다른 연구 결과에서도 확인된 바 있다⁹⁾.

본 연구에서는 이러한 복합표면처리 과정에서 전처리로서의 플라즈마 질화처리에서 형성되는 표면층의 효과에 대해 분석하기 위하여, 우선 플라즈마 처리한 모재 표면의 조도 Ra(μm) 값이 CrN 박막의 밀착력에 미치는 영향을 분석하였다. 두 종류의 가스 비율을 사용하여 질화 처리한 시편에 대하여 추가 스퍼터링 시간에 따른 표면 조도 측정 결과를 그림 10에 나타내었다. 질소와 수소의 비율이 1:9인 시편과 3:7인 시편 모두 추가 스퍼터링 시간이 길어질수록 표면조도값이 증가한 것을 확인할 수 있었으며, 이와 같이 추가 스퍼터링으로 표면조도가 증가한 것은 스퍼터링 실시로 인해 표면에 다수의 defect가 발생된 결과로 사료된다.

그리고 이러한 표면조도의 변화가 2차 처리를 실

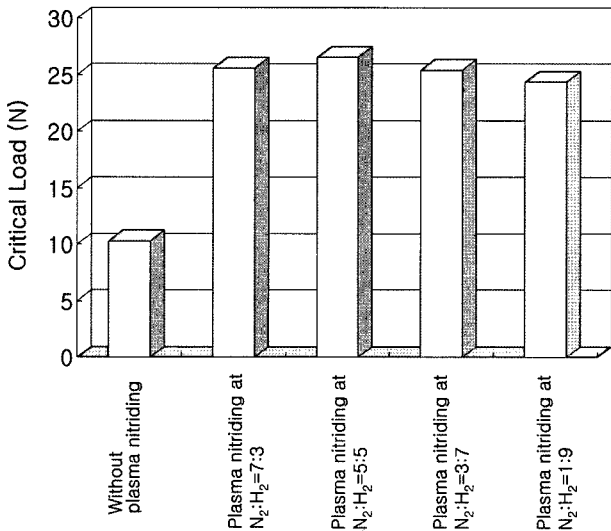
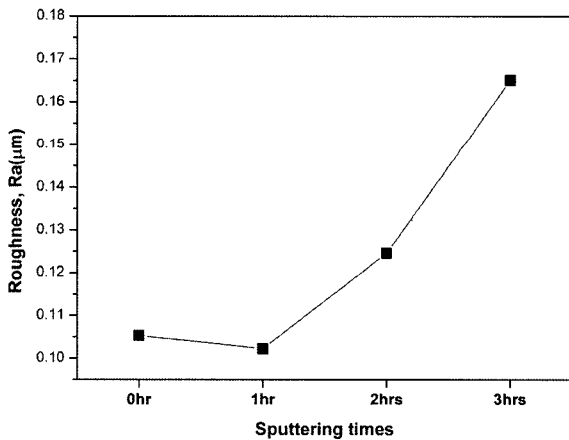
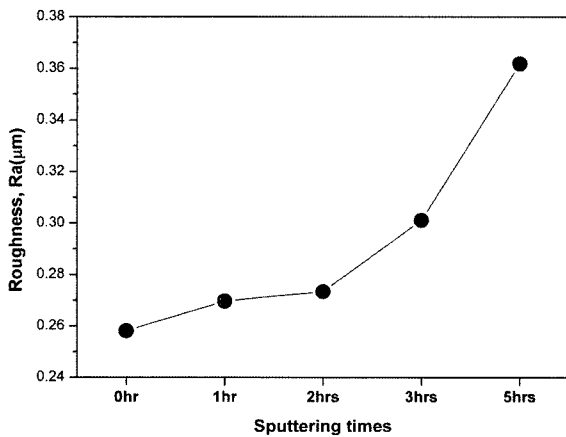


Fig. 9. Adhesion of CrN films on plasma nitriding specimens with various gas ratios.

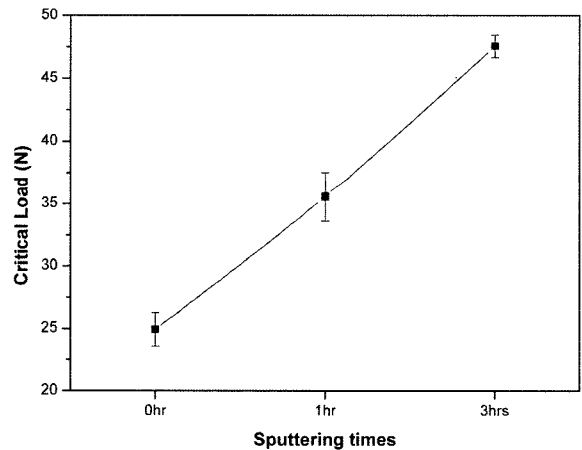


(a) $N_2:H_2=1:9$ specimens

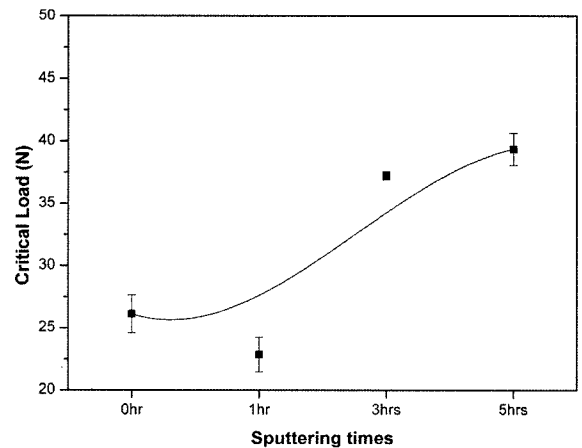


(b) $N_2:H_2=3:7$ specimens

Fig. 10. Surface roughness of plasma-nitrided substrate after sputtering. (a) $N_2:H_2=1:9$ specimens, (b) $N_2:H_2=3:7$ specimens.



