

직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 Ti-Al-V-N 박막의 특성

손용운 · 정인화 · 이영기*

한국자원연구소 자원활용소재연구부, 대전 305-350

*위덕대학교 반도체공학과, 경주 780-910

Characterizations of Ti-Al-V-N Films Deposited by DC and RF Reactive Magnetron Sputtering

Yong-Un Sohn, In-Wha Chung and Young-Ki Lee*

Minerals & Materials Division, Korea Institute of Geology, Mining & Materials (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

*Department. of Semiconductor Engineering, Uiduk University, Kyongju 780-910, Korea

Abstract The Ti-Al-V-N films have been deposited on various substrates by d.c and r.f reactive magnetron sputtering from a Ti-6Al-4V alloy target in mixed Ar-N₂ discharges. The films were investigated by means of XRD, AES, SEM/EDX, microhardness, TG and scratch test. The XRD and SEM results indicated that the films were of single *B1* NaCl phase having dense columnar structure with the (111) preferred orientation. The composition of Ti-Al-V-N film was the Ti-7.1Al-4.3V-N(wt%) films. Adhesion and microhardness of Ti-Al-V-N films deposited by r.f magnetron sputtering method were better than those deposited by d.c magnetron sputtering method. The anti-oxidation properties of Ti-Al-V-N films were also superior to that of Ti-N film deposited by the same deposition conditions.

(Received September 28, 2000)

Key words: Ti-Al-V-N film, sputtering, PVD, Hard coating

1. 서 론

공구, 금형등의 내구성 향상을 목적으로 내절삭성, 경도와 내마모성을 겸비한 TiN이 과거에는 표면 코팅재로서 주로 이용되어 왔으나, 최근에는 표면 코팅재의 기능성을 더욱 향상시키기 위하여 TiN을 토대로 한 Ti-Al-N, Ti-Zr-N, Ti-Al-V-N, Ti-Mo-N등의 복합질화물 [1-6]과 Ti-V-C, Ti-Zr-C등의 다성분계 탄화물피막[7-8]이 활발히 연구되고 있다. 이 중에서 특히 Ti-Al-N과 Ti-Al-V-N 피막은 Ti-N과 비교하여 경도, 밀착성, 내마모성 등의 기계적 성질이 우수하고, 고온에서 박막 중의 Al이나 V이 선택적으로 산화됨으로써 박막표면에 Al 또는 V의 산화물이 우선적으로 생성되어 박막 내부의 산화를 방지하는 고온 산화특성 재료이므로 가공중 공구 마모가 심하고 열 발생이 큰 고경도 재료를 가공하는데 적절한 표면코팅 물질이며, 또한 단독의 질화물에서 볼 수 없는 표면 코팅재로서 우수한 특성을 보유하고 있어서 널리 응용되고 있다[8-14].

본 연구에서는 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Ti-Al-V-N 및 Ti-Al-V 박막을 고속도강(SKH51)

편치, Si(100) wafer 및 다결정 Al₂O₃등의 각종 모소재에 증착시킨 후 XRD, AES, RBS, SEM/EDX를 이용하여 박막의 표면분석, 표면코팅재/모재간의 계면특성을 조사하였다. 그리고 공구등의 내구성 향상에 중요한 영향을 미치는 기계적·물리적인 특성, 즉 경도, 부착도 및 내 산화성을 측정하였으며, 아울러 국내외에서 시판되고 있는 볼트용 편치와 본 연구에서 제작된 시료에 대하여 상호 비교 분석을 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 시편준비

본 연구에서는 Table 1과 같은 조성의 Mo계 고속도강인 볼트·너트타격용 편치와 봉(12 mmφ × 25 mm, SKH51) 및 Si(100) wafer등을 Ti-Al-V-N계 질화물 코

Table 1. Chemical composition of high speed steel (SKH 51)

Composition	C	Cr	W	Mo	Fe
wt%	1.0	4.0	6.0	2.5	balance

팅을 위한 기판 재료로 사용하였다. 그런데 고속도강의 경우 모재의 표면형상, 특히 표면연마 정도는 증착된 박막의 특성에 영향을 미치므로 세심한 주의가 요망된다. 따라서 모재를 표면코팅 전에 Extrude hone기(입자유동 연마기)를 사용하여 1 μm 이하의 표면 평활도가 되도록 연마하여 초기 조건을 동일하게 하였으며 시편의 유기물, 기름등의 불순물을 제거하기 위하여 트리클로로에치렌, 아세톤, 알코올을 사용하여 초음파 세척을 각각 10분 동안 실시하였다. 세척이 끝난 기판은 고압의 알곤 가스 및 진공 하에서 건조한 다음, 스퍼터링 장치 내에 시편을 장입하였다. 또한 Ti-Al-V-N계 질화물의 내산화특성을 검토하기 위하여 단면적이 동일($10 \times 10 \times 1$ mm)한 다결정 알루미나(Al_2O_3)판을 다이아몬드 톱으로 절단하여 기판으로 사용하였다.

