

PVD법에 의한 TiAlN코팅의 절삭공구에의 적용특성

황경충[†], 윤종호^{*}

Application of TiAlN film grown by PVD to Cutting Tool

Kyung-Choong Hwang, and Jong-Ho Yoon

Abstract

As the machine tool industry progresses, the performance of cutting tools also needs to be of good quality and specialized. If the existing metal cutting tool tip is coated properly, its life would be longer and the machining of a difficult-to-cut material also could be possible.

For the development of the high quality cutting tool, the applicabilities of TiAlN coating deposited by PVD on the cutting insert were experimentally investigated. The various measurements, such as, SEM micrograph, XRD pattern, AFM surface morphology, and hardness were performed to cross-check the possibility and availability of TiAlN coated tool in the field. The effects of it is successful and we hope to see good results in many fields.

Keywords: TiAlN coating(코팅), PVD(물리진공 증착법), SEM(주사전자현미경), XRD(X-ray 회절), AFM(주사 탐침현미경), Adhesion(접착), Insert Tip(인서트 팁)

1. 서론

산업의 발달에 따라 기계들은 정밀작업, 고성능 및 자동화가 요구되고 있다. 이를 위한 일환으로 금속절삭용 인서트 팁에 약간의 기술적인 투자를 하여 상당한 부가가치를 창조하고 부식을 방지하는 코팅을 할 수 있다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 상대적으로 낮은 온도인 500°C 이하에서 코팅이 가능한 물리적 진공증착법(PVD, physical vapour deposition)으로 국내에서 판매하고있는 국산 절삭공구(SNMG 120404 ND 계열)를 타겟으로 하여 내마모성이 우수하다고 알려진 황금색의 TiAlN의 코팅을 하여 기계

적 특성을 확인하였다.

물리적 진공증착법은 화학 진공증착법(CVD, chemical vapour deposition) 코팅에 비해 경도가 높고, 입자가 조밀하며 표면거칠기가 양호하고 코팅에 크랙이 없는 잔류응력을 갖는 특징도 있다. 물리 진공증착법은 화학 진공증착법에 비해 열에 의한 모재의 변형과 구조적 변화를 회피할 수 있을 뿐만 아니라 모재의 선택이 훨씬 덜 제한적이라고 알려져 있다. 최근에는 다양한 기술력을 바탕으로 준비된 타겟 위에 TiC, TiN, TiCN 및 TiAlN 코팅을 통해 다양한 색상(gold-yellow, blue-grey, violet-grey, purple-grey)을 낼 수 있어, 사용용도에 따라 코팅하기도 한다.

반도체 소재, 항공기 분야의 일부부품 및 기계류에서 내마모성이 크게 요구되는 일부 부품들에서 TiAlN 등의 코팅을 하여 사용하는 경향이 많이 있다. 내마모성이

[†] 경일대학교 기계공학부 강사
E-mail : kchwang@lycos.co.kr
TEL:(053)955-1006, 017-502-8076
^{*} 경일대학교 기계공학부 교수

크게 요구되는 절삭공구에도 많이 활용되고 있다.

일반적으로 화학 진공증착법은 상대적으로 800~1100℃의 설정조건에서 코팅을 하여 다이아몬드와 같은 강도⁽²⁾를 필요로 하는 분야와 극히 일부지만 내마모성을 필요로 하는 반도체, 전기, 전자 및 자동차(접화플러그) 등에 사용이 되고있다. VCR 등의 헤드드럼의 일부분에 얇은 막의 다이아몬드 코팅을 하여 자기테이프의 수명연장⁽³⁾과 고화질의 효과를 얻는데도 사용되고 있다. 이러한 TiAlN이 코팅된 절삭공구를 사용하면 질 좋은 상품생산은 물론이고, 각종 약세사리나 시계 등에도 응용가능하며, 높은 부가 가치가 있을 것으로 사료된다.

II. 실험

2-1 시험편

TiAlN 코팅전의 절삭공구는 텅스텐(W)이 전체합금의 약 96%를 함유한 취성이 강한 초경합금이며, 화학적 성분은 Table 1과 같다.

