

## 질화 티타늄이 코팅된 절삭공구의 수명에 영향을 미치는 인자

최병대, 김동수\*

산업과학기술연구소 표면처리팀, 이화여자대학교 환경공학과\*

## Parameters Affecting the TiN Coated Machining Tool's Life

Byeong Dae Choi and Dong Su Kim\*

Surface Treatment Team, RIST, Kyung Pook 790-330

\*Department of Environmental Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750

### Abstract

In this study, we examined the relationships between the coating film's properties, such as microhardness, adhesion of coating film/substrate, and machining tool's life time. Samples were prepared by coating TiN on the 5.5 diameter twist drills using reactive ion plating technology. For measuring microhardness and adhesion of film/substrate, HSS plate was used for substrate. TiN coated drill's life time was dependent on the adhesion of film/substrate and averagely increased by several ten times more than uncoated drill's. The major parameter affecting TiN coated drill's life time was the strong adhesion between coating film and substrate.

### 1. 서 론

코팅 기술이 개발된 이래로 공업용 공구나 요소 부품 등의 표면에 이들의 마모 입자보다 경도가 훨씬 높은 물질을 코팅하여 수명을 연장시키려는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 코팅 환경을 변화시키므로써 코팅물질의 화학양론, 결정학적 특성 및 조직 등의 변화를 유도하여 높은 경도를 가지면서 모재와 강한 결합력을 갖는 코팅 막을 얻으려는 연구가 활발히 진행되었다. 최근 들어서는 대표적 초경피막 재료인 TiN 에 Al, Zr, Hf, V 등 제3의 원소를 첨가한 새로운 피막물질에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 이와 병행하여 한 모재에 여러 층의 피막을 코팅하여 코팅 막의 기계적 성질

개선 여부에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.<sup>1-2)</sup> 한편, 일부 연구자들에 의해서는 코팅 환경인 플라즈마에 대한 깊이 있는 연구를 통하여 최적의 코팅조건을 설정하려는 연구도 시도되었다.<sup>3)</sup> 그러나 이러한 많은 연구에도 불구하고 초경피막 재료를 실제공업용 공구에 코팅하였을 때 공구의 절삭수명에 영향을 미칠 수 있는 초경피막의 기계적 특성과 공구의 절삭수명과의 상관 관계에 대한 연구는 체계적으로 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 초경피막 재료인 TiN을 가장 광범위하게 적용되고 있는<sup>4)</sup> 이온 플레이팅 기술로 절삭공구인 지름 5.5mm의 트위스트 드릴에 코팅하여 이의 절삭수명을 평가하였으며, 또한 TiN 초경피막의 기계적 특성과의 상관관계를 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한<sup>5)</sup> 이온 플레이팅 장치는 220° 회전전자빔 방식의 증발원을 채택하고 있는 ANELVA-VD43 EVAPORATOR를 기본으로 하였으며, 알곤 및 반응성 가스 양을 조절하기 위하여 전자식 자동 유량 조절계가 부착되었다. 또한 플라즈마 방전을 위한 보조 전극이 설치되었으며 균일한 피막을 얻기 위하여 지름 40mm, 60mm, 70mm의 3개의 스테인레스 베벨기어를 진공용기내에 설치하여 시편을 28rpm으로 회전되게 하였다. 시편의 가열을 위하여 지름 1mm의 가열용 텅스텐 선을 시편으로부터 1.5cm 거리에 위치시켜 시편의 온도가 320°C가 되게 하였다. 시편으로는 지름 5.5mm의 트위스트 드릴과 코팅 막의 기계적 성질을 평가하기 위하여 2×3cm<sup>2</sup> 크기의 고속도강판을 같이 장입하였다.