Ti-Al-V-N계 질화물을 코팅하기 위하여 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하였으며, 표면코팅을 위한 타겟트 재료로는 고강도 재료로 알려진 Ti-6%Al-4%V(75 mmΦ) 합금을 사용하였다. 그리고 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법에 따른 Ti-Al-V-N 박막의 물리적·화학적 특성을 조사하기 위하여 동일한 증착장치내에서 직류 및 고주파 전원만을 달리하여 실험하였다. 본 증착장치는 2개의 직류전원과 1개의 고주파 전원을 동시에 사용, 타겟트와 기판의 거리를 임의로 조정 할 수 있고, 시편의 플라즈마 세정 및 기판의 가열온도 등을 변화시킬 수 있다. 그리고 진공시스템은 터보분자펌프를 사용하였으며, 초기 진공도는 대략 2×10^{-6} mbar이었다. 그리고 반응가스는 99.9999% 이상의 고순도 알곤 및 질소가스를 사용하였으며, 질소 및 알곤가스의 분압 조정은 MFC를 사용하여 제어하였다.

2.2. 분석

직류 및 고주파 스퍼터링법으로 증착된 Ti-Al-V-N 박막의 두께측정은 α -step에 의해 측정하였으며, 표면코팅 층의 표면과 단면의 조직은 주사 전자 현미경(SEM/EDS)을 이용하여 관찰하였다. 그리고 표면코팅된 Ti-Al-V-N 및 Ti-Al-V박막의 조성은 AES 및 RBS를 사용하여 깊이분석을 하였다. 또한 다양한 증착조건에 따른 결정구조 및 우선방위는 X선 회절장치(XRD)를 사용하였다. 또한 표면코팅층과 모재간의 부착 특성은 일반적으로 사용되고 있는 scratch test^{방법}을 사용하였으며, 표면코팅층의 미세경도 측정은 knoop 압입자를 사용하였는데 이때 압입하중 50 g으로 일정하게 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Ti-Al-V계 복합질화물의 증착

Fig. 1은 SKH51의 고속도강[Fig. 1(A)] 및 Si-wafer 기판[Fig. 1(B)]위에 동일한 진공장치내에서 단지 전원 공급만 달리하여 실험한 X선 회절분석 결과를 나타낸 것이다. 이때 직류 마그네트론 스퍼터링법은 기판온도를 350°C로 승온시켜 직류전원 300W (500V-0.6A), 진공 조 압력 6×10^{-3} mbar, $\text{N}_2/\text{Ar}+\text{N}_2$ 가스비 0.15의 증착조건에서 90분 동안 실시하였다. 그리고 고주파 마그네트론 스퍼터링법은 직류 마그네트론 스퍼터링법과 동일조건에서 고주파전원을 200W로 고정하여 증착하였다. 그림에서와 같이 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 모든 시료에서 δ -TiN의 해당되는 피크만이 관찰되었을 뿐 AlN , VN 의 2원계 질화물이나 Ti_2AlN [16-17], Ti_3AlN 및 $\text{Ti}_3\text{Al}_2\text{N}_2$ [16] 등과 같은 3원계 질화물피크는 관찰되지 않았다. 따라서 직류 또는 고주파

