

## 엔드밀의 TiN 코팅조건과 절삭력 증가율과의 관계

최석우\*, 이위로\*\*, 최광진\*\*, 백영남\*\*\*

\* 기술표준원, \*\*\* 경희대학교 대학원, \*\* 경희대학교 기계공학부

### The relation of TiN coating condition of end-mill and cutting force increase rate

Choi Suk Woo\*, Lee Wi Ro\*\*, Choi Kwang Jin\*\*, Paik Young Nam\*\*\*

\* Agency for Technoloy & Standards, MOCIE

\*\* Kyunghee Univ. graduate school \*\*\* Kyunghee Univ. Mechanical engineering

#### Abstract

TiN coating of high speed end mill is recently generalized. The study of coating layer using ion plating is mainly about the coating method and the why of the longer life of coated tools.

In CNC machining process, metal cutting isn't carry out until the tools including the end-mill and so on are fractured. Namely, it is difficult precision processing when the cutting force of the cutting tool is near the limit the fracture cutting force.

So, the estimate of the life by wear and fracture is important. Therefore, this study is about the method to estimate the capacity of the coating layer in relation to the tendency of cutting force and the influence of the cutting capacity of coated end-mill by the condition N<sub>2</sub>, Ar, temperature.

The cutting length is in inverse proportion to the cutting force ratio. So, the life of the TiN coated end mill can be predicated by the ratio of the increase of the cutting force.

#### 1. 서 론

최근 고속도 공구강 엔드밀에 행하여지고 있는 TiN 코팅은 이미 상당한 수준 일반화 되어 있으며, 국내외의 많은 공구회사 등에서도 생산 품목 중에 반드시 포함되어 있는 공정중의 하나이다. 이 코팅 기술은 1960년대부터 독일 등 선진국에서 개발되었으나<sup>1)</sup> 우리나라에서 상용화 된 것은 80년대 초부터이다. 지금까지 이러한 TiN 코팅을 비롯한 각종 이온플

레이팅에 의한 박막의 연구는 주로 코팅방법에 대한 연구<sup>2, 3)</sup>와, 코팅된 공구의 수명이 길어지는 이유등에 관한 연구<sup>4)</sup>가 주를 이루었으며, 이렇게 수행된 코팅 결과가 우수한지 아닌지를 결정짓는 방법은 기존 습식코팅의 시험하는 방법을 사용하거나, 코팅된 공구를 직접 절삭 가공하여 가공이 더 이상 불가능할 때까지의 공구수명을 측정하는 screech 측정법을 이용하여 코팅 층의 성능을 표현하였다.

그러나 최근 CNC 밀링에서는 엔드밀 등의 공구가

파손될 때까지 절삭가공을 행하는 예가 없다. 즉 다시 말해 절삭공구의 절삭력이 공구의 파단, 파손 한계 보다 커지는 경우는 이미 정밀가공이 불가능하다는 뜻이 되므로 그 동안 연구에 적용된 절삭날의 파손에 따른 수명의 결정은 엔드밀의 경우에 적용할 수는 없다. 따라서 본 연구에서 절삭력의 변화로 코팅층의 성능을 파악할 수 있는 방법과, N<sub>2</sub>, Ar, 온도 등의 변화가 코팅된 엔드밀의 절삭성능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아 보고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2. 1. 코팅실험장치 및 코팅조건

CD (Hollow Cathode Discharge) Gun을 이용한 Ti 증발방식을 채택한 Ion-Plating 장비를 이용하였는데, 이 장비는 내부지름 800mm, 높이 600mm인 원통형으로 주변에 3개의 시창구를 각기 다른 높이에 설치하여 내부의 관찰을 용이하게 하였다. 내부에는 코팅물을 예열하기 위한 가열(Heating) 장치와 시창구가 코팅 되는 현상을 막기위한 셔터 등을 보강하였고, 실험조건을 여러 가지로 변화할 수 있도록 하기 위해 가스 공급 조절장치와 온도조절, 전압, 전류를 임의대로 조절 할 수 있는 장치를 설치하였다 (Fig. 1 참조)<sup>7)</sup> 또한 안정된 Bias 전압을 공급하기 위해 스위칭전원공급장치 (Switching Power supply)를 사용하였다.