코팅 전에 절삭공구의 오염물질을 제거하기 위한 방법으로 초음파 세척기에 증류수를 넣은 후 코팅 전의 절삭공구를 침전시켜 약 30분간 세척한 후 다시 30℃의 아세톤으로 약 10분 정도 세척 및 건조시켰다.

Table 1 Chemical composition of cutting tool

Element	Line	Weight (%)
Co	Ka	4.38
W	La	95.62
Total		100

2-2 실험조건 및 개략도

코팅하지 않은 절삭공구 팁에 TiAlN을 코팅할 때 사용한 가스는 질소(N₂) 및 아세틸렌(C₂H₂)을 사용했다. 가스의 유량조절은 자동 유량조절 장치인 MFC(mass flow controller, Model ; GMC 1000)로 제어했으며, 반응관내의 진공압력은 수은 기압계와 디지털 진공계를 사용했다.

Table 2 Deposition conditions for the tool coating

Pressure	1×10 ⁻³ Torr
Temp.	450℃
Time	4 hour
Power	1.25 kW
Gas sort	N ₂ , Ar, C ₂ H ₂
Gas flux (bar)	1.2
Coating color	Violet

TiAlN의 증착조건은 Table 2와 같다. 균일한 코팅을 위해 지그 하단부에는 열에 견딜 수 있는 오일링과 베벨기어를 장착하여 지지대가 일정한 방향으로 3중으로 저속 회전하면서 균일하게 공구코팅이 되게 하였다. 진공로 주위에는 고열이 발생하는 것을 방지하기 위하여 동파이프에 냉각수를 통하게 하여 진공로의 보호와 기관에 냉각효과를 주었다.

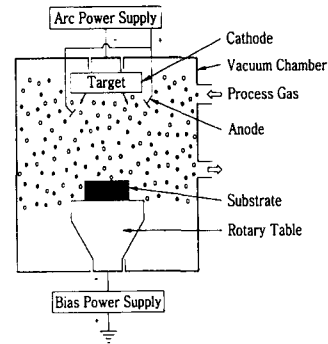


Fig. 1 Schematic diagram of TiAlN coating device

공구코팅 제조 시에 기관의 사전처리가 공구코팅의 밀착력과 우선 성장방위 형상에 미치는 영향을 알아보기 위해서 코팅 전에 200 W의 전력으로 10분간 사전부식(pre-etching)을 실시한 후 코팅하였다.

코팅 전의 예열은 약 2시간 동안 실시하였고, 타겟과 시편과의 거리는 약 80 mm로 유지하였으며, 코팅 시작 전의 초기 진공도는 5×10⁶ torr로 하였으며, 코팅장치의

개략도는 Fig. 1⁽⁴⁾에, 코팅실험의 흐름도는 Fig. 2에 나타내었다.

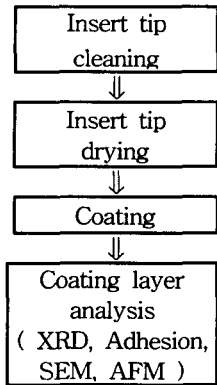


Fig. 2 Flow chart of TiAlN coating

2-3 코팅층의 구조분석

박막의 우선 성장방위에 대한 조사는 XRD(X-ray diffraction, Model ; XRD-2000)를 이용하여 코팅층의 구조 및 응력에 관한 정보를 활용하였으며, 코팅의 결정구조 분석은 Table 3의 시험조건으로 분석하였다.

Table 3. XRD experimental condition

2θ	$25^{\circ} \sim 90^{\circ}$
Scan step	0.05°
Scan speed	$5^{\circ}/\text{min}$
Voltage	50 kV
Current	150 mA

2-4 코팅층의 미세조직 관찰

TiAlN 코팅의 성장 단면형상은 시료를 액체질소에 침전부식 시킨 후 파단하여 주사식 전자현미경(SEM, Model ; S-2500)으로 코팅층의 단면을 관찰하였으며, 동일한 시험편의 표면을 주사식 탐침현미경(atomic force microscope, AFM, Model ; Nanoscope IIIa)으로 관찰하였다.