코팅전 시편의 표면 청정을 위하여 판재는 0.3μm의 산화 알루미늄 분말, 트위스트 드릴은 3μm의 산화 알루미늄 분말로 각각 기계적 연마를 하였다. 또한 아세톤과 알코올 속에서 차례로 각각 15분씩 초음파 세척을 실시한 후 150°C로 가열한 후 진공 용기에 장입 하였다. 표면 이물질 제거 및 표면 활성화를 위하여 1×10<sup>-5</sup> Torr 까지 진공배기 후 80mTorr 내외에서 알곤 스퍼터 클리닝을 실시하였다. 코팅은 스퍼터 클리닝이 끝난 후 순도 99.99%의 질소를 4.0(sccm), 순도 99.99%의 알곤을 3.3(sccm)으로 일정하게 유지한 후 순도 99.99%의 Ti를 증발시켰으며 기판 바이어스를 0-700 Volt 범위로, 보조전극의 전류밀도를 0-1.5 A 범위로 변화시키면서 TiN 을 약 2-3μm 두께로 코팅하였다.

코팅된 시편은 Rigaku 사의 X-RAY Diffractometer로 상을 확인하였으며, 마이크로 비커스 경도계로 코팅 막의 미소경도를 측정하였다.<sup>6)</sup> 이때 마이크로 비커스 경도계의 하중을 10gf로 하여 측정하였다. 코팅막과 모재간의 밀착성 평가 방법은

표준된 방법이 제시되어 있지 않으나 현재 널리 사용되고 있는 Scratch Tester를 사용하여 평가하였다. 장치는 CSEM의 SCRATCH TESTER 를 사용하였으며 이때 0.2mm의 다이아몬드 stylus tip을 사용하여 Scratch 진행중의 속도를 10mm/min, 하중을 100N/min으로 측정하였다.<sup>7)</sup> 한편, TiN 은 코팅된 트위스트 드릴의 절삭수명은 가장 손쉽게 측정할 수 있는 Screech Test 방법으로 평가하였다.<sup>8)</sup> 절삭수명 평가중 드릴의 회전수를 900rpm, 이송속도를 0.4mm/rev으로 두께 2cm의 AISI 4140 steel에 TiN 이 코팅되지 않은 드릴이 뚫은 구멍의 수에 대해 각 조건에서 TiN이 코팅 제조된 드릴이 뚫은 구멍의 수를 상대적으로 비교하여 평가하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3. 1. 코팅막의 미소경도

그림 1은 기판 바이어스 변화에 따른 미소경도의 변화 값을 보여주고 있다. 이미 보고된 바 있듯이<sup>10)</sup> 약 500V에서 최대의 경도값을 나타내고 있다. 그림 2는 보조전극의 전류밀도 변화에 따른 미소경도의 변화 값을 보이고 있는데 약 1.0A 에서

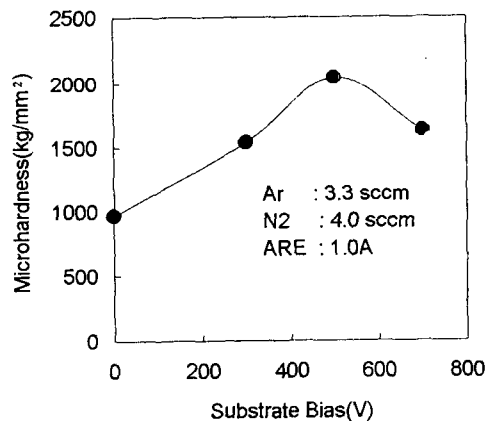


Fig 1. The change of microhardness depending on substrate bias.

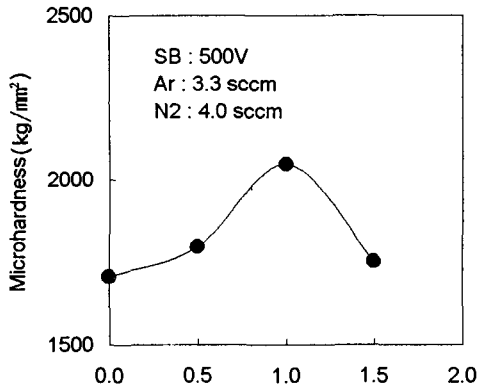


Fig. 2. The change of microhardness depending on ARE current.