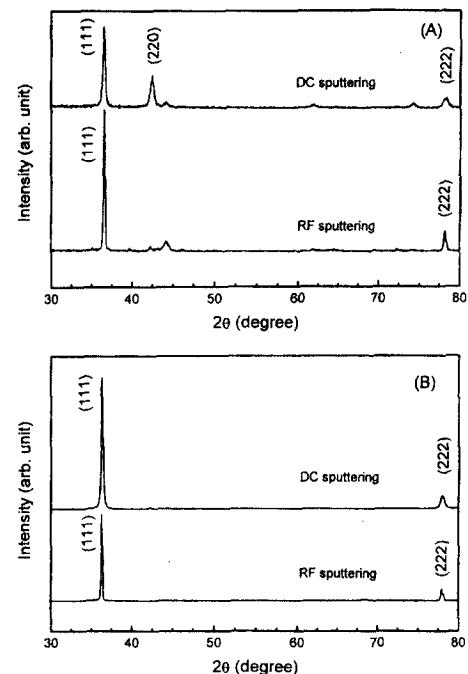


Fig. 1. X-ray diffraction patterns for Ti-Al-V-N films deposited on high speed steel(A) and Si(100)(B) substrates by d.c and r.f reactive magnetron sputtering for 90 min from a Ti-6Al-4V alloy target. The deposition conditions are d.c power 300W(500V-0.6A), r.f power 200W, total pressure 6×10^{-3} mbar, substrate temperature 350°C, and nitrogen partial pressure $[\text{N}_2]/(\text{Ar}+\text{N}_2)$ 0.15, respectively.

마그네트론 스퍼터링법으로 코팅된 박막은 Ti-Al-V-N계의 단일상이라고 판단되며, 이러한 Ti-Al-V-N박막은 본 질적으로 fcc 결정구조의 δ-TiN에 Al과 V이 치환된 변형된 형태의 TiN구조라는 다른 연구결과와 일치된다[15-17]. 그리고 Fig. 1(B)에서와 같이 Si 기판상에 증착된 Ti-Al-V-N박막은 δ-TiN의 (111)과 (222)회절면에 해당되는 2개의 피크만이 관측됨으로써 (111) 우선방위(preferred orientation)의 성장거동을 하였으나, SKH51상에서 증착된 Ti-Al-V-N박막은 (220)면의 회절피크가 관찰되었다. 이러한 결과는 기판의 종류에 따라 결정성장거동이 변화될 수 있음을 의미한다. 또한 Ti-Al-V-N박막의 결정구조가 fcc 결정구조의 δ-TiN의 변형된 형태라면 Ti(1.47Å)에 비하여 상대적으로 원자반경이 작은 Al(1.43Å)과 V(1.32Å)이 Ti의 격자위치에 치환되면 격자상수의 변화가 예상되며, 또한 δ-TiN의 격자상수는 여러 가지 스퍼터링 조건에 의존하여 변화된다. 본 연구에서 직류 및 고주파 스퍼터링 방법으로 증착된 Ti-Al-V-N박막의 (111)회절피크는 거의 동일한 각도에서 검출되었으나, TiN과 비교하여 격자상수의 감소를 의미하는 고각도쪽으로 이동되었다. 이로부터 계산된 Ti-Al-V-N박막의 격자상수 α_0 는 4.225Å로서 4.24Å인 δ-TiN(JCPDS No. 6-0642)과 비교하여 격자상수가 감소되었다. 이는 Ti에 비하여 원자반경이 작은 Al과 V이 Ti의 격자위치에 치환되었기 때문이며, 또한 Ti-Al-V-N 박막이 단일상으로 성장되었음을 의미한다.

Si기판위에 직류 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 Ti-Al-V-N 화합물 박막[Fig. 1(B)]의 조성비를 알아보기 위하여 박막의 깊이에 따른 Auger Spectra를 조사한 결과는 Fig. 2(A)와 같으며, 이때 깊이분석은 160Å/min의 속도로 Ar⁺이온에 의한 에칭을 하여 실시하였다. 그림에서와 같이 Ti-Al-V-N 박막의 표면에서는 Ti, Al 및 V의 금속성분뿐만 아니라 뚜렷한 C 및 O 성분이 검출되었다. 이와 같은 C 및 O는 증착중이나 시료를 대기중에 노출시켰을 때 오염된 것이라 생각되며, C 및 O Spectra는 표면으로부터 에칭을 실시함으로써 점차 작아져 80Å(0.5분)이상의 깊이에서는 Spectra 강도비로 약 2 at.% 이하의 농도를 나타내었다. 따라서 Ti-Al-V-N 박막 표면에서의 C 및 O는 주로 증착 후 시료를 대기중에 노출시켰을 때 오염된 것이라 생각된다. 따라서 Ti, Al, V 및 N의 조성분석은 1분 이상 에칭을 실시하여 오염된 표면층을 제거한 후 실시하였으며, 이때 Ti, Al 및 V등 각 원소의 Spectra 세기로부터 구한

