

## 아크이온플레이팅에 의한 Ti-Al-N코팅 엔드밀의 성능 평가

### Performance Evaluation of Ti-Al-N coated Endmill by Arc Ion Plating

이상용\*(부산대 대학원), 강명창, 김정석(부산대 ERC/NSDM),

김광호(부산대 무기재료공학과)

S. Y. Lee(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),

M. C. Kang, J. S. Kim(ERC/NSDM Pusan Nat'l Univ.),

K. H. Kim(Department of Materials Science and Engineering Pusan Nat'l Univ. )

#### ABSTRACT

The technique of high speed machining is widely studied in machining field. In this study, TiAlN single-layered and TiAlN/TiN double-layered coatings were applied to end-mill by an arc ion plating technique. Their performances were comparatively studied about cutting force, tool wear, tool life and surface roughness of workpiece under high speed cutting conditions. The TiAlN single-layer coated tool showed higher wear-resistance due to its higher hardness, while the TiAlN/TiN double-layer coated tool showed better performance for high metal removal, i.e., high feed per tooth condition due to its higher toughness. The surface roughness of the workpiece was not influenced by the wear amount of coated tools.

Keyword : Cutting Force(절삭력), AIP(Arc Ion Plating : 아크이온플레이팅), High Speed Machining(고속가공), TiAlN Single-layer(단층), TiAlN/TiN Double-layer(다층)

#### 1. 서론

기계부품 및 금형 등의 제작에 있어서 생산

성 향상, 원가 절감 등의 요구조건을 만족시키기 위하여 고속가공기술을 적용되게 되면 절삭시 낮은 전단력과 고속 이송속도로 고경도·고능률 가공이 가능하게 되고, 절삭열이 칩으로 배출됨으로써 냉각효과 및 가공물 변형방지등의 효과를 얻을 수 있으리라 기대된다.<sup>[1]</sup> 절삭공구에 TiC, TiN, TiAlN등과 같은 경질로 코팅을 함에 따라, SKD11종과 같은 고경도 재료의 가공에서 공구에 끼치는 손상이 새로운 논쟁이 되고 있다.<sup>[2,3]</sup> TiN이 우수한 기계적 특성을 가지고 있지만, 그것은 화학적 불안정 때문에 고온에서 사용할 수 없다.<sup>[4]</sup> 그래서 TiN보다 성능이 뛰어난 TiAlN은 높은 온도에서 화학적 안정을 보이고, 경도치가 높으므로 TiAlN 코팅층의 다양한 종류가 개발·연구되고 있다.<sup>[5]</sup> 본 논문에서는 고속가공시 고주파의 절삭력을 획득할 수 있도록 제작된 3축공구 동력계를<sup>[6]</sup> 사용하여 고속가공기의 테이블위에서 절삭력과 공구마멸, 표면조도를 동시에 측정할 수 있는 통합평가시스템을 구성하여 무코팅공구, TiAlN 단층, 다층 코팅의 경도와 인성의 성능을 고속절삭조건에서 비교 평가하였다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2.1 실험개요

텅스텐카바이드-코발트(WC-Co)재종의 엔드밀에 TiAlN코팅은 국내 코팅회사로부터 아크이온플레이팅방법으로 코팅하였다. 그리고, TiAlN 코팅 엔드밀의 경도를 측정하기 위하여 미세누프

경도계를 사용하였고, 하중 25g으로 측정하였다. 코팅층의 용착력은 스크래치시험기로 측정하였다.