코팅막의 경도가 최대 값을 보이고 있다. 이온 플레이팅의 장점은 높은 온도를 유지하여 TiN 과 같은 화합물의 반응을 유도하는 CVD 방법과는 달리 반응성 가스 및 증발물을 이온화시켜 낮은 온도에서도 화합물을 증착할 수 있다는데 있다. 보조전극의 전류밀도는 반응성 가스와 증발물의 이온화율과 크게 상관 관계를 가지며 전류밀도가 높을수록 반응성 가스 및 증발물의 이온화율이 높다. 이온화율이 높을수록 화합물 합성에 참여할 수 있는 반응성 가스 및 증발물의 분율이 높아지게 된다. 한편, TiN 증착시 일정 질소분압에서 이온화율의 변화는 TiN의 화학양론(stoichiometry)을 변화시킨다. TiN의 경우 화학양론에서 이탈되면 Ti-N의 결합에 참여하는 d-band 전자들의 페르미 준위가 변화하여 결합의 세기가 달라지게 되어 경도의 변화를 초래하게 된다.<sup>11)</sup> N의 함량이 많아지면 약 340kg/mm<sup>2</sup> 까지 경도가 낮아지고, N의 함량이 적은 경우는 화학양론적 TiN 보다 오히려 높은 경도 값을 나타낸 경우도 보고되었다.<sup>12)</sup> 한편 보조전극의 전류밀도 변화는 결정립 크기 변화에도 영향을 미친다는 사실이 보고되어 있는데<sup>13)</sup> 일정 기판 바이어스를 중심으로 바이어스가 낮은 쪽은 보조전극 전류밀도 증가가 결정립을 미세화 시키고 바이어스가 높은 경우는 결정립 조대화를 유발하는 것으로 보고되어 있다. 본 연구에서는 증착막의 경도에 영

향을 미치는 이와 같은 인자들이 보조전극의 전류 밀도 변화에 따라 변화하면서 1.0A에서 최적 값을 나타낸 것으로 판단된다.

### 3. 2. 코팅막의 밀착성

그림 3과 그림 4는 기판 바이어스 변화 및 플라즈마 방전을 위한 보조전극의 전류 밀도 변화에 따른 밀착성의 변화를 평가한 그림이다. 기판 바이어스와 보조전극의 전류밀도 증가에 따라서 밀착성도 각각 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

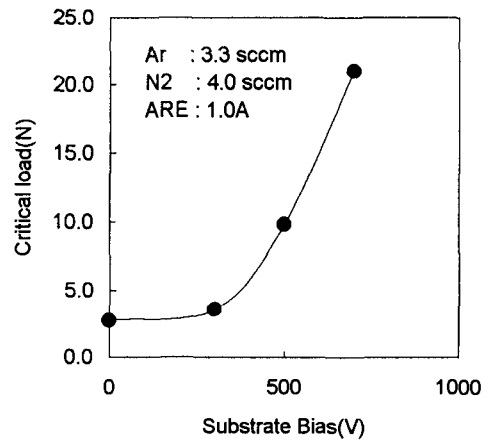


Fig. 3. The change of critical load depending on substrate bias.

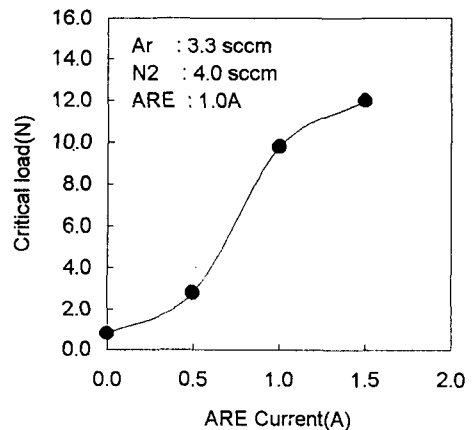


Fig. 4. The relationship between ARE current and critical load.