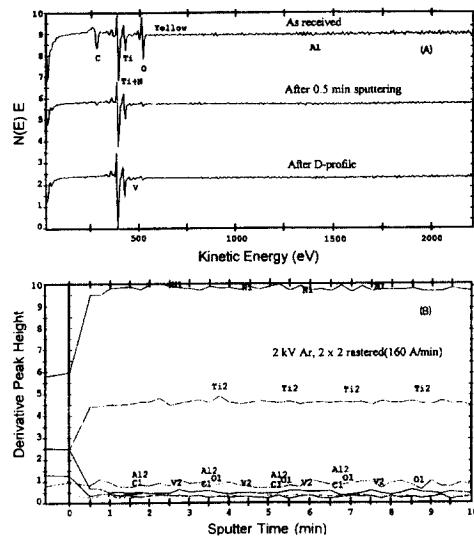


Fig. 2. AES spectra (A) and depth profiles (B) of the Ti-Al-V-N films deposited on Si(100) wafer by d.c reactive magnetron sputtering at $T_s = 350^\circ\text{C}$.

조성비는 타겟트의 조성[Ti-6Al-4V(wt%)]과 거의 같은 Ti-7.1Al-4.3V(wt%)이었다. 그리고 Fig. 2(B)는 0~10분 동안 연속적으로 애칭을 실시하여 Ti-Al-V-N/Si 깊이운과를 분석한 결과로서, 대략 0.5분(80Å) 이상의 Ar⁺이온 애칭에 의하여 C 및 O에 의한 오염층은 제거되고 Ti, Al, V의 금속원소와 N의 원자비가 거의 1:1인 순수한 Ti-Al-V-N 화합물층을 나타내었다.

Fig. 3은 Si 기판위에 직류 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 Ti-Al-V 및 Ti-Al-V-N 질화물박막[Fig. 1(B)]에 대한 RBS에 의한 깊이 분석결과로서, RBS 분석은 3 MeV의 에너지와 3 μC 의 전하 조건에서 실시하였다. 그리고 Ti-Al-V 박막은 Fig. 1(B)와 동일한 증착 조건에서 Ar만을 방전가스로 사용하여 증착하였다. RBS에 의한 성분분석 결과, Auger 분석결과 동일하게 타겟트의 조성과 거의 동일한 조성의 Ti-Al-V 및 Ti-Al-V-N박막이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 그리고 RBS의 깊이분석 결과로부터 불순물로서 C 및 O 성분이 거의 검출되지 않는 순수한 Ti-Al-V 및 Ti-Al-V-N 질화물박막이 증착되었음을 알 수 있었다. 또한 이러한 타겟트의 조성과 거의 동일한 조성을 가진 박막 형성은 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 시료에서도 관찰되었다.

Fig. 4는 고속도강 및 Si 기판위에 직류 마그네트론 스

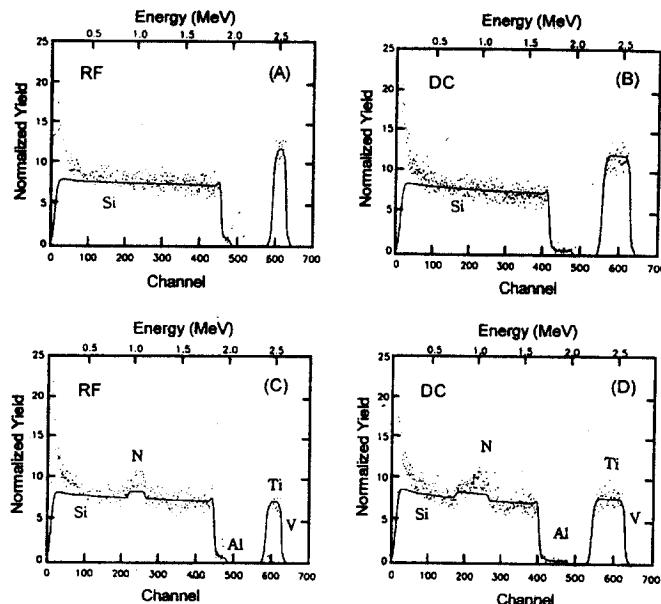


Fig. 3. RBS spectra from Ti-Al-V films (A & B) and Ti-Al-V-N films (C & D) deposited on Si (100) wafer by d.c reactive magnetron sputtering at $T_s = 350^\circ\text{C}$, respectively.