2-5 코팅층의 기계적 특성

초경합금으로 만든 절삭공구로 인코넬 690 합금을 절삭실험을 하기 위하여 TiAlN으로 코팅 처리된 초경합금 공구를 만들었다. 이들을 KS B 5526의 측정방법에 준하여 경도계로 밀착력을 측정하여 코팅된 공구의 기계적 특성을 규명하였다. 이때 사용한 시험기는 록웰경도계(A scale)로 압입하중 589 N, 부하시간은 5초의 조건으로 5회 이상을 측정하여 최고 및 최저값을 제외한 평균값을 채택하였다.⁽⁵⁾

III. 실험결과 및 고찰

3-1. 코팅층의 결정구조 분석

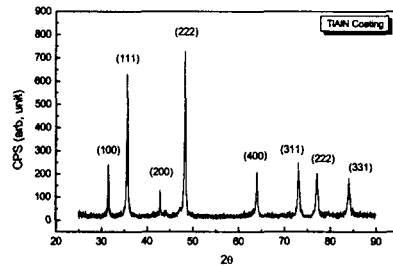


Fig. 3 XRD patterns of TiAlN deposited specimen

Fig.3의 결정구조 분석에서 $2\theta=48.42^{\circ}$ 에서 최고 회절강도의 (222) 회절, 35.70° 에서 두 번째 회절강도의 (111) 회절, 31.54° 에서 세 번째의 회절강도의 (100) 및 72.70° 에서 네 번째 회절강도의 (311), 64.20° 에서 다섯 번째 회절강도의 (400) 회절 피크를 보이는 것으로 보아 TiAlN이 적절하게 코팅되어 있음을 확인할 수 있다.

3-2. 코팅층의 파단면 및 표면관찰

코팅층의 성장단면 형상은 코팅된 절삭공구를 액체질소에 약 5분 정도 침전시킨 후 파단하여 파단면의 조직과 구조를 주사식 전자현미경으로 관찰하였다. Fig. 4는 코팅하지 않은 절삭공구이다. 한편 절삭공구의 타겟 위에 밀착된 TiAlN 코팅층의 조직 사진을 Fig. 5에 나타내었으며, 코팅층의 두께는 약 $7 \mu\text{m}$ 정도로 측정되

었다. 박막조성은 3-1절의 코팅층의 결정 구조 분석을 통하여 확인하였다.

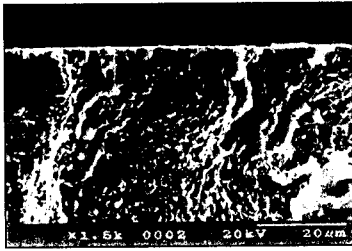


Fig. 4 SEM micrograph of the noncoated tool

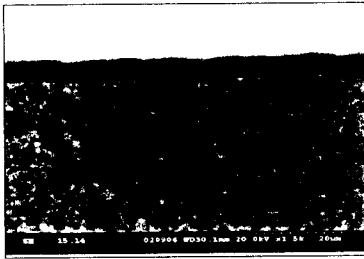


Fig. 5 SEM micrograph of the TiAlN coated tool

제작된 TiAlN 코팅층의 표면 미세구조 변화에 따른 3차원 이미지의 입자크기를 주사식 탐침현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 6에 각각 나타냈다. TiAlN의 표면에서는 Al 함량의 증가로 인하여 평활한 코팅층이 나타났다.

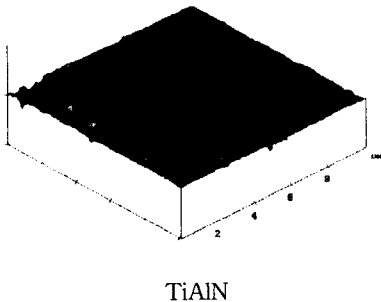


Fig. 6 Surface morphology of various coating film measured by AFM

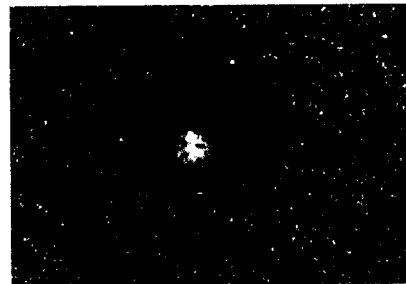
3-3. 코팅층의 경도 및 밀착력 측정

코팅층의 경화능은 일반적으로 압입하중, 코팅의 두께, 코팅층의 경도 및 모재 경도에 의존한다. 본 연구에서는 코팅하지 않은 초경합금 턱에 TiAlN 코팅 후 경도 및 밀착력 점검을 하였다. 코팅의 밀착력 시험은 산업현장에서 많이 이용하는 록크웰경도계를 활용하였다.