(a) $N_2:H_2=1:9$ specimens



(b) $N_2:H_2=3:7$ specimens

Fig. 11. Adhesion of CrN films on plasma nitriding specimens after sputtering for various hours.

시 후 PVD 박막의 밀착력에 영향을 미치는지를 알아보기 위해서 CrN 박막 코팅을 실시한 후에 scratch test를 실시한 결과를 그림 11에 나타내었다. 질소와 수소의 비율로 1:9를 사용한 시편의 경우에는 그림 11(a)에서 보여 주는 바와 같이 추가 스퍼터링 처리 시간이 길어질수록 임계하중이 증가하는 것을 보여주었다. 질소와 수소의 비율이 1:9인 시편은 추가 스퍼터링을 1시간 실시한 시편에서도 표면에 화합물층이 완전히 사라진 점을 고려해 볼 때 이러한 밀착력의 증가는 표면조도의 변화, 즉 표면조도가 증가함에 따라 밀착력도 향상된 것으로 분석된다. 그리고 추가 스퍼터링을 3시간 실시한 시편에서 가장 높은 밀착력 값인 약 47.1 N의 임계하중이 관찰되었고 추가 스퍼터링없이 플라즈마 질화처리만 실시한 복합표면처리 시편에서는 임계하중이 약 24.75 N 측정되어, 추가 스퍼터링을 실시함으로써 약 2배 정도의 밀착력 향상이 있다는 것을 알 수 있었다.

질소와 수소의 비율이 3:7인 시편의 경우에는 그림 11(b)에서 보여주는 바와 같이 추가 스퍼터링을 실시하지 않은 시편과 1시간 처리한 시편의 임계하중 값은 별 차이가 관찰되지 않았고 추가 스퍼터링을 3시간 처리한 시편에서 임계하중이 증가하고 추가 스퍼터링을 5시간 실시한 시편에서 가장 높은 임계하중이 관찰되었다. 이것은 그림 7의 XRD 분석에서 추가 스퍼터링을 3시간 이상 실시한 시편부터 화합물층의 피크가 거의 관찰되지 않는 결과를 고려해 볼 때 임계하중은 표면에 화합물층의 존재 여부와 깊은 연관이 있는 것으로 사료된다. 즉 3:7의 비율을 사용한 시편에서는 표면에 형성된 화합물층이 대부분 제거된 조건에서 임계하중의 증가를 보이고 있다. 이러한 현상은 질소와 수소의 비율을 1:9을 사용한 시편에서는 스퍼터링을 1시간 실시한 시편에서 표면의 화합물층이 완전히 제거되면서 CrN박막과의 밀착력이 크게 향상된 결과와 유사하게 설명될 수 있다.

이와 같이 밀착력을 나타내는 임계하중 변화는 그림 9와 그림 11에서 보는 바와 같이 질소와 수소의 비율이 1:9인 시편과 3:7인 시편 모두 표면조도와 플라즈마 질화처리에서 생성되는 화합물층의 존재가 영향을 미치는 것으로 사료되며, 표면에 화합물이 존재하는 경우에는 낮은 결합력을 보이지만 표면의 화합물이 완전히 제거된 시편의 경우에는

스퍼터링을 실시함에 따라 표면의 조도가 증가하게 되고 이에 따라 CrN 박막의 밀착력은 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

복합표면 처리시 플라즈마 질화처리 후에 실시하는 스퍼터링 처리가 PVD 코팅 박막의 밀착력에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 스퍼터링을 실시한 시편에서, 질소분압이 10%인 가스로 질화된 시편의 경우 스퍼터링 1시간, 질소분압이 30%인 가스로 질화된 시편의 경우 스퍼터링을 5시간 실시한 경우에 표면에 형성된 질화물을 완전히 제거할 수 있었으며, 그 결과 모재 표면에서의 경도는 감소하고 경도분포도 완만한 곡선을 형성하는 것을 확인할 수 있었다.

2) 스퍼터링을 실시한 결과 플라즈마 질화된 모재의 표면에 조도의 변화가 관찰되었으며 스퍼터링 처리 시간이 길어질수록 표면조도 값이 증가하였다. 이러한 조도의 변화는 scratch test 결과 밀착력에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 플라즈마 처리 후에 실시하는 스퍼터링 처리에 의하여 CrN 박막의 밀착력이 약 2배 정도 향상된 결과를 얻을 수 있었으며, 이러한 결과는 플라즈마 질화 과정에서 형성된 화합물층이 완전히 제거된 상태에서 추가 스퍼터링으로 표면조도의 향상에 의해 밀착력이 증가되는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김성완, 손윤호, 한국열처리공학회지, 5 (1992) 240.
2. H. Kaufman, Surf. Coat. Technol., 74-5 (1995) 23.
3. S. Y. Lee *et al.*, Surf. Coat. Technol., 171(1-3) (2003) 83.
4. K.-T. Rie, E. Broszeit, Surf. Coat. Technol., 76-77 (1995) 425.
5. S. Ma, Y. Li, K. Xu, Surf. Coat. Technol., 137 (2001) 116.
6. B. Edenhofer, Heat. Treat. Met., 2 (1974) 59.
7. Y. Sun, T. Bell, Trans. Inst. Met. Finish., 70(1) (1992) 38.
8. 배규호, Plasma/Ion Nitride Treatment, Dangoon (1996) 92.
9. S. Y. Lee, S. D. Kim, Y. S. Hong, Surf. Coat. Technol., 193 (2005) 266.