퍼터링법으로 증착시킨 박막[Fig. 1(A), (B)]의 표면과 단면을 관찰한 SEM사진이다. 사진에서 (A)와 (B)는 고속도강에 증착된 Ti-Al-V-N 박막의 표면과 단면에 대한 사진이고, (C)는 Si기판에 대한 사진이다. 고속도강 및 Si 기판위에 증착된 박막의 단면조직은 기판의 종류에 무관하게 기판에 수직 방향으로 성장된 주상정조직(column structure)이었다. 이러한 현상은 Hultman등 [18]에 의하면 마그네트론 스퍼터링법으로 증착된 천이 금속 질화물 박막들은 거의 모든 증착조건에서 주상정조직으로 성장된다고 하였는데, 본 연구결과 또한 이들의 연구결과와 일치됨을 알 수 있었다. 그러나 표면조직을 살펴보면 고속도강 위에 증착된 박막의 표면은 응집체와 같은 형상으로 표면 평활도(surface roughness)가 매우 나쁜 반면에 Si 기판위에 증착된 박막은 매우 평탄한 표면이었다. 이러한 박막 표면의 평활도 차이는 모소재의 표면조도에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 5는 Fig. 4(B) 시료의 단면을 SEM에 부착된 EDX를 이용하여 Ti, Al, V, Fe등의 각 원소들에 대한 깊이에 따른 성분분석 결과를 나타낸 것으로, 각 원소들에 대한 분석은 표면에서부터 0.25 μm 의 일정한 간격에서 실시되었다. EDX에 의한 분석결과 역시 표면으로부터 1.5 μm (4 point)까지는 타겟트의 조성과 거의 동일한 조성의 Ti-Al-V-N 박막이 형성되었음을 알 수 있다. 그

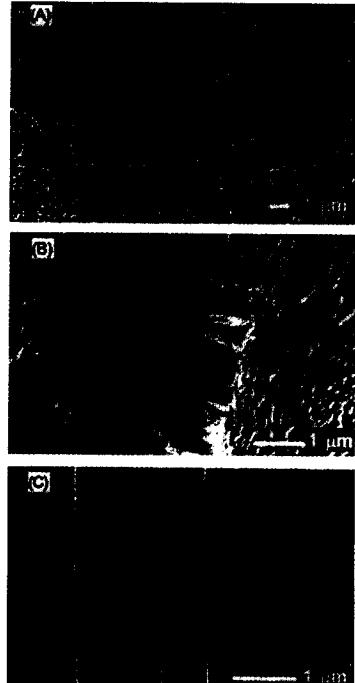


Fig. 4. SEM micrographs taken for the surface (A) and the cross-sectional fracture (B) of Ti-Al-V-N film deposited on high speed steel, and the cross-sectional fracture (C) on Si wafer by d.c reactive magnetron sputtering at $T_s = 350^\circ\text{C}$, respectively.

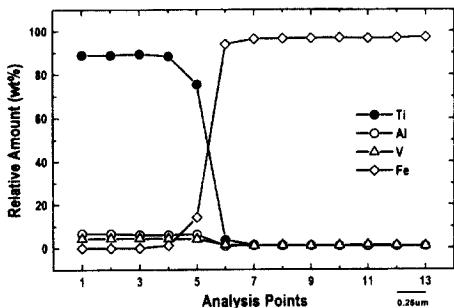


Fig. 5. Point-by-point cross-sectional EDS depth profiles of Ti-Al-V-N film deposited on high speed steel by d.c reactive magnetron sputtering at $T_s = 350^\circ\text{C}$. The point-by-point distance is $0.25 \mu\text{m}$.

러나 표면으로부터 $2 \mu\text{m}$ (5 point)의 깊이에서 대략 12wt%의 Fe가 검출되었는데, 이는 기판온도를 350°C 로 유지시켜 증착시킴으로써 박막과 기판인 고속도강과의 상호확산에 기인된 결과이다.

Ti-Al-V-N 학합물은 고온에서 Al과 V이 선택적으로 산화됨으로써 박막표면에 Al과 V의 산화물이 우선적으로 생성되어 박막 내부의 산화를 방지하는 고온 산화특성 재료로 알려져 있다[6,12]. 따라서 본 연구에서 Ti-Al-V-N 박막의 내산화 특성은 측정 가능한 정밀도가 $0.5 \mu\text{g}$ 까지인 thermo-electrobalance(CAHN 1000, USA)를 이용, 온도변화에 따른 시료의 총 중량변화를 측정하여 조사하였다.