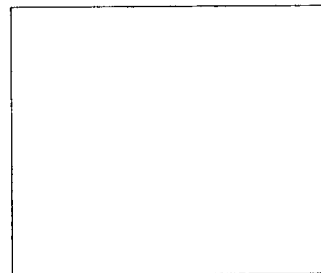
TiAlN 코팅은 록크웰경도계로 92.48의 경도값(H_{RC})을 나타냈다. 이는 모재의 경도 91.93에 비해 약 0.55 만큼 향상된 수치이고 모재에 비해 코팅층의 단단함, 모재와 코팅층 간의 우수한 밀착력에 기인한다.

Fig. 7 (a~b)에서 TiAlN의 경우 코팅층의 밀착력 측정은 A스케일로 압입하중 589 N에서 하였을 때 박리현상이 보이지 않는 양호한 밀착력 현상을 나타냈다.

동일 시험편으로 압입하중 981 N (B 스케일)으로 밀착력 측정을 하였을 때 박리현상이 (b)에서 나타났다. 이는 Al에 의해 비교적 경한 코팅층을 형성하기 때문이며, Al 첨가는 경한 코팅층의 결정립의 미세화 효과를 유발하여 경도가 증가된 것으로 사료된다.



(a) 589 N (A scale)



(b) 981 N (B scale)

Fig. 7 Indent formed on the film by hardness tester

IV. 결 론

물리적 진공증착법(PVD)으로 500°C 이하에서 기존의 절삭공구(WC)에 TiAlN의 코팅을 하여 절삭공구로서의 적용가능성을 확인하기 위하여 기계적 성질인, 강도 및 밀착력을 확인하였다. 또한 내마모성이 요구되는 각종 기계부품의 코팅에도 무한한 적용가능성이 있는 것으로 사료되며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 코팅하지 않은 기존의 절삭공구에 비교적 저온에서 실시한 물리적 진공증착법에서 코팅이 잘 형성됨을 확인할 수 있다.
- (2) TiAlN 박막에서 X-선 회절분석에서는 2 θ 가 2 θ =48.42°일 때 최고 회절강도의 (222) 회절이 나타났으며, 35.70°에서 두 번째 회절강도의 (111) 회절, 31.54°에서 세 번째의 회절강도의 (100) 회절이 나타났다.
- (3) 박막코팅 후 3차원의 표면형상을 보아 양호한 코팅이 가능하였다.
- (4) TiAlN 코팅층에서 박리현상이 없는 양호한 밀착력을 나타냈다.

참고문헌

- (1) R. C. Dewes, et al., "High Speed Machining of Hardened Steels using Coated Tungsten Carbide Ball Nose

End Mills", 2nd Int. Conference on High Speed Machining, pp. 165~174, 1999.

- (2) Hakanson, G., Huitman, L., Sundgren, J. E., Green, J. E. & Munz, W. D., "Microstructures of TiN Films Grown by Various Physical Vapour Deposition Techniques", Surface and Coatings Technology, Vol. 48, pp. 51~67, Oct. 1, 1991.
- (3) 이인우 외 2인, "TiN 박막성장거동에 미치는 증착온도의 영향" 한국열처리 공학회지 Vol. 6, No. 4, pp. 223~229, 1993.
- (4) 박상열, "TiN, TiCN 박막의 계면제어에 따른 조직 및 기계적 특성" 충북대학교 대학원, 석사학위논문, 1999.
- (5) 백창현 외 4인, "RF Plasma법으로 증착된 TiCN박막의 구조 및 기계적 거동에 관한 연구" 열처리공학회, 제13권, 제3호, pp. 91~97, 2000.
- (6) 황경충 외 1인, "물리 진공증착법으로 증착된 TiN/TiCN박막의 기계적 특성" 경일대학교 논문집, Vol. 4, No. 1, pp. 25~31, 2001.
- (7) D. N. Lee, "A Model for Development of Orientation of Vapour Deposits", Journal of Materials Science, Vol. 24, pp. 4375~4378, 1989.