코팅대상물로 정해진 두날 엔드밀을 깨끗하게 세척한 뒤 Table 1의 조건에 따라 코팅하였다.

코팅을 위한 최초의 방전이 일어난 후 80분간 코팅을 하였으며 그 동안에 가스 주입량이 시간에 따라 연속적으로 변하지만 코팅 조건을 표로 나타내기 위해 평균 값을 나타내었다.

Table 2. Coating condition for various test

	1	2	3	4	5	6
Ar gas flow	0 sccm	15 sccm	30 sccm	45 sccm	60 sccm	75 sccm
N <sub>2</sub> gas flow	1 sccm	40 sccm	80 sccm	120 sccm	160 sccm	200 sccm
Temperature	120 °C	210 °C	300 °C	390 °C	480 °C	570 °C

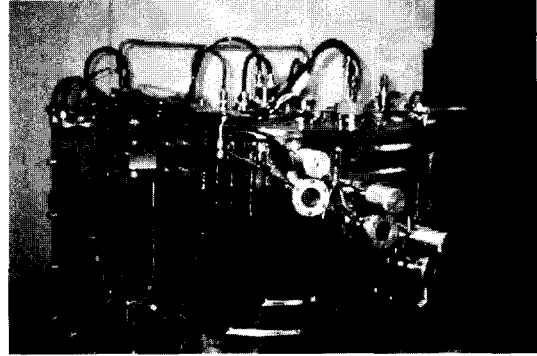


Fig. 1. Coating chamber

Table 1. Initial cating condition

Deposition parameters	Value
Average Ar gas flow	30 sccm
Average N <sub>2</sub> gas flow	90 sccm
Mean temperature of end-mill	490 °C
Average bias (V)	370 V
Average bias (A)	7.6 A
Gun Ampere	165 A
Chamber pressure	1.03 mtorr

Table 1의 조건으로 코팅된 엔드밀의 코팅층은 최적의 상태이며 이 조건으로 코팅된 엔드밀의 수명이 가장 좋은 것으로 예비 실험에서 판명되었으며, Table 2는 절삭실험에 사용될 엔드밀의 코팅조건을 나타낸 표이다.

절삭 실험에 사용된 절삭공구는 8π의 두날 엔드밀이었으며, 코팅조건은 N<sub>2</sub>, Ar, 온도를 변화시켜가며 코팅하였으며, 실험에 필요한 코팅은 HCD gun을 사용한 코팅 장비에서 행해 졌다

본 실험에 사용된 정상조건은 진공도가 0.5 × 10<sup>-6</sup> torr 이상으로 좋아졌을 때를 기본 진공도로 하였으며, 기본적으로 80분간을 코팅하였고, 코팅이 끝나면 90분간 서서히 냉각시켜 표면응력 발생을 방

지 하였다. 그 밖의 상용화된 코팅 엔드밀의 기본 코팅 조건은 Table 1과 같이 하였다.

2. 2. 절삭실험장치 및 방법

코팅된 엔드밀을 이용하여 피 절삭물을 가공하고 가공시에 생기는 절삭력을 측정하여 절삭력 증가율을 측정하였다. 절삭력을 측정하기 위하여 사용된 장치는 Fig. 2에 나타난 회전기공의 SIRIUS-2 머시닝 센터를 사용하였고, 공구동력계는 Fig. 3에 나타난 Kistler사의 9257B 공구동력계를 사용하였다. 또한 5019A130 전류 증폭기 등을 사용하여 절삭시에 발생하는 절삭력을 취득 하였다.