절삭시험은 고속머시닝센터로 건식에서 실험하였다. Table 1은 가공성 평가를 위한 장비의 사양이다. Fig. 1은 절삭력, 공구마멸, 표면조도를 동시에 측정할 수 있는 절삭성능 평가 실험장치도이다. Table 2는 고속가공 절삭조건이다. 일정 절삭거리에서 공구의 절삭력, 여유면 마멸, 표면조도를 측정하였다. 여기서, 절삭력은 고주파수 영역에서 안정된 응답특성을 갖도록 개발된 고속가공용 공구동력계로 신호를 획득하였다. 여유면 마멸은 주축에서 공구홀더(Tool Holder)를 분리할 때 발생할 수 있는 런아웃등의 오차를 방지하고, 위치 정밀도를 유지하기 위하여 CCD카메라를 테이블위에 고정하여 실험하였다. 표면조도는 축침식 표면조도계로 측정하였다. 실험에 사용된 피삭재는 고경도재인 STD11(H<sub>RC</sub>62)이다.

Table 1 Instruments & specifications

Machining Center	MAKINO V-55(Max 20,000 rpm)
Dynamometer	3 Axis, Freq. range : 5~10kHz
Oscilloscope	4Ch, Max Sampling: 400kHz
CCD Camera	PULNIX(×200)
Surface Tester	Stylus type(Mitutoyo)
Knoop Micro-Hardness	Matsuzawa, MMT-7
Scratch Tester	CSEM REVETEST

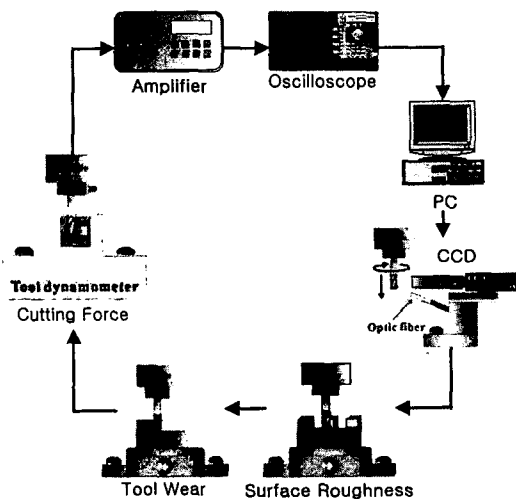


Fig. 1 Experimental setup

Table 2 Cutting conditions

Spindle Revolution [rpm]	8,000, 12,000
Feed per tooth [mm/tooth]	0.05, 0.07
Radial depth of cut [mm]	0.06
Axial depth of cut [mm]	10
Workpiece	STD11 (H <sub>RC</sub> 62)
Tools	Uncoated, TiAlN Single Layer, TiAlN/TiN Double layer
Cutting Fluid	Dry

Table 3 Tool Specification

Diameter [mm]	10	
Length [mm]	70	
Helix angle [deg]	30 °	
Rake angle [deg]	-12 °	
Relief angle [deg]	6 °	
Material	Micro Grain Cemented Carbide	
Physical data	H <sub>RA</sub>	92.8
	T.R.S	>4,000 (N/mm <sup>2</sup> )

Table 3은 공구의 형상과 재질의 특성을 나타내고 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 TiAlN 코팅의 특성

Fig. 2는 미세누프경도계로 측정한 무코팅, TiAlN 단층, TiAlN다층의 경도를 보여주고 있다. 일반적으로, 코팅층수가 많을수록 경도는 증가하나, TiAlN 단층이 TiAlN다층에 비해서 약 300kg/mm<sup>2</sup> 정도 크다.

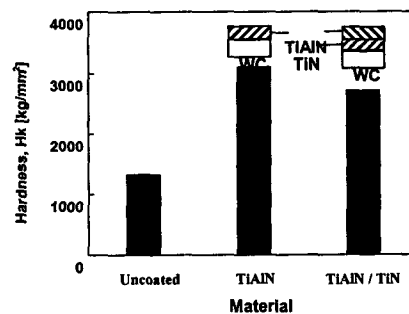


Fig. 2 Comparison of microhardness values for uncoated (substrate), TiAlN coated, and TiAlN/TiN coated layers