일반적으로 기판으로 입사하는 입자들의 유속이 클수록 이온 충돌 효과의 증대로 증착막의 조직이 치밀해지고, 증착막과 모재간의 혼합 계면층은 넓어지게 되어 밀착성이 증가하게 된다. 따라서 바이어스의 증가에 따른 밀착성의 증가는 기판 바이어스에 의해 이온화된 입자들의 유속이 증가되어 이온 충돌 효과가 증대된 결과로 판단되며, 보조전극의 전류 밀도 증가에 따른 밀착성의 증가는 보조전극의 전류밀도가 증가할수록 이온화된 입자의 수가 증가하므로 기판에 입사하는 높은 유속의 입자들이 많아지므로 역시 이온 충돌 효과의 증대로 증착막과 모재간의 계면조직이 치밀화되었기 때문으로 해석된다.<sup>14)</sup>

3. 3. 절삭수명과 코팅 막의 특성

그림 5는 코팅되지 않은 드릴이 뚫은 구멍의 수를 1로 하였을 때 TiN이 코팅된 드릴의 상대적 수명을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 TiN이 코팅된 드릴의 절삭수명은 TiN이 코팅되지 않은 드릴에 비해 100% 미만에서 약 1700% 까지 증가하였다. 한편, TiN 코팅막의 미소경도와 밀착성 변화가 TiN 코팅드릴의 절삭수명에 미치는 영향을 조사하기 위하여 코팅 막의 미소경도 및 밀

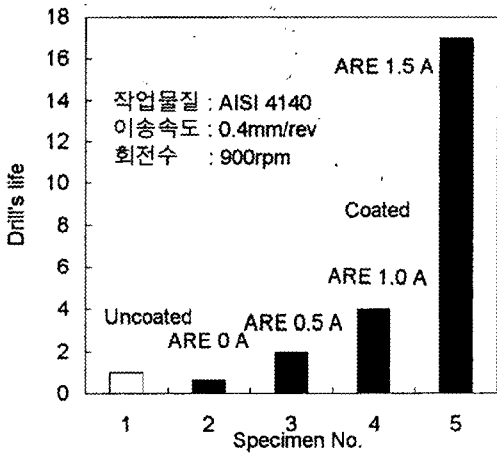


Fig. 5. Life of TiN coated & uncoated drills. (Ar : 3.3(sccm), N2 : 4.0(sccm))

착성과 코팅드릴의 절삭수명과 상관 관계를 조사하였다. 그림 6과 그림 7은 각각 TiN 코팅막의 미소경도 및 밀착성 변화에 따른 드릴의 절삭수명 변화를 평가한 그림이다. 또한, 그림 8은 코팅드릴과 코팅되지 않은 드릴의 수명평가 후 마모 상태를 보여주고 있다. TiN 코팅 드릴의 절삭수명 증가는 드릴의 주 마모입자인 Fe<sub>3</sub>C 보다 표면에 코팅된 TiN의 경도가 훨씬 높기 때문에 TiN 코팅막이 Fe<sub>3</sub>C로부터 드릴을 보호하여 드릴의 수명을 현저히 증

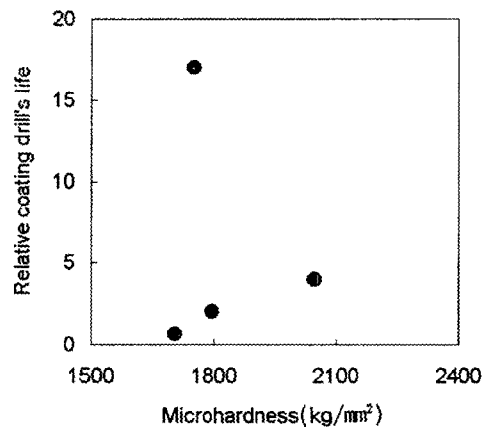


Fig. 6. The relationship between coating drill's relative life and microhardness. (uncoated drill's life equals to 1)

