

# 미세성형용 금형 Arc PVD 코팅의 밀착력 평가

이정민<sup>1</sup>, 고대철<sup>2</sup>, 김병민<sup>#</sup>

## Evaluation of Adhesion properties of Arc PVD coatings for Micro Forming Die

J. M. Lee, D. C. Ko, K. D. Lee

### Abstract

This paper was designed to assess the adhesive properties of hard coatings on non-nitrided and nitrided various tool steels. Estimations of adhesion were done to scratch test which is mainly used in hard coating. The critical load(Lc) between coating and substrate is defined through analysis of frictional load vs. normal load curve, signals of acoustic emission and optical observations. Coatings employed in this study are TiN, CrN and TiAlN, tools as substrates are STD11, STD61 and SKH51. It was classified to substrates with/without nitrided layer and hard coatings on substrate were deposited by arc PVD. Results showed that harder substrates and coatings give higher values of critical loads.

**Key Words** : Arc PVD coating(아크 PVD 코팅), Scratch test(스크래치 테스트), Nitride(질화처리), Tool steel(금형강)

### 1. 서론

현재 박막 코팅의 실질적인 적용에 있어서 가장 큰 문제점은 금형과 박막 사이 밀착력 문제이다. 특히 막의 박리는 금형 수명에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 박막의 밀착력 향상에 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 경질 박막은 높은 경도와 고온에서의 안정성, 내산화성 뿐만 아니라 모재와의 우수한 밀착력도 함께 요구된다.(1-4)

본 논문은 스크래치 시험을 이용하여 다양한 종류의 모재 재료와 박막 코팅의 밀착력을 평가하기 위해 고안되었다. 특히 중간 질화층을 형성시킨 다층 박막(Duplex coating)과 단층 박막(Single coating)의 밀착력 평가를 중점적으로 조사하였다.

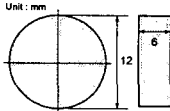
밀착력은 스크래치 시험을 이용하여 평가되었으며 시험 후, 스크래치 트랙의 광학현미경 관찰로써 모재 경도 변화에 따른 박막 코팅의 파괴 모드 특성을 평가하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 시편 준비 및 질화처리, 증착 실험

본 연구에서 박막의 모재로 사용되는 시편은 STD 11, STD61, SKH51 이며 각 시편은 Table 1 에서 나타낸 질화처리 조건을 이용하여 질화처리 하였다. 각 시편의 질화처리 전후 표면 경도값을 Table 2 에 나타내었다.

**Table 1 Dimensions of substrates and conditions of gas nitriding treatment**

	Ion nitriding	
	Temp.	500 °C
	Voltage	500V
	Gas ratio	N:H = 25L/hr : 25L
	Time	2hr

1. 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

2. 부산대학교 ILIC

# 교신저자: 부산대 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

**Table 2 Surface hardness(Hv=100gf) of substrates after and before gas nitriding treatment**

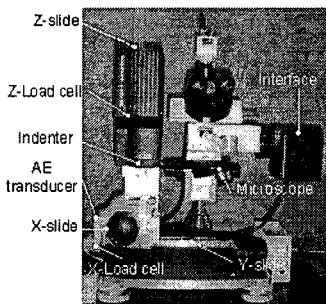
Hardness	SKD11	SKD61	SKH5
Before	720	560	780
After	880	860	950

박막은 금형 및 절삭공구에 가장 널리 이용되는 TiN 과 CrN, TiAlN 으로 선택하였으며 이는 아크 이온 증착법을 이용하여 박막을 생성하였다. Table 3 에 증착 조건을 나타내었다.

**Table 3 Deposition conditions of Arc PVD coatings**

Items	Values
Base power	150V
Target current	70A
Substrate temperature	400℃
N <sub>2</sub> gas	200 SCCM
Deposition time	3 hr

## 2.2 스크래치 시험(밀착력 평가)



**Fig. 1 The scratch test system**

밀착력은 CSEM 사의 스크래치 시험기를 이용하여 측정하였다. 이 시험기는 록크웰 C 다이아몬드 (반경:200 μm) 압입자를 사용한다. 일반적으로 박막의 밀착력은 박막이 파괴될 때의 임계하중으로 정의한다. 우선적으로 인출 하중 곡선의 변곡점을 기준으로 판단하며, 이후 박막이 파손될 때의 음향신호와 스크래치 트랙(Scratch track)의 광학현미경 관찰을 통해서 추가적으로 평가되었다. (1, 2) Fig. 1 은 박막의 밀착력 평가에 사용된 스크래치 시험기를 나타낸 것이다.

