

# TiAlN 코팅공구를 사용한 Ti-6Al-4V 티타늄합금의 절삭특성에 관한 연구

이승철\*, 박종남+, 조규재\*\*,

## A Study on the Cutting Characteristics in the Machining of Ti-6Al-4V Alloy using TiAlN Coated Tool

Seung-chul Lee\*, Jong-Nam Park+, Gyu-Jae Cho\*\*

### Abstract

The Titanium has many superior characteristics Which are specific strength, heat resistance, corrosion resistance, organism compatibility, non-magnetic and etc. and their quantity are abundant.this study performed turning operation of Ti-6Al-4V alloy using the TiAlN Coate Tool which treated PVD (Physical Vapor Deposition). Experimental works are also executed to measure cutting force, chip figuration and surface roughness for different cutting conditions.

As a result of study. Tool wear was serious at over 100m/min of cutting speed and cutting condition was excellent at 1.0mm of cutting depth.

**Key Words :** Physical Vapor Deposition(물리증착), Specific Strength(비강도), Heat Resistance(내열성), Corrosion Resistance(내식성)  
Cutting Force(절삭력), Chip Figuration(칩 형태)

### 1. 서론

티타늄 합금은 강에 비해 상대적으로 가벼운 무게를 가지며 비중이 Steel의 절반 정도 밖에 되지 않아서 티타늄으로 만들어진 제품은 Steel로 된 제품에 비해 무게가 반 정도밖에 되지 않지만

강도는 Steel 보다 높고 탄성은 Steel의 2배정도이며, 강한 열 저항 등의 독특한 특성으로 인해 항공기, 방위산업 부품, 엔진, 터빈, 자동차부품 및 일반 상업용품에 이르기까지 사용범위가 점점 많아지고 있다<sup>(1-2)}</sup>.

티타늄 원소는 18세기에 발견되었으며 금속

\* 주저자, 조선대학교 대학원 기계공학과 (cjf9400@hanmail.net)

주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

+ 조선대 대학원 기계공학과

++ 조선대 기계공학과

원소로 취급되기 시작한 것은 1910년 Hunter 가  $TiCl_4$ 를 Na 으로 환원시켜 금속 티타늄을 추출하면서부터였으며 Shaw<sup>(3)</sup>등에 의하여 1950년대 전반부터 티타늄합금의 기계가공에 대한 연구가 수행되었으며, Zlatin<sup>(4)</sup>등에 의하여 티타늄 합금의 기계적 성질과 가공성에 대하여 연구 하였다. Komanduri<sup>(5)</sup>는 난삭재인 티타늄 합금의 가공에 있어서의 칩 형성과정 메커니즘에 대하여 연구하였다. Mcquillan<sup>(6)</sup>등은 티타늄 합금의 선삭, 연삭, 드릴링 등 기계가공에 있어서 공구의 절삭성능에 대하여 1956년에 연구 수행하였다. Bhaumik<sup>(7)</sup>등은 wBN- cBN, PCB, PCBN 등의 공구를 통하여 선삭가공시 티타늄 합금의 공구마멸특성을 연구하였고 Zlatin<sup>(8)</sup>는 티타늄 합금의 열전도율이 매우 낮은 특징과 관련하여 선삭시 공구-칩간의 인터페이스 온도분포에 대하여 1982년에 연구 하였다.

Elgomayel<sup>(9)</sup>등은 CVD 증착법을 이용하여 초경공구에  $5\mu m$  Ti코팅하여 티타늄 합금 가공에 있어서 코팅공구의 절삭특성에 관하여 연구하였다.

한편 Yibase<sup>(10)</sup>등에 의해서 발표된 새로운 물리적 증기 침전(PVD : physical vapor deposition) 코팅기술은 하층에 더 나은 코팅 응착을 가지게 하고 공구 수명을 증가시키며 전체적으로 공구성능을 향상시킴을 알게 되었다.

따라서 본 연구에서는 PVD코팅 기술을 적용한 TiAlN 코팅공구를 이용하여 Ti-6Al-4V합금의 절삭실험을 통하여 절삭조건들에 따른 절삭력과 표면조를 측정하고 배출된 칩 형상을 분석하였다.