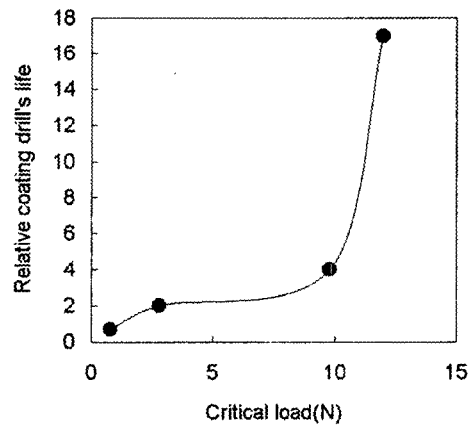


Fig. 7. The change of coating drill's relative life depending on adhesion. (uncoated drill's life equals to 1)

- a) TiN coating drill
- b) Uncoating drill

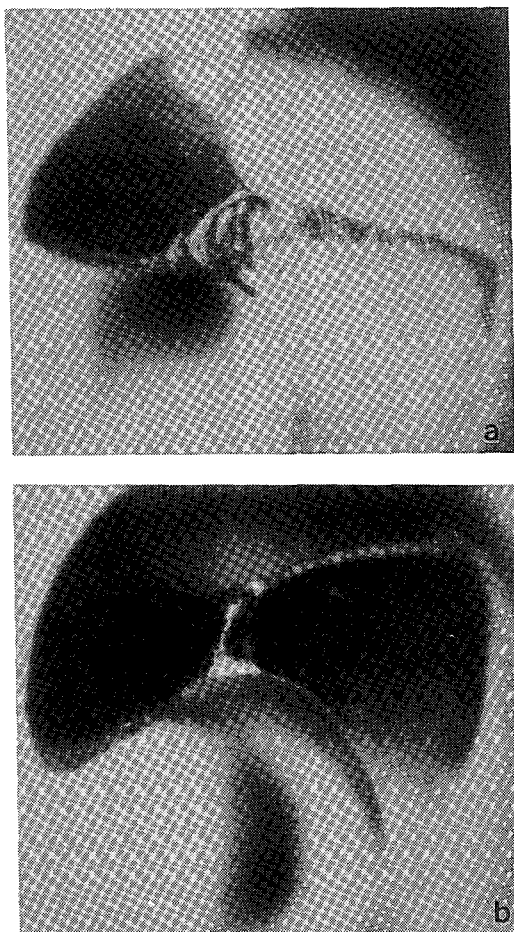


Fig. 8. Worn TiN coated and uncoated drill after machining test, by optical.

가시킬 수가 있다.<sup>15)</sup> 본 연구에서 측정된 TiN 코팅막의 미소경도는 모두가 1700-2000kg/mm<sup>2</sup> 이상으로 Fe<sub>3</sub>C의 경도보다 훨씬 높은 경도값을 나타내고 있으며, 경도 비교만으로 본다면 미소경도가 증가함에 따라 절삭수명의 증가 경향이 예상된다. 그러나 그림 6에서 보면 미소경도 변화에 따른 절삭수명 변화의 경향성은 뚜렷이 나타나지 않고 있다. 한편, 그림 8에서 보면 코팅드릴의 마모가 코팅되지 않은 드릴의 마모 보다 훨씬 심함을 볼 수 있다. 그림 8의 마모상태를 근거로 보면 TiN 코팅드릴의 경우는 절삭작업이 진행될수록 Fe<sub>3</sub>C보다 훨씬 경도가 높은 TiN 조각이 모재로부터 박리 되