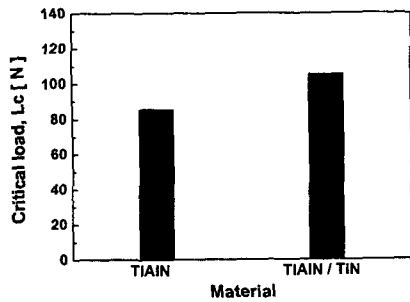


Fig. 3 TiAlN single layer and TiAlN/TiN double layer coatings by scratch test, and their critical loads

Fig. 3은 코팅층의 스크래치테스트 결과이다. 스크래치테스트에서 임계하중의 범위가 90~110N으로 코팅과 재질간의 응착력이 높고, TiAlN 단층~90N, TiAlN/TiN 다층~105N이다. TiAlN 다층은 재질과 TiAlN 사이에 TiN을 삽입함으로써 TiAlN 단층보다 응착력이 큰 것으로 사료된다.<sup>[7]</sup>

### 3.2 절삭공구의 성능평가

Fig. 4는 절삭조건 12000rpm, 0.05 mm/tooth에서 TiAlN 코팅공구의 이송, 반경, 축방향 절삭력 파형이다. 반경방향 절삭력이 절삭력 거동을 나타내기 위해 적당하므로 반경방향 절삭력만 고려한다.

Fig. 5는 주축회전수를 변화할 때 절삭거리에 따른 절삭력경향을 보여주고 있다. TiAlN 단층이 정도값이 크기 때문에 TiAlN 다층에 비해

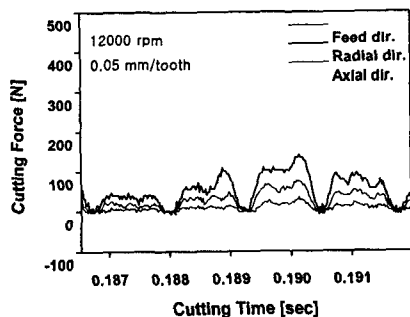


Fig. 4 Typical waveform of cutting force signal

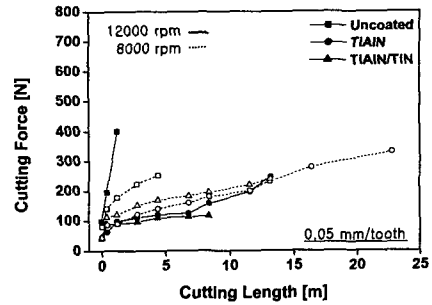


Fig. 5 Cutting forces according to cutting length at two different spindle speed

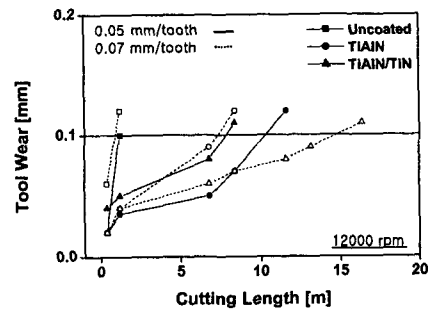


Fig. 6 Tool wear according to cutting length at two different feed per tooth

서 내마멸저항이 크므로 절삭력은 경향은 비슷하나 절삭거리는 길다. 무코팅 공구는 TiAlN 코팅에 비해 절삭력의 급격한 증가로 절삭거리가 감소했다. 이것은 Fig. 2에서 코팅과 무코팅의 정도차가 그 원인이라 사료된다.