Fig. 6(A)는 실험상의 오차를 최소화하기 위하여 단면적이 일정($10 \times 10 \times 1 \text{ mm}$)한 다결정의 알루미나 기판 위에 Ti-N 및 Ti-Al-V-N을 증착시킨 시료들을 대기중에서 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온속도로 가열하여 온도변화에 따른 중량변화율(TG)을 나타낸 것이다. 이때 Ti-Al-V-N의 증착조건은 Fig. 1의 직류 마그네트론 스퍼터링법과 동일하였으며, Ti-Al-V-N과 상호 비교를 위한 Ti-N 박막은 순수 Ti를 타겟트로 사용하여 Fig. 1과 동일한 조건에서 증착하였다. 그리고 Fig. 6(B)는 Fig. 6(A)의 TG곡선을 1차 미분한 DTG곡선으로, 이는 TG곡선보다 중량변화에 따른 반응 시작온도(onset temp.), 최대온도(peak temp.) 및 종료온도(final temp.) 등과 매우 미소한 중량변화를 보다 명확하게 구할 수 있으므로 널리 이용된다. 그림에서와 같이 Ti-Al-V-N 박막이 Ti-N보다 대략 40°C 의 고온에서 산화가 시작되었고, 양 시료 모두 일단 산화가 시작되면 각 시료의 기울기로부터 알 수 있는 바와 같이 거의 동일한 속도로 산화반응이 진

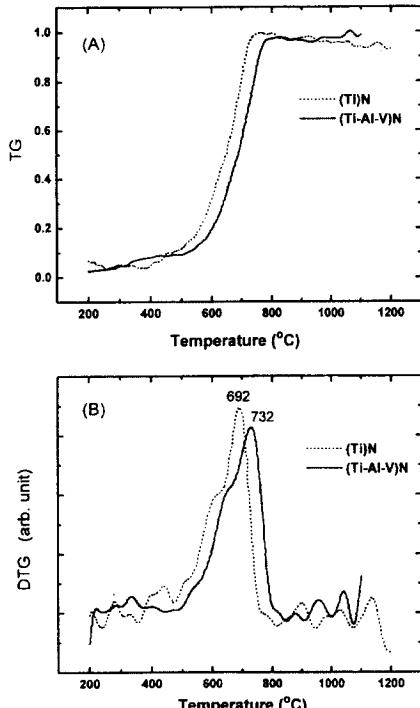


Fig. 6. TG(A) and DTG(B) curves showing the oxidation behavior of Ti-N and Ti-Al-V-N films deposited on polycrystal- Al_2O_3 substrate by d.c reactive magnetron sputtering, respectively.

행되었다. 그리고 산화반응이 가장 활발히 진행되는 반응 최대온도 또한 Ti-Al-V-N 박막이 Ti-N보다 거의 40°C 이상의 내고온 특성을 나타냄을 알 수 있다.

3.2. 고속도강 편치에서의 특성

볼트-너트용 고속도강 편치는 일반적으로 직경 $12\sim38 \text{ mm}\phi$, 길이 $23\sim30 \text{ mm}$ 의 다양한 형상을 가지며, 경도 및 부착도와 같은 내구성을 좌우하는 특성이 특히 요구된다. 본 연구에서 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 4성분계의 복합질화물(Ti-Al-V-N)을 증착시켜 제조한 편치와 국내외 업체에서 제조된 편치의 부착도 및 경도 등의 기계적 특성을 상호 비교하여 Table 2에 표시하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 제작된 시작품의 경우에는 외국 제품과 유사하게 부착성이 $60\sim65\text{N}$, Knoop($H_{K:50\text{g}}$) 경도가 $2200\sim2500 \text{ kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$ 정도가 되는 제품을 제조할 수 있었다. 그러나 국내회사에서 제조된 편치(A, B사 제품)의 특성은 외국 제품에 비하여 특히 부착특성의 저하가 확

Table 2. Comparison results of PVD methods, coating materials, thickness, microhardness and scratch test for various head punch.