스크래치 트랙 관찰에서 박막의 파괴 특성은 Arai(3) 등과 Burnett(4) 등의 논문을 기초로 분류하였다. 조건은 하중인가속도를 100N/min, 스크래치 속도를 0.20 mm/s, 총 10 mm를 스크래치 하였다.

## 3. 실험 결과

Table 4 는 각 코팅의 비커스 경도 값을 나타낸 것이다. 결과는 질화층 위에 증착된 다층 박막은 단층 박막에 비해 높은 경도값을 나타냈는데, 이것은 중간층의 질화층이 박막에 가해진 압입자의 하중을 지지하는 역할을 하기 때문이다.(1)

**Table 4 Vickers hardness(100gf) of each coating on nitrided and untreated substrates**

		TiN	CrN	TiAlN
Coating thickness(μm)		2~3	5	3~4
STD11	Nitrided	1880	2027	2099
	Non-nitrided	1573	1575	1793
STD61	Nitrided	1994	1842	1985
	Non-nitrided	1600	1586	1695
SKH51	Nitrided	2589	2714	2758
	Non-nitrided	2041	2260	2318

Fig. 2(a)는 스크래치 시험의 결과로써 STD11 상의 TiN 코팅에 관한 스크래치 트랙과 인출하중 및 음향신호 곡선을 나타낸 것이다. 결과는 다층 박막(TiN + nitrided layer)이 82.2N 으로 단층 박막(TiN)의 77.9N 보다 높게 나타났다. 스크래치 트랙 내부 관찰에서 다층 박막의 경우, 트랙 내부에 인장 크랙(Tensile crack)이 발생한 반면에 단층 박막은 칩핑과 코팅 조각이 모재로 파고드는 칩핑 결함(Chipping failure)이 동시에 발생하였다.

Fig. 2(b)는 STD 11 상의 CrN 박막에 관한 나타낸 것이다. 시험 결과의 경향은 앞선 TiN 코팅 결과와 동일하였다. 트랙 관찰에서는 다층 및 단층 박막 모두 등각 균열(Conformal crack)과 칩핑 결함이 나타났다.(3, 4)

Fig. 2(c)는 STD 상의 TiAlN 박막에 관해 나타낸 것이다. 다층 박막(TiAlN + nitrided layer)이 82.8N 과 85.5N 이며 단층 박막(TiAlN)이 62.4 과 74.1N 으로 나타났다. 스크래치 트랙은 TiN 박막의 결과와 유사하게 나타났지만 상대적으로 트랙 경계부의 칩핑은 감소하였다.