절삭실험 방법은 N<sub>2</sub>와 Ar 가스 주입량, 온도를 변

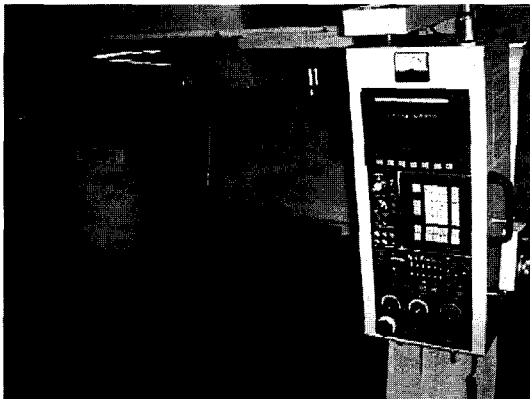


Fig. 2. CNC Machinig Center

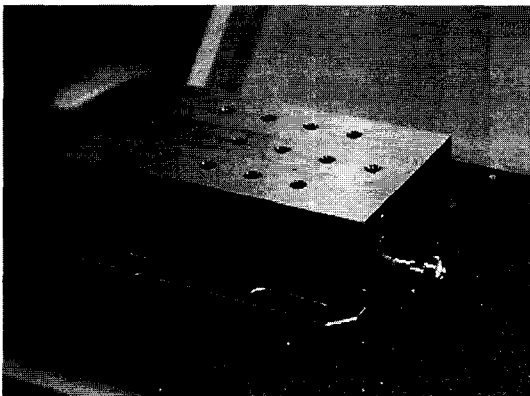


Fig. 3. Tool dynamometer

화시켜 코팅한 두날 엔드밀로 머시닝센터에 절삭길이를 3000mm 까지 절삭할 수 있도록 프로그램을 입력하여 가공하였다. 실험에 사용된 절삭 조건은 절삭속도 1500rpm, 절삭깊이 12mm, 절입폭 0.5mm, 이송속도 60mm/min 으로 하였다.

입력한 프로그램에 따라 절삭을 하게 되면, 절삭시의 절삭력이 공구 동력계를 통하여 미세전류 형태로 전류증폭기에 전달되게 된다. 전달된 신호는 A/D 변환기에서 사용될 만큼의 신호로 증폭되고 변화된 데이터는 IBM PC에 저장된다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4에서 보여주는 것과 같이 코팅이 된 엔드밀은 초기 절삭력이 200N였으며 3000mm를 절삭하는 동안 서서히 절삭력이 증가하는데, 그 절삭력이 증가하는 기울기는 0.0211N/mm 였다. 또한 코팅이 되지 않은 엔드밀의 초기절삭력은 280N 정도로 코팅이 된 엔드밀 보다도 다소 높았을 뿐만 아니라 절삭력이 증가하는 기울기도 0.0311N/mm로 코팅된 엔드밀 보다 높았다.

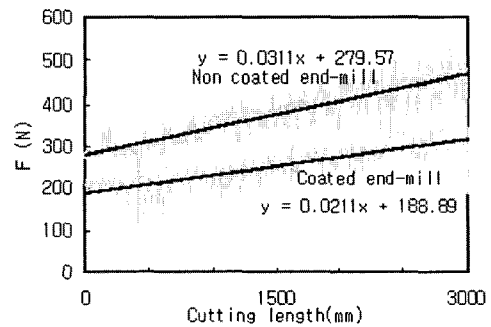


Fig. 4. Cutting force increase rate of coated end-mill and non coated end-mill

Fig. 5는 Ar 가스의 주입량을 Table 2에 따라 변화시켜 가며 엔드밀을 코팅한 후 절삭시험을 통해 얻은 절삭력 증가율을 그래프로 표시하였다. Ar 가스의 주입량이 변화함에 따라 절삭 저항 증가율이 변화하고 있으며, Ar 가스 주입량이 40cc일 경우가 가장 절