## 2. 실험 및 분석 방법

### 2.1 실험장치

절삭실험은 CNC선반을 사용하였고 피삭재의 뒹과 진동을 최소화하기 위하여 심압대를 사용하였다. 공구동력계는 Turret 공구대에 지그를 장착한후 지그에 설치하였으며 선삭 가공시 "Alpha Case"라 불리는 단단한 피막을 제거하기 위하여 기초 작업을 실시한후 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 실험장치는 Photo. 1 과 같으며 실험 기기 및 사양은 Table 1과 같다.

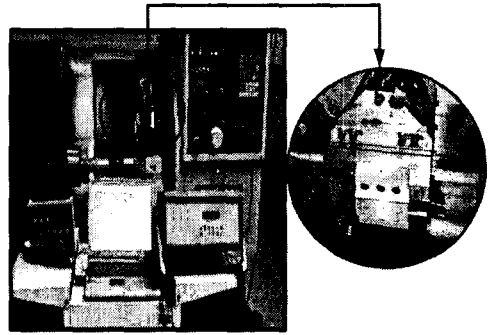


Photo. 1 Experimental Set-up

Table 1 Specifications of experimental apparatus

Apparatus Name	Manufacturer	Model
Lathe	Hwa Cheon	Hi-ECO 10E
Multichannel Charge Amplifier	Kistler	Type 5019b130
Tool Dynamometer	Kistler	Type 9253b
A/D Converter	National Instrument	DAQ-6024Q
Tool Holder	Taegu Tec	PCLNR 2525-12
Insert Type	Taegu Tec	CNMG 120408

### 2.2 피삭재 및 절삭공구

본 실험에 사용한 재료는 Ti-6Al-4V합금을 선택하였으며 피삭재 가공에 사용된 절삭공구는 딥플형 칩포머(dimble type chip former)가 형성되어 있는 인서트 팁(CNMG 120408)의 공구를 사용하였고, 공구홀더(tool holder)로는 PCLNR 2525-12를 사용하였다.

본 실험에 사용한 Ti-6Al-4V합금 시험편의 화학적 성분 및 기계적 성질을 Table 2 및 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Chemical compositions of Ti-6Al-4V

Elements	Ti	Al	V	Fe	O <sub>2</sub>	C	N <sub>2</sub>	H	Y
wt(%)	89.13	6.24	1.9	0.2	0.17	0.027	0.023	0.016	0.001

**Table 3 Mechanical properties of Ti-6Al-4V**

Direction	UTS (×103 psi)	0.2%YS (×103 psi)	EL (%)	RA (%)	H <sub>RC</sub>
Longitudinal	146.8	135.7	20.8	42.3	36
Transverse	144.7	134.5	21.7	46.4	

**2.3 Ti-6Al-4V합금의 절삭조건**

절삭실험은 CNC 선반을 이용하였고 절삭속도 (V)는 30~110m/min의 9단계, 회전당 이송속도 (F)는 0.1~0.3mm/rev의 5단계, 절삭 깊이(D)는 0.5~2.5mm의 5단계의 조건으로 건식 절삭을 하였으며, 실험에 사용된 CNC선반의 절삭조건을 Table 4에 나타내었다.

**Table 4 Cutting conditions**

Process parameter	Condition
Cutting speed (m/min)	30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110
Feed rate (mm/rev)	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3
Depth of cut (mm)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5
Nose radius	0.8(mm)
Cutting Circumstance	Dry Cutting

**2.4 실험방법**

본 연구에서는 Ti-6Al-4V합금을 국내 H사에서 제조한 CNC선반을 이용하여 Table. 4에 언급한 절삭조건과 같이 각 절삭속도에 따라 일정한 절삭깊이로 가공하면서 이송량을 변화를 주는 방식으로 하였다. 공구동력계를 활용하여 절삭력을 측정하고 피가공된 절삭면의 표면조도를 측정하였으며, 절삭이 끝난후에 얻어진 칩들의 형상을 절삭특성에 따라 비교 분석하였다.