Sample	PVD method	Coating material	Thickness (μm)	Hardness (kg.fmm^{-2})	Scratch test (N)
Domestic company (A)	Ion plating	TiNX	3-5	$\approx 2,000$	≈ 5
Domestic company (B)	?	TiNX	2	$\approx 1,900$	≈ 5
Domestic company (C)	Ion plating	TiNX	3-5	$\approx 2,100$	≈ 60
Japan company (A)	Ion plating	TiCXNY	2-3	$\approx 2,500$	≈ 60
Japan company (B)	?	TiCXNY	2-3	$\approx 2,500$	≈ 60
In this study	d.c	Ti-Al-V-N	2-3	$\approx 2,200$	≈ 60
In this study	r.f	Ti-Al-V-N	2-3	$\approx 2,500$	≈ 65

인되었다. 이러한 가장 큰 원인은 모재의 표면형상, 특히 표면연마 정도가 불량하고, 모재 자체의 강도 및 인성이 저하되어 표면코팅층과 모재와의 부착성이 불량한 것으로 생각된다.

Fig. 7은 국내 제품(B사), 외국 제품(A사) 및 본 연구에서 고주파 마그네트론 스퍼터링법으로 제조한 제품의 단면을 관찰한 SEM사진이다. Fig. 7(A)에서와 같이 국내 제품(B사)의 경우, 모재의 요철부분 및 편치 표면의 초기 연마상태가 불균일함으로써 표면 코팅상태가 매우 불균일하여 표면코팅층과 모재와의 부착 특성이 저하된 것으로 생각된다. 그리고 이러한 표면코팅층의 불균일은 사용중에 국부적인 응력집중으로 인하여 내구성의 저하가 예상된다. 그러나 외국회사 제품[Fig. 7(B)]의 경우 모재인 고속도강의 연마 및 표면코팅층의 상태 및 두께 또한 매우 균일함을 알 수 있다. 그리고 본 시작품[Fig. 7(C)]의 경우 Ti-N에 비하여 부착특성이 우수한 Ti-Al-V-N을 표면 코팅재로 채택하였을 뿐만 아니라, 모재를 표면코팅 전에 Extrude hone기(입자유동연마기)를 사용하여 1 μm 이하의 표면 평활도가 되도록 연마한 후 증착하였으므로 표면코팅층의 상태 및 두께가 균일할 뿐만 아니라 증착중에 기판온도를 350°C로 유지함으로써 박막/모재간의 상호화산이 일어나 우수한 부착특성을 나타낸 것으로 사료된다.

4. 결 롬

본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금을 타겟트로 사용하여 고속도강 및 Si-wafer등의 여러 가지 기판위에 직류 및 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Ti-Al-V-N 박막을 표면코팅을 하였다. 증착된 복합질화물에 대하여 XRD, AES, SEM/EDX, 미세경도, 부착도 및 열중량 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

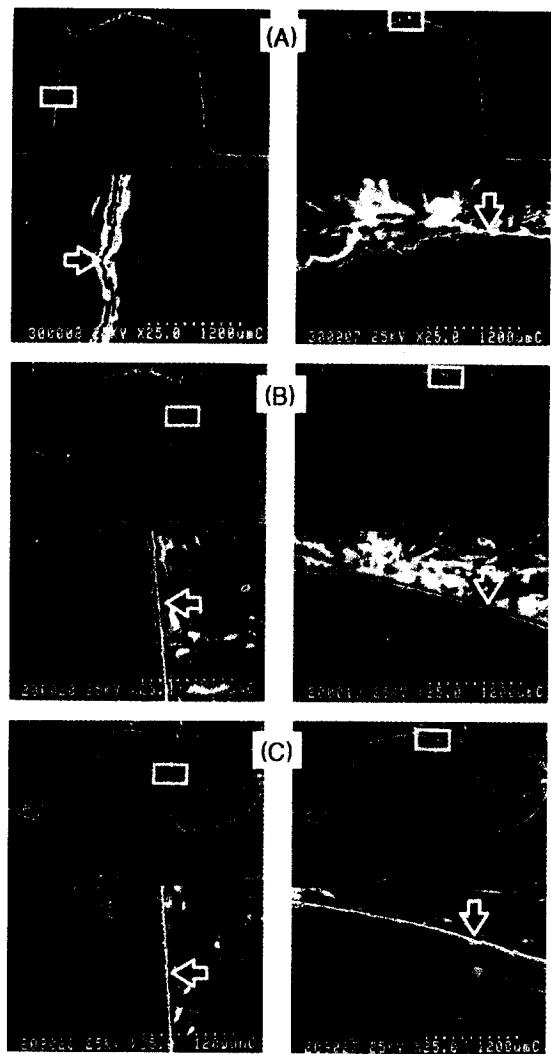


Fig. 7. SEM micrographs taken for the cross-sectional areas of various head punch manufactured by various companies. (A) Domestic company [B Co.] (B) Japan company [A Co.] (C) In this study (r.f sputtering method)