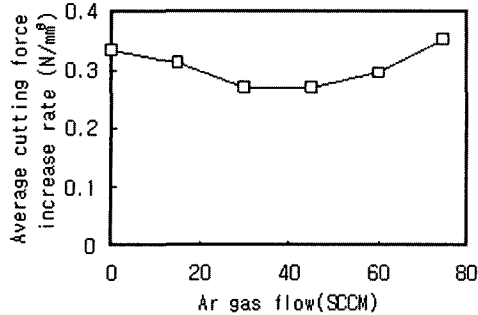


Fig. 5. The cutting force increase rate varying with Ar gas flow

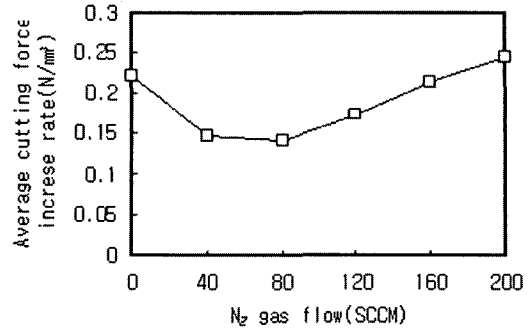


Fig. 7. The cutting force increase rate with varying N<sub>2</sub> gas flow

삭력 증가율이 가장 작게 나타나고 있다. 이 그래프에서 Y축의 단위가 N/mm<sup>2</sup>인 이유는 일정한 부피를 정해진 조건으로 절삭하여 누적된 절삭력을 표현하였기 때문이다.

Fig. 6은 Ar 가스의 주입량을 Table 2에 따라 변화시켜 가며 엔드밀을 코팅한 후 절삭력이 400N이 될 때까지 가공하였을 때의 절삭길이를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 알 수 있는 것과 같이 역시 알곤 주입량이 40ccm 이었을 경우에 동일한 절삭력으로 가장 긴 절삭길이를 가공하였다.

Fig. 7은 N<sub>2</sub> 가스를 Table 2에 따라 변화시켜가며 코팅한 엔드밀로 절삭실험을 한 결과로서 N<sub>2</sub> 가스의 주입량이 80ccm일 경우에 가장 적은 절삭력 증가율을 보이고 있으며 Fig. 8에서도 가스 주입량이 80ccm일 경우에 가장 긴 절삭 길이를 나타내고 있

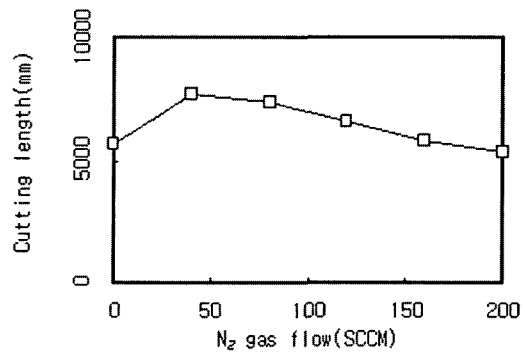


Fig. 8. The cutting length at 400N varying N<sub>2</sub> gas flow

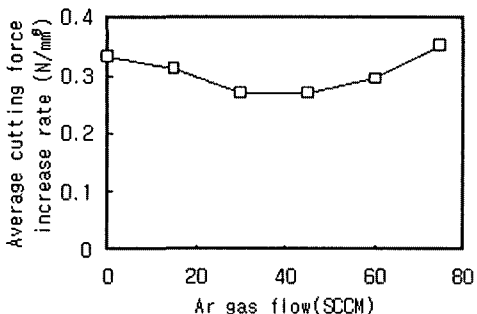


Fig. 6. The cutting length at 400N varying Ar gas flow

다. Ar 가스에 비해서 절삭력의 변화 혹은 절삭길이의 변화에 더 큰 영향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10 또한 온도 변화에 따른 절삭력 증가율과 절삭길이 변화량을 나타낸 것인데, 역시 Ar 가스의 영향력보다 온도변화의 영향력 절삭력 증가율이나, 절삭길이에 더 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

이상의 실험결과로 일정한 절삭력이 도달하기까지의 절삭길이는 절삭력 증가율과 반비례하는 경향을 뚜렷이 알 수 있었으므로, 코팅된 공구의 수명을 알아내기 위해 반드시 최대 절삭길이까지 직접 절삭하지 않더라도 절삭력 증가율을 알면 코팅 공구의 수명과 관련된 성능을 예측할 수 있다.