**3. 실험결과 및 고찰**

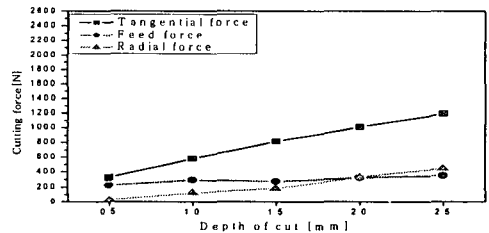
**3.1 절삭특성**

절삭력의 크기는 모든 조건에서 주분력이 가장 크고 이송분력과 배분력은 큰 차이가 있었다. 이

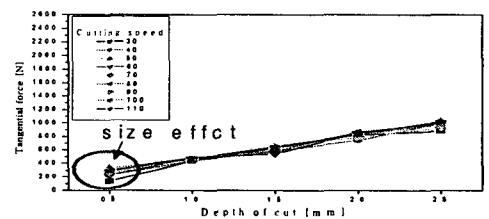
송분력의 경우 실험의 모든 조건에서 절삭깊이와 이송량의 영향을 거의 받지 않았으며, 배분력은 절삭깊이가 증가할수록 높아졌다. 이는 절삭깊이가 깊어지면서 여유면의 마모와 칩과 공구의 마찰의 증가로 인하여 생긴 결과로 사료된다. Fig. 1은 절삭속도 70m/min, 이송량 0.15mm/rev에서 3분력 변화선도를 보여준다.

Fig. 2는 절삭속도와 절삭깊이와의 관계를 이송량의 변화에 대하여 3분력중 가장큰 주분력의 크기를 나타낸다.

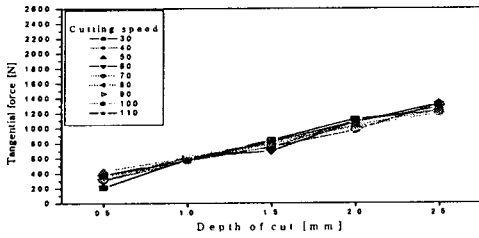
절삭실험의 조건중 절삭깊이 0.5mm에서는 절삭깊이 1.0mm에 비하여 불규칙하게 나타나는 것을 알수있다. 이것은 절삭깊이가 작을때 비절삭 에너지에 미치는 영향이 크고, 절삭깊이가 비절삭 에너지에 미치는 영향을 작아진다는 치수효과 (size effect)에 의하여 절삭력이 불규칙적인 것으로 사료된다. 절삭깊이 1.0mm에서 모든절삭속도는 안정적인 수치를 보여주었으며, 절삭속도 100~110m/min는 이송량 0.25mm/rev에서 주분력이 비례적으로 균일상승하지 않고 불규칙하게 증가하였다. 이송량이 0.3mm/rev로 증가하면서 주분력은 더 심화 되었으며 절삭속도 110m/min, 절삭깊이 2.5mm에서 공구는 결손 되었다.



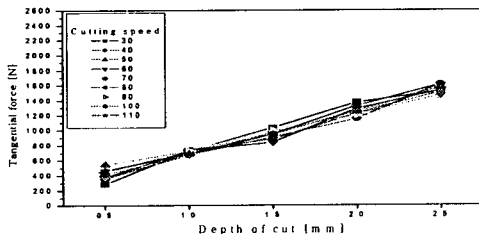
**Fig. 1 Cutting force according to depth of cut (V=70m/min, f=0.15mm/rev)**