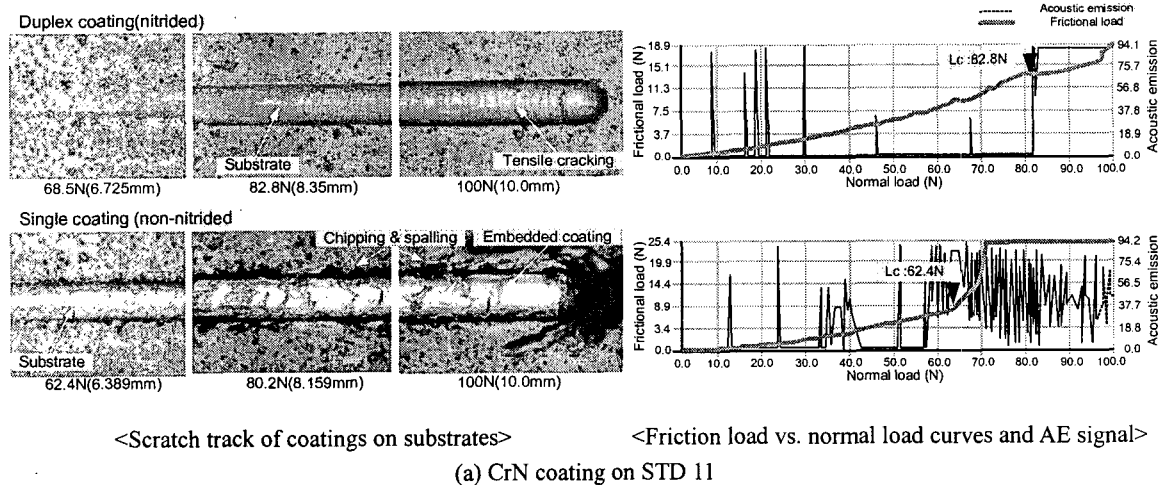
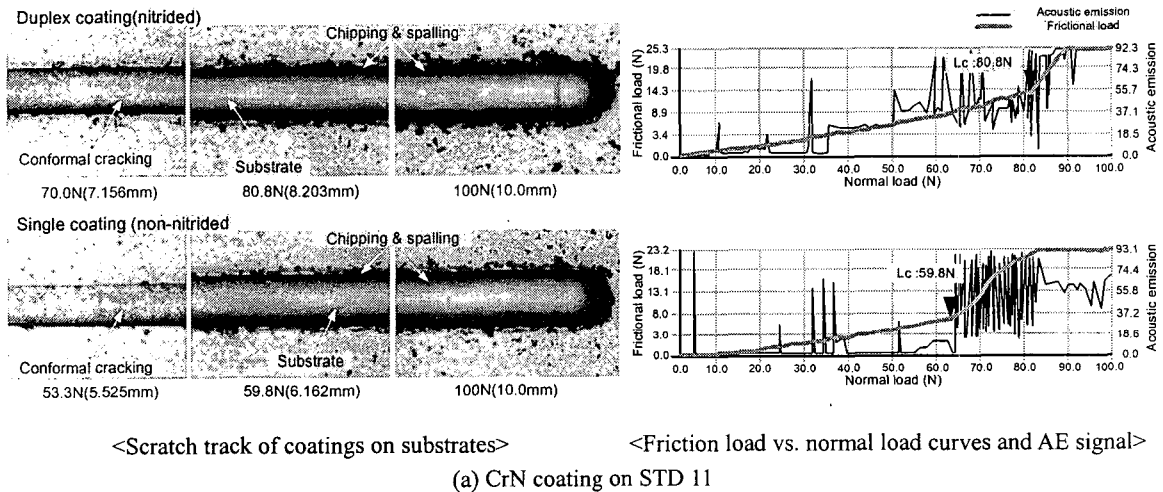
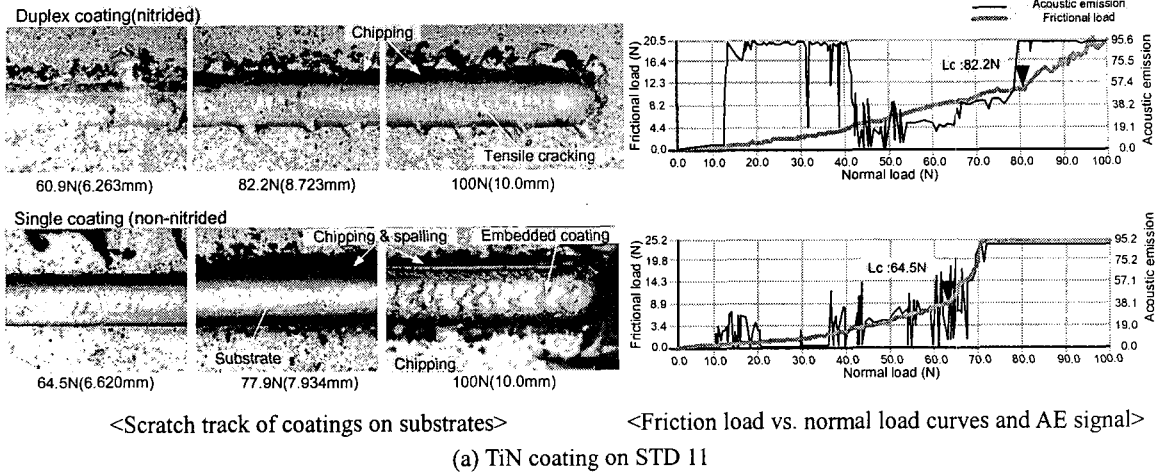


Fig. 2 Adhesive properties of each coating as results of scratch test

#### 4. 고찰

Fig. 3 은 모재 종류별 박막의 임계하중 값을 비교한 것이다. 임계하중은 질화처리한 다층박막이 단층 박막보다 높았다. 결론적으로 모재의 표면경도가 높고 박막의 경도가 높을수록 임계하중은 높게 나타남을 알 수 있었다.