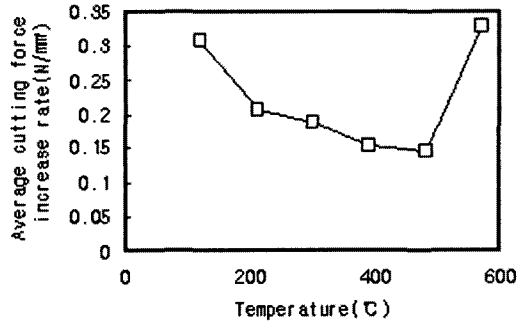


Fig. 9. The cutting force increase rate with varying temperature

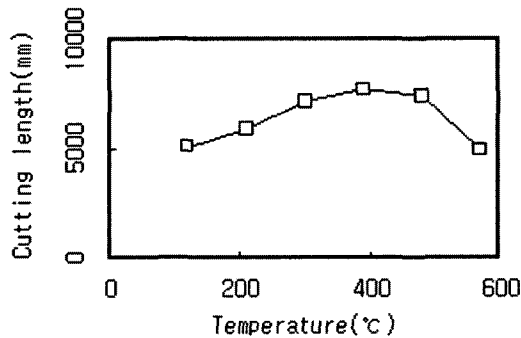


Fig. 10. The cutting length at 400N varying temperature

#### 4. 결 론

이상의 실험 및 결과에 따른 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) Ar 과 N<sub>2</sub> 가스의 주입량은 적정량보다 많거나 적을 때 절삭력 증가율이 커진다
- 2) 일정한 절삭력에 도달할 때 까지, 절삭력 증가율이 크면 절삭길이가 짧았고, 절삭력 증가율이 작으면, 절삭길이가 길어짐을 알 수 있었다.
- 3) Ar 가스 주입량은 코팅층의 성능에 N<sub>2</sub> 가스보다 큰 영향을 미치지 않는지만 과량으로 주입될 경우 코팅층의 성능을 저하시키는 요인이 되었다.
- 4) 코팅온도는 높을수록 좋지만 일정온도를 넘게 되면 성능이 급격히 저하되었다.

5) 절삭력 증가율로 코팅층의 성능을 평가하는데 적합하다.

#### 참 고 문 헌

1. D.M. Mattox : Design consideration for ion plating, Sendia Corp Report No. SC-R-65-997 (1966)
2. V. Biel, H. Kneyrandish and J.S.Colligon : Thin Solide films, No.200 (1991), 283
3. J.A. Sue and H.H. Troue : Surface and coatings technology, 33 (1986), 169 ~ 181,
4. 김일문, 이인우, 남옥현 : The Effect of Deposition Temperature on the Growth behavior of TiN deposited by PECVD, Journal of Korean Society for Heat Treatment, Vol. 6, No.4 (1993), 223 ~ 229
5. M.T. laugier : J. Vac. Sci. Technol., A5 (1) (1987), 67
6. 최승태 : BARE 법에 의한 TiN 증착막의 미소조직과 절삭공구의 수명에 관한 연구, 서울대학교, 석사학위논문 (1990)
7. 상공부 공업기반기술개발과제 : 금속이온플레팅 냉연강판 개발 (1992), 228~249
8. Clark Bergmann : Ion Plating and implantation application to materials, ASM Conference proceedings, Robert F. Hoffman, 3-5 115 (ed) (1985)
9. P.J. burnett and D.S. Rikerby : The relationship between hardness and scratch adhesion, Thin Solid Films (1988), 233 ~ 254,
10. M. Callier, G.H. Lee : Scratch Adhesion Test of Magnetron Sputtered Cu Coating on Al Substrate, Effect of the Surface Preparation, Thin Solid Films 169 (1989), 193-205,
11. 박동삼 : 선삭시 절삭율-공구수명 함수와 절삭조건에 최적화에 관한 연구, 서울대학교 대학원 (1983)