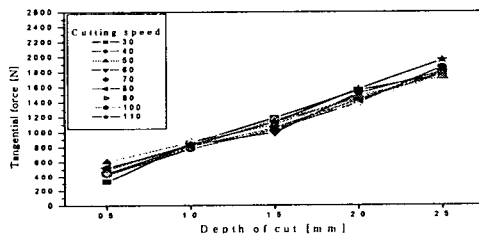
**(a) Feed rate 0.1mm/rev**



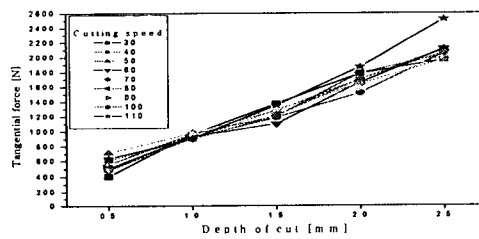
(b) Feed rate 0.15mm/rev



(c) Feed rate 0.2mm/rev



(d) Feed rate 0.25mm/rev



(e) Feed rate 0.3mm/rev

Fig. 2 Tangential force according to depth of cut

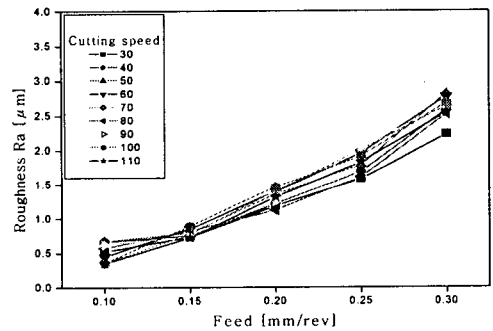
### 3.2 표면조도

축침식 조도측정기(Kosaka, DSF-1000)를 사용하여 표면거칠기를 측정하였으며, 절삭속도와 이송량의 관계를 Fig. 3 에 나타내었다.

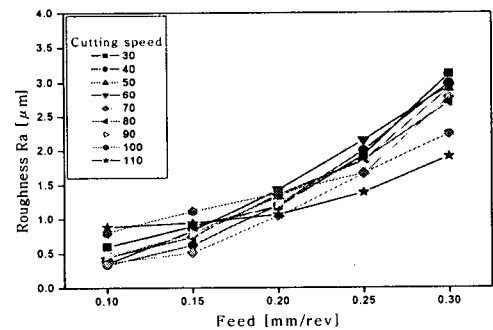
Fig. 3에 나타나는 바와 같이 표면조도는 공구

의 절삭깊이에 따른 영향은 미흡하고 이송량에는 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 이송량이 증가할수록 표면거칠기 값이 선형적으로 증가하고 절삭속도의 따라 거칠기 값이 차이가 났다. 이는 절삭속도가 증가하고 이송량이 증가하면서 진동이 발생하여 표면거칠기 값에 영향을 미친 것으로 사료된다.

Fig.3 (a)에서 이송량 0.1mm/rev의 거칠기 값이 이송량 0.15mm/rev에 비교하여 불량하게 나오는 것은 앞에서 언급한 치수효과(size effect)로 인한 영향의 결과로 생각되며, 또한 Fig. 3 (b) 절삭속도 100m/min 과 110m/min에서는 표면거칠기 값이 이송속도가 증가할수록 완만한 곡선을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 높은 절삭력이 발생하여 공구의 마모로 인해 공구가 소재를 절삭하기 보다는 스미어링(smearing)현상이 발생하여 표면거칠기 값이 낮아지는 것으로 사료된다.



(a) Cutting speed 30/min, Depth of cut 0.5mm



(b) Cutting speed 110m/min, Depth of cut 2.5mm  
Fig. 3 Surface roughness according to depth of cut

### 3.3 칩 형상의 고찰

본 실험에 사용된 칩 브레이커는 중절삭형으로서 절삭인선부의 각도는 11.5°이며 측면의 각도는 10.5°이다. 절삭가공시 칩 브레이커에 의한 칩 발생형상을 관찰하였으며 INFOS 기준에 의해 칩의 형상을 분류 칩 처리성이 양호한 영역을 Fig. 4에 나타냈다. Photo. 2는 절삭속도의 조건에 따라 배출된 칩 형상을 보여준다.

절삭속도 90m/min에서 칩 처리성이 양호한 영역이 가장 많았으며, 절삭속도 60m/min에서 칩 처리성이 불량한 가장 많았다. 절삭속도 90m/min 이상의 양호 영역에서는 칩 형태가 Spiral chip 형태가 많았고 절삭속도 90m/min 이하에서는 Taper washer type chip 와 Long helical chip이 발생하였으며, 가공조건에서 절삭깊이가 작을수록, 이송량이 적을수록 칩의 컬링이 심하였다.