며, 이 박리된 TiN에 의해 드릴이 마모되기 때문에 코팅되지 않은 드릴보다 심하게 마모된 결과가 초래된 것으로 판단된다. 또한 이로부터 코팅드릴의 경우 Fe<sub>3</sub>C뿐만 아니라 모재로부터 박리된 TiN 입자도 드릴의 마모 입자로 작용한다고 판단할 수 있다. 그림 7에서 밀착성 증가에 따른 절삭수명의 증가현상을 뚜렷이 볼 수 있는데, 이는 밀착성이 우수할수록 TiN 입자가 박리될 때까지의 시간중대 및 이에 따른 TiN 표면층의 마모방지 시간중대 때문으로 해석된다. 이와 같은 결과들을 종합하여 본다면 초경피막 TiN 이 코팅된 드릴의 주 마모입자는 Fe<sub>3</sub>C와 모재로부터 박리된 TiN 입자임을 알 수 있으며, 절삭수명의 향상에 영향을 미치는 주 인자는 코팅 막과 모재간의 강한 밀착성임을 판단할 수 있다. 이러한 근거로 그림 6의 미소경도 증가에 따른 절삭수명 증가 경향이 뚜렷이 나타나지 않는 현상과 그림 7에서 코팅드릴의 절삭수명이 코팅되지 않은 드릴의 절삭수명에 비해 약 70%를 나타낸 경우, 즉 TiN 코팅드릴이 코팅되지 않은 드릴보다 수명이 감소한 현상에 대한 설명이 가능할 것이다. 즉 앞에서 언급되었듯이 밀착성이 좋지 않은 경우는 코팅 막의 경도가 높더라도 TiN 코팅막이 드릴마모 방지 역할을 하지 못하고 작업초기에 많은 양이 드릴 표면으로부터 박리되어 드릴의 마모입자 역할을 하여 절삭수명이 감소한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

이상의 실험결과를 종합하여 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1) 이온 플레이팅 기술로 내 마모성 보호 피막 TiN을 공구강에 증착할 경우 일정 기판 바이어스에서 미소경도가 가장 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한, 플라스마 방전을 위한 보조전극의 전류밀도 변화는 피막의 화학양론 및 결정립의 크기 등에 영향을 미쳐 일정 반응성 가스의 유량,

즉 질소 4.0(sccm)에서 1.0A일 때 최대의 경도값을 나타내게 하였다.

2) TiN 코팅드릴과 코팅되지 않은 드릴의 작업 후의 마모상태 관찰로부터 코팅드릴의 주 마모입자는 Fe<sub>3</sub>C 와 모재로부터 박리된 TiN 입자임을 추정할 수 있었다.

3) TiN 코팅 막과 모재간의 밀착성 변화에 따른 절삭수명 변화를 평가한 결과 밀착성이 강한 드릴일수록 현저한 절삭수명의 증가를 보였다. 밀착성 정도에 따라서 절삭수명이 코팅되지 않은 드릴에 비해 약 70%에서 1700% 까지 증가하였다. 따라서 TiN 이 코팅된 드릴의 절삭수명 증가에 영향을 미치는 주 인자는 기판과 모재간의 강한 밀착성임을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. T. S. Surarshan : Surface Modification Technologies, Marcel Dekker, Inc., New York (1989)
2. 최장현 : 부산대학교 박사학위논문 (1993)
3. 주정훈 : 서울대학교 박사학위논문 (1990)
4. D. M. Mattox : Appl. Surf. Sci., 48/49 (1991) 540
5. 최병대 : 서울대학교 석사학위논문 (1990)
6. M. T. Laugier : J. Vac. Sci. Technol., A5 (1987) 67
7. 예길춘, 신현준, 권식철, 백운승 : 표면공학회지, 26 (1993) 317
8. A. Thomas and P. Thomas : 6th International Conference on Ion & Plasma Assisted Techniques (1987)
9. R. F. Bunshsh : Physical vapor deposition of metals, alloys and ceramics, New Trend in Material Processing, American Society of Metals (1974)
10. 전중환 : 서울대학교 박사학위논문 (1988)
11. K. Nakamura, K. Inagawa, K. Tsuruoka, and S. Komiya : Thin Solid Films, 40 (1977) 155
12. J. Chevallier and J. P. Charbert : Thin Solid Films, 80 (1981) 263
13. K. T. Hyun, J. H. Joo, and B. H. Hahn : Surf. Coat. Technol., 39 (1989) 409
14. H. Holleck : J. Vac. Sci. Technol., A4 (1986) 2661
15. B. M. Kramer and P. K. Judd : J. Vac. Sci. Technol., A3 (1985) 2439