1. 직류 및 고주파 마그네트론 방법으로 Ti-Al-V-N 박막을 증착시킨 볼트·너트용 고속도강 편치는 외국 제품과 비교하여 거의 대등한 60~65N의 부착도와 2,200~2,500 kgf·mm²정도의 Knoop(H_{K,50g})경도치를 가진 제품이었으며, 고주파 마그네트론 스퍼터링법이 직류 마그네트론 스퍼터링법 보다 우수한 특성을 나타내었다.

2. Ti-Al-V-N박막은 본질적으로 fcc 결정구조의 δ-TiN에 Al과 V이 치환된 변형된 형태의 TiN구조이며, Ti(1.47Å)에 비하여 상대적으로 원자반경이 작은 Al(1.43Å)과 V(1.32Å)이 Ti의 격자위치에 치환되어 격자상수가 감소된 것으로 생각된다.

3. 고속도강 및 Si 기판위에 증착된 Ti-Al-V-N박막은 기판의 종류에 무관하게 기판에 수직 방향으로 성장된 (111) 우선방위의 주상정조직(column structure)이었다. 그리고 Ti-Al-V-N박막은 AES, RBS, SEM/EDX등에 의한 분석결과 타겟트의 조성과 거의 같은 Ti-7.1Al-4.3V(wt%) 조성비를 나타내었고 Ti, Al 및 V등의 금속과 N의 원자비가 거의 1:1인 단일상의 복합질화물이었다.

4. Ti-Al-V-N 박막은 Ti-N보다 거의 40°C이상의 내고온 산화특성을 가진다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 공업기반 기술개발 사업 연구비로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. G. B. Marchwicka, L. K. Stepniewska and W. Posadowski, Thin Solid Films, 82 (1981) 313.

2. O. Knotek, W. Bosch and T. Leyendecker, J. Vac. Sci. Technol., A 4 (1986) 2695.
3. W. D. M nz, J. Vac. Sci. Technol., A 4 (1986) 2717.
4. H. A. Jehn, S. Hofmann, V. E. R ckborn and W. D. M nz, J. Vac. Sci. Technol., A 4 (1986) 2701.
5. C.Winer, R.Sanzine and F.Levy, Surf. Coat. Technol. 86, 87(1996) 372-376
6. O. Knotek, W. D. M nz and T. Leyendecker, J. Vac. Sci. Technol., A 5 (1987) 2173.
7. B. E. Jacobson, R. F. Bunshah and R. Nimmagadda, Thin Solid Films, 54 (1978) 107.
8. R. F. Bunshah, R. Nimmagadda, W. Dunford, B. A. Movchan, A. V. Demchishin and N. A. Chursanov, Thin Solid Films, 54 (1978) 85.
9. S. Hofmann and H. A. Jehn, Surf. Interface Anal., 12 (1988) 329.
10. H. A. Jehn, S. Hofmann and W. D. M nz, Metall., 42 (1988) 658.
11. T. Ikeda and H. Satoh, Thin Solid Films, 195 (1991) 99.
12. D. McIntyre, J. E. Greene, G. Hakansson, J. E. Sundgren and W. D. M nz, J. Appl. Phys., 67 (3) (1990) 1542.
13. U.S Patent, US-5, 231, 306 (1993); US-5, 566, 045 (1996).
14. Japan Patent, 6-316, 756 (1993); 7-208, 520 (1995); 7-113, 170 (1995); 7-204, 909 (1995); 7-185, 925 (1995); 7-204, 907 (1995); 8-333, 675 (1995); 8-313, 195 (1996).
15. W. Jeitschko, H. Nowotny and F. Benesovsky, Monatsh. Chem., 94 (1963) 1198.
16. J. C. Schuster and J. Bauer, J. Solid State Chem., 53 (1984) 260.
17. J. Pelleg, L. Z. Zerin and S. Lungo, Thin Solid Films, 197 (1991) 117.
18. L. Hultman, G. Hakansson, U. Wahlstrom, J. E. Sundgren, I. Petrov, F. Adibi and J. E. Greene, Thin Solid Films, 205 (1993) 153.