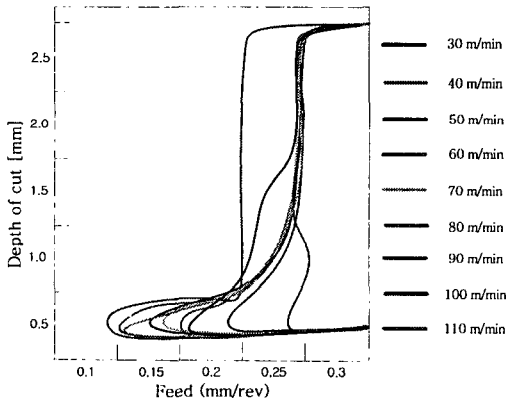
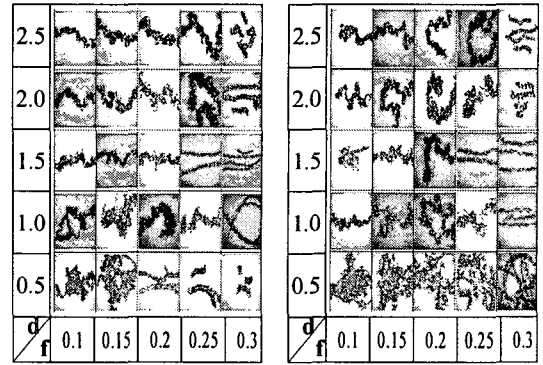
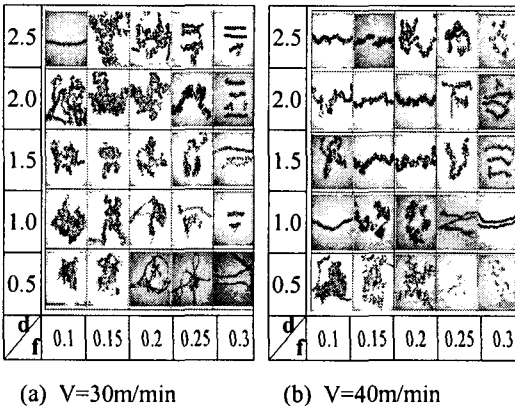
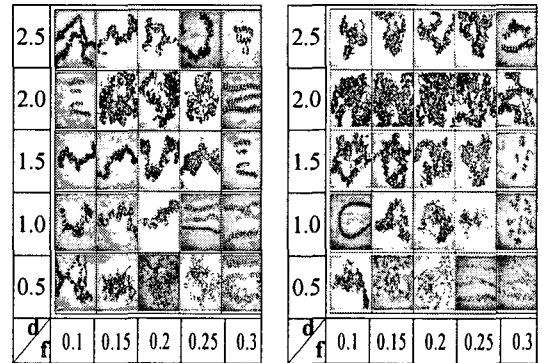