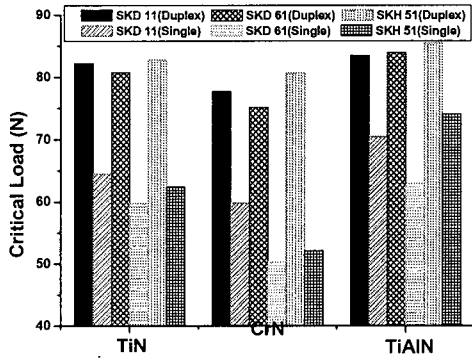


Fig. 3 Comparisons of critical load of each coating on substrates with/without nitrided layer

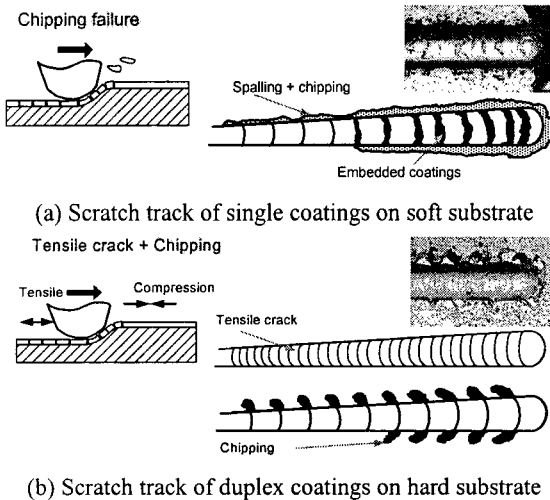


Fig. 4 Failure modes of each coatings in scratch test

Fig. 4 은 스크래치 트랙에 나타난 각 파괴 모드의 개략도를 나타낸 것이다.(3, 4) 질화층이 있는 다층 박막의 파괴 모드는 인장 균열과 함께 칩핑 결함 모드인 반면에 단층 박막은 박막 침투 결함

모드가 지배적이었다. 이것은 다층 박막의 경우 중간 질화층의 경도가 높기 때문에 박막의 탈착 후에 크랙의 양상이 질화층으로 전파되었다는 것을 의미한다. 즉 질화층이 경질 모재 역할을 하고 박막이 코팅층 역할을 함으로써 내하중성을 증가시키는 역할을 하는 것으로 판단된다.(3, 4)

이에 반해 상대적으로 연질의 모재층인 단층 박막은 박막 탈착이후 박막 조각이 모재를 파고드는 결함이 발생하였다. 일반적으로 연질 모재상에 경질 코팅은 표면의 플라우잉(Ploughing) 현상을 방지하고 마찰을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 이것은 작업물과의 마찰시 전단응력은 낮은 변형율을 가지는 박막 위에서 발생하고 하중은 경질박막이 지지하는 것을 의미한다.

#### 5. 결론

임계하중은 인출하중 곡선의 분석뿐만 아니라 파괴 음향신호 및 현미경 관찰의 포괄적인 관찰을 통해 평가되어야 한다. 또한 모재의 표면경도가 높고 박막의 경도가 높을수록 임계하중 값은 높아진다. 스크래치 트랙 관찰에서 다층 박막의 파괴 모드는 인장 균열인 반면 단층 박막은 코팅 조각이 모재를 파고드는 칩핑 결함이었다. 인출하중 곡선의 관찰에서는 연질 모재상의 경질 박막은 마찰을 감소시키고 외부하중을 지지하는 역할을 한다.

#### 참고 문헌

- [1] Beag, C. H., 2002, "Microstructure and mechanical properties of TiN-base thin films," Doctoral dissertation(Chungbuk univ.).
- [2] Shin, H. J., Won, J. Y. and Beag, C. H., 2002, "Change of preferred orientation in TiN thin films grown by ultrahigh vacuum reactive ion beam assisted deposition," Nuclear instruments and methods in physics research B, 190, pp. 802-812.
- [3] Arai, T., Fujita, H. and Watanabe, M., 1987, "Evaluation of adhesion strength of thin hard coatings," Thin solid films, 154-12, pp. 387-401.
- [4] Burnett, P. J. and Rickerby, D. S., 1987, "The mechanical properties of wear-resistant coatings : I: Modelling of hardness behavior," Thin solid films, 148-30, pp. 41-50.