Fig. 6은 날당이송을 변화시켰을 때 절삭거리에 따른 마멸곡선을 나타내고 있다. Fig. 6은 세 공구의 여유면 마멸을 보여주고 있고, 공구마멸 기준은 0.1mm로 하였다. 날당이송 증가는 이송속도를 증가시키므로 절삭력이 증가하고, 공구수명이 감소한다. 그러나 TiAlN 다층은 날당이송 증가시 오히려 공구수명이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 단층에 비해 응착력이 크기 때문이라 사료된다. 무코팅 공구는 TiAlN 코팅공구에 비해 공구수명에 많은 차를 보이나, 이송 증가시 수명이 감소한다. Fig. 7은 날당 이송 변화 시 절삭거리에 따른 공구수명을 나타내고 있다. 무코팅 공구는 날당 이송증

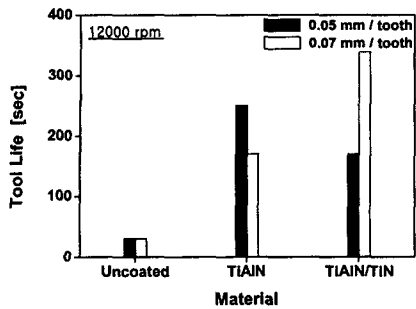


Fig. 7 Tool life according to cutting length at two different feed per tooth

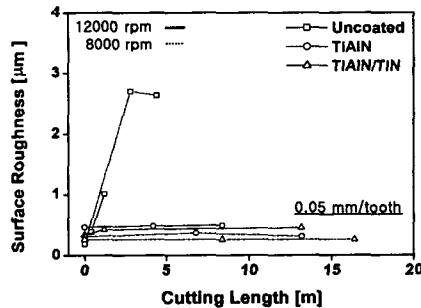


Fig. 8 Surface roughness according to cutting length at two different spindle speeds

가시 거의 변화가 없지만, TiAlN다층은 날당이송 증가시 TiAlN 단층보다 공구수명이 크다. 경도에 의한 공구수명의 증가보다는 응착력에 의한 공구수명의 증가치가 더 크다.

Fig. 8은 절삭거리에 따른 피삭재의 표면조도를 보여주고 있다. 먼저, 무코팅 공구는 회전수 변화에 따라 코팅공구에 비해서 표면조도 수치가 현격하게 차이가 났다. 무코팅 공구는 코팅공구에 비해서 경도와 내마멸성이 낮기 때문에, 급격한 마멸과 과도한 칩핑(Chipping)이 원인이라 사료된다. 이에 반해 코팅공구는 회전수 가변시 공구마멸 증가에 따라 표면조도는 거의 영향을 받지 않았고, 날당이송이 0.07mm/tooth일 때도 비슷한 경향을 볼 수 있었다.

#### 4. 결론

WC-Co 재종의 엔드밀에 AIP 방법으로

TiAlN 단층과 다층 코팅을 하였다. 고속절삭조건에 따른 공구의 성능은 절삭력, 공구마멸, 공구수명, 표면조도로 비교 평가하였다.

1. 고속가공에서 TiAlN 코팅층은 공구수명과 성능이 크게 증가됨을 알 수 있다.
2. TiAlN 단층코팅 공구는 TiAlN 다층코팅 공구와 비교시 고경도로 인한 내마멸성이 높다.
3. TiAlN 다층코팅 공구는 TiAlN 단층코팅공구보다 인성이 높기 때문에, 고이송에서 공구수명이 향상되었다.
4. 코팅공구는 균일한 마멸 진행으로 표면조도 또한 일정한 경향을 나타낸다.

#### 후기

본 연구는 정밀정형 및 금형가공연구소, 국가지정연구실 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] 김정석, 강명창, 박상봉, 이형국, "고속가공기술의 노하우(20)", 금형저널, 2001년 2월호
- [2] H. Schulz, *Annals of CIRP* 44 (1995) 35.
- [3] T. Moriwaki, *Mechanical Engineering* 40 (1992) 42.
- [4] S. Wilson, A.T. Alpas, *Wear* 245 (2000) 223.
- [5] Chung Wan Kim, Kwang Ho Kim, *Thin Solid Films* 307 (1997) 113.
- [6] M. C. Kang, D. W. Lee, J. S. Kim, *International Conference of ICPE 98* (1998) 262
- [7] K. Kawata, H. Sugimura, O. Takai, *Thin Solid Films* 386 (2001) 271