Fig. 4 Good region for chip treatment in cutting speed



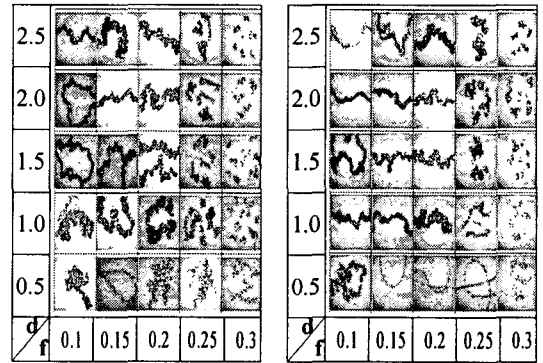
(c) V=50m/min

(d) V=60m/min



(e) V=70m/min

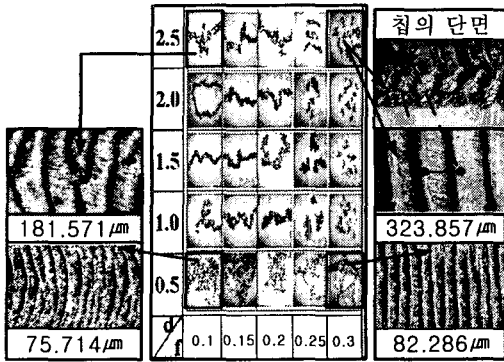
(f) V=80m/min



(g) V=90m/min

(h) V=100m/min

Photo. 2 (i)는 절삭속도 110m/min에서 배출된 전단형 칩의 안쪽면의 산의 피치를 나타낸다. 전단형 칩 산의 피치는 이송량의 영향보다 절삭깊이의 영향을 크게 받는 것으로 확인되었으며, 불량한 칩일수록 곡선의 형상을 띠었다.



(i) V=110m/min

Photo. 2 Chip treatment of Ti-6Al-4V alloy

#### 4. 결론

PVD코팅기술을 적용한 TiAlN코팅 공구를 사용하여 CNC선반으로 Ti-6Al-4V티타늄 합금을 절삭시 절삭속도, 절삭깊이, 이송량의 변화를 주어 절삭특성에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 절삭조건에 따른 주분력을 측정할결과 공구의 이송량에 비해 절삭깊이는 큰 영향을 미쳤으며, 절삭깊이 1.0mm에서 주분력이 450~510N으로 안정적인 값을 나타내었고 절삭속도 100m/min이상, 절삭깊이 2.0mm, 이송량 0.25mm/rev이상의 조건에서부터는 공구의 마모진 행으로 오히려 불 안정한 상승 값을 나타내는 현상을 알 수 있었다.
- (2) 표면거칠기는 절삭깊이 0.5mm에서는 치수효과(size effect)영향으로 인하여 거칠기 값이 일정하지 않았으며 절삭속도 100m/min, 절삭깊이 2.0mm 이상에서는 비정상마모가 진행되어 스미어링(smearing)현상으로 인한 거칠기 값이 낮아짐을 알 수 있었다.
- (3) 배출된 칩들의 형상사진을 절삭조건들에 따라 도표화한 결과 이송량이 증가할수록 칩의 형태는 양호하였으며, 절삭속도 90m/min에서 가장 양호한 칩 처리성을 보였다.

#### 참고문헌

- (1) (社)チタニウム協會, “チタンの加工技術”, 加工技術 日刊功業新聞社, 1992.
- (2) 이용태 외2, “꿈의 신소재 티타늄”, 한국철강신문, 2003
- (3) Shaw, M. C., Dirke, S. O., Smith, A., Cook, N. H., Loewen, E. G., and Yang, C. T., 1954, "Machining Titanium", *Massachusetts Institute of Technology Rep.*
- (4) Zlatin, N., Christopher, J. D., and Cammett, J. T., 1973, "Machining of new Materials", *USAF Technical Report AFML-TR-73-165.*
- (5) Komanduri, R., Von Turkovich, B. F., 1981, "New Observations on the Mechanism of Chip Formation When Machining Titanium Alloys", *Wear*, Vol. 69, pp179~188
- (6) Mcquillan, A. D., and Mcquillan, M. K., 1956, "Titanium", *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 261, pp. 574
- (7) Bhaumik, S. K., Divakar, C., and Singh, A. K., 1995, "Machining Ti-6Al-4V Alloy With a wBN-cBN Composit Tool", *Materials & Design*, Vol. 16, pp. 221~226.
- (8) Zlatin, N., 1982, "Procedures and Precautions in Machining Titanium", *Titanium and it's Alloys ASM. Metal Park. Ohio.*
- (9) Elgomayel, J. I., Radavich, J. F., and Miendger Tseng, 1979, "The Study of the Wear Mechanism of Titanium Carbide Coated Carbide Tools", *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol. 19, Issue. 4, pp. 205~219
- (10) Yilbas, B. S and Sahin, A. Z. and Ahmad, Z. and Abdulaleem, B. J., 1995, "A Study of the Corrosion Properties of TiN Coated and Nitrided Ti-6Al-4V", *Corrosion Science*, Vol. 37, pp